



CEDAMAZ

Enero - Junio 2024

Volumen 14

Número 1

Páginas 1 - 109

e-ISSN: 1390-5902



UNL

Universidad
Nacional
de Loja



Enero - Junio 2024

Volumen 14

Número 1

Páginas 1 - 109

e-ISSN: 1390-5902



unl

Universidad
Nacional
de Loja



AUTORIDADES

Nikolay Aguirre, Ph.D.
Rector

Elvia Zhapa, Ph.D.
Vicerrectora

COMITÉ EDITORIAL

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

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

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

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

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

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

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

COMITÉ CIENTÍFICO

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

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

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

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

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

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

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

Selene Báez, Ph.D.
CONDESAN (Ecuador)

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

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

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

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

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

Pablo Cuenca, Ph.D.
IKIAM (Ecuador)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

CEDAMAZ presenta información actualizada y pertinente a nivel regional e internacional destacando temáticas en experiencias forestales, biodiversidad, medio ambiente, veterinarias, agropecuarias, salud humana, biotecnología, ciencias exactas e ingenierías.

Los trabajos o revisiones de literatura presentadas a **CEDAMAZ** no deben haberse publicado previamente en libros de memorias de un congreso o revistas

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

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

Publicada por

Univeridad Nacional de Loja

Oficina Editorial

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

Diseño de logotipo

Lcda. Sara Jaramillo Carrión

Edición

M.Sc. Oscar M. Cumbicus-Pineda


Ph.D. Paúl Eguiguren

CEDAMAZ

E-ISSN: 1390-5902

PBX: (593) 07 - 2545100

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

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

ÍNDICE

ARTÍCULOS

CIENCIAS VETERINARIAS Y AGROPECUARIAS

Calidad nutricional y propiedades fisicoquímicas del kale
(*Brassica Oleracea* Var. *Sabellica* L) agroecológico y convencional
Gema Palacios-Andrade y Wilson Chalco-Sandoval 1

Detección de *Leptospira* patógena en hembras bovinas de edad
reproductiva en la provincia de Morona Santiago
Danilo Ismael Arévalo Torres, Víctor Montes- Zambrano y Jhuliana Luna-Herrera 8

Evaluación de residuos agrícolas, como sustrato para la producción
artesanal del Hongo Ostra (*Pleurotus Ostreatus*)
Ricardo Albuja-Narváez, Ana Ruth Álvarez-Sánchez y Juan José Reyes-Pérez 14

CIENCIAS FORESTALES, BIODIVERSIDAD Y MEDIO AMBIENTE

Diversidad funcional de quirópteros en la Estación Experimental El Padmi,
cantón Yanzatza, Zamora Chinchipe, Ecuador
Manuel Fernando Medina-Piedra, Katusca Valarezo-Aguilar y
Christian Alberto Mendoza-León 18

Influencia de la sacarosa en la germinación asimbiótica *in vitro*
de semillas de *Cattleya maxima* Lindl.
Víctor Eras-Guamán, Ana Robles-Lara, Magaly Yaguana-Arévalo y
Darlin Gonzalez-Zaruma 31

Nuevos registros de aves en Zamora Chinchipe: fortaleciendo el
conocimiento sobre la avifauna del sureste de Ecuador
María Claudio Crespo-Ramírez, Jorge Córdova-González, Miguel Alcoser-Villagómez y
Leonardo Ordóñez-Delgado 36

CIENCIAS EXACTAS E INGENIERÍAS

Diseño de un molino de bolas con la finalidad de realizar pruebas de
molienda del material mineralizado proveniente de la región sur del Ecuador
Hernan Luis Castillo García, Stive Cajas, Julio Romero Sigcho y Oscar Estrella Lima 49

Impacto de la carga lenta de vehículos eléctricos en la calidad de energía
de la red de distribución: Una prospección literaria
Paúl Morejón-Monteros, Daniel Banegas-Arias y Danny Ochoa-Correa 69

Prospección geológica para calizas en el sector Zambí,
ubicado en la parroquia Zambí, cantón Catamayo, provincia de Loja
Oscar Estrella, Hernan Luis Castillo García, Fernando Javier Rengel Jiménez y
Junior Alejandro Cobos Ramírez 80

CIENCIAS DE LA SALUD Y BIOTECNOLOGÍA

Patrones de resistencia antimicrobiana de *Enterobacterales*
aisladas desde 2018 a 2020, Clínica Medilab – Medihospital, Loja
Carmen Ullauri, Amy Guamán, Dora Ruilova and Geover Ludeña 95

Patrones de resistencia bacteriana de *Staphylococcus spp*
en Medilab-Medihospital, Loja 2018- 2020
Iliana Alicia Delgado, Ana Castillo, Humberto Riascos y Sandra Freire 102

INDEX

ARTICLES

VETERINARY AND AGRICULTURAL SCIENCES

Nutritional quality and physicochemical properties of agroecological and conventional kale (*Brassica Oleracea* Var. *Sabellica* L)
Ricardo Castillo, Denisse Barcia and Romina Moreira

1

Pathogenic *Leptospira* detection in bovine females of reproductive age in Morona Santiago
Danilo Ismael Arévalo Torres, Víctor Montes- Zambrano and Jhuliana Luna-Herrera

8

Evaluation of agricultural waste, as a substrate for the artisanal production of the Oyster Mushroom (*Pleurotus Ostreatus*)
Ricardo Albuja-Narváez, Ana Ruth Álvarez-Sánchez y Juan José Reyes-Pérez

14

FOREST, BIODIVERSITY AND ENVIRONMENTAL SCIENCES

Functional diversity of chiroptera in the Experimental Station El Padmi, canton Yanzatza, Zamora Chinchipe, Ecuador
Manuel Fernando Medina-Piedra, Katusca Valarezo-Aguilar and Christian Alberto Mendoza-León

18

Influence of sucrose on *in vitro* germination of *Cattleya maxima* Lindl
Víctor Eras-Guamán, Ana Robles-Lara, Magaly Yaguana-Arévalo and Darlin Gonzalez-Zaruma

31

New Bird Records in Zamora Chinchipe: strengthening the knowledge of the southeastern Ecuadorian avifauna
María Claudio Crespo-Ramírez, Jorge Córdova-González, Miguel Alcoser-Villagómez and Leonardo Ordóñez-Delgado

36

EXACT SCIENCES AND ENGINEERING

Designing a ball mill with the purpose of conducting grinding tests on the mineralized material from the southern region of Ecuador
Hernan Luis Castillo García, Stive Cajas, Julio Romero Sigcho and Oscar Estrella Lima

49

Impact of slow charging of electric vehicles on energy quality in the distribution network: a literature prospection
Paúl Morejón-Monteros, Daniel Banegas-Arias and Danny Ochoa-Correa

69

Geological prospecting of limestone in the Zambi sector, located in the Zambi parish, Catamayo canton, province of Loja
Oscar Estrella, Hernan Luis Castillo García, Fernando Javier Rengel Jiménez y Junior Alejandro Cobos Ramírez

80

HEALTH SCIENCES AND BIOTECHNOLOGY

Antimicrobial resistance patterns of *Enterobacterales* isolated from 2018 to 2020, Medilab Clinic – Medihospital, Loja
Carmen Ullauri, Amy Guamán, Dora Ruilova and Geover Ludeña

95

Bacterial resistance patterns of *Staphylococcus spp* in Medilab-Medihospital, Loja 2018- 2020
Iliana Alicia Delgado, Ana Castillo, Humberto Riascos y Sandra Freire

102

Calidad nutricional y propiedades fisicoquímicas del kale (*Brassica Oleracea* Var. *Sabellica* L) agroecológico y convencional

*Nutritional quality and physicochemical properties of agroecological and conventional kale (*Brassica Oleracea* Var. *Sabellica* L).*

Gema Palacios-Andrade^{1,*} and Wilson Chalco-Sandoval²

¹ *Maestría de Agroecología y Desarrollo Sostenible, Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador.*

² *Carrera de Ingeniería Agrícola, Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador.*

* *Autor para correspondencia: gpalacios@unl.edu.ec.*

Fecha de recepción del manuscrito: 19/05/2023 Fecha de aceptación del manuscrito: 01/02/2024 Fecha de publicación: 30/06/2024

Resumen—Existe una demanda de hortalizas con alto contenido de nutrientes y calidad. Sin embargo, la agricultura convencional busca el aumento de la producción centrándose en el monocultivo y el uso de agroquímicos, sin tomar en cuenta las consecuencias que esto provoca a la salud, medio ambiente y al suelo. La agroecología surge como una alternativa para contrarrestar estos efectos negativos, ya que se enfoca en la producción de alimentos sanos y con alto contenido nutricional. Algunos estudios demuestran que el kale es un superalimento debido a su alto valor nutricional y beneficios para la salud, sin embargo, en Ecuador no existe información sobre la calidad nutricional de esta hortaliza, por lo cual, el objetivo de esta investigación fue evaluar la calidad nutricional y las propiedades fisicoquímicas del kale en los sistemas de producción agroecológico y convencional. La metodología consistió en medir el pH, acidez, °Brix, color, ancho y largo de la hoja, finalmente, se determinó la calidad nutricional considerando los macro y micronutrientes. Los resultados muestran que las propiedades fisicoquímicas del kale, entre los dos sistemas de producción no existieron diferencias estadísticamente significativas, ya que los valores de pH (6 - 6,17), acidez (0,18 - 0,20%) y °Brix (4,96 - 5,29) son similares. La calidad nutricional del kale proveniente del sistema agroecológico fue mayor que del cultivo proveniente del sistema convencional, ya que fue superior en macronutrientes entre un 12 a 48%, en minerales aumento entre el 25 y 76%, y 6,44% para vitamina C.

Palabras clave—Col rizada, Valor nutricional, Proteína, Vitaminas, Minerales.

Abstract—There is a demand for vegetables with high nutrient content and quality. However, conventional agriculture seeks to increase production by focusing on monoculture and agrochemicals usage, without taking into account the consequences that this causes to health, the environment, and the soil. Agroecology emerges as an alternative to avoid these negative effects since it focuses on the production of healthy foods with high nutritional content. Some studies have shown that kale is considered a superfood due to its high nutritional value and benefits for human health; however, in Ecuador, there is no information on the nutritional quality of this vegetable. Therefore, the objective of this research was to evaluate the nutritional quality and physicochemical properties of kale in agroecological and conventional production systems. The methodology consisted measuring pH, acidity, Brix degrees, color, width and length of the leaf, finally, the nutritional quality was determined considering its macro and micronutrients. The results show that the physicochemical properties of the kale, between the two production systems did not exist statistically significant differences, since the values of pH (6 - 6.17), acidity (0.18 - 0.20%) and °Brix (4.96 - 5.29%) are similar. The nutritional quality of the kale from the agroecological system was higher than from conventional system crops because it was higher in macronutrients between 12 and 48%, in minerals it increased between 25 and 76%, and 6.44% for vitamin C.

Keywords—Kale, Nutritional value, Protein, Vitamins, Minerals.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas la población mundial ha crecido exponencialmente, es así que para el 2050 se estima un promedio de 10 mil millones de habitantes. Esto incrementa-

rá el 50% de la producción de alimentos, lo que representa un desafío para la producción agrícola (Vitón et al., 2017). De acuerdo con esto, la mayoría de los agricultores implementan monocultivos, el uso de maquinaria e insumos químicos. Esto provoca severos impactos en el suelo, el agua, la diver-

sidad genética, la salud humana y la calidad nutricional de los cultivos. La agroecología surge como una alternativa para poder contrarrestar estos efectos negativos, ya que promueve sistemas alimentarios más sostenibles, la seguridad alimentaria, fomenta la biodiversidad, aumenta la capacidad de los cultivos para resistir a enfermedades y plagas, emplea prácticas agrícolas que respetan y mejoran la calidad del suelo (Chávez y Burbano, 2021).

La calidad nutricional que contienen las hortalizas como minerales, vitaminas y antioxidantes contribuyen a la salud del ser humano, sin embargo, su bajo consumo puede provocar enfermedades como la desnutrición, diversidad de patologías como el cáncer, anemia por falta de hierro, enfermedades cardiovasculares, entre otros. Es fundamental dar a conocer a los consumidores el valor nutricional de las hortalizas, estas representan un aporte importante en la dieta nutricional, brindan carbohidratos, proteína, fibra, y mayor contenido de vitaminas y minerales, es imprescindible su consumo para la buena alimentación y salud de la población (Arroyo et al., 2018).

La col rizada o kale es una hortaliza considerada un superalimento, debido a su alto contenido nutricional, ya que es una fuente rica en vitamina C y minerales como el potasio, calcio y hierro, además ayuda a prevenir enfermedades cardiovasculares, la artritis y el cáncer. (Reyes-Munguía et al., 2017). La mayor parte de la población de países desarrollados optan por comprar hortalizas o frutas en las ferias agroecológicas, sin importar el precio en comparación con los productos convencionales, ya que le dan más valor a la calidad nutricional y su seguridad alimentaria (Andrade y Ayaviri, 2018). Así mismo Rodríguez y Zumba (2021) sostienen que los consumidores adquieren sus productos considerando la calidad expresada en propiedades fisicoquímicas. Esta calidad está supeditada al manejo de la cadena productiva desde la siembra hasta la poscosecha. Además, la procedencia de las hortalizas influye directamente en su precio y calidad, si comparamos un sistema de producción agroecológica versus un sistema convencional. Existen diversos estudios que demuestran que la calidad nutricional y propiedades fisicoquímicas de frutas y hortalizas, están asociadas al sistema de producción del que proceden.

Los cultivos procedentes de una agricultura agroecológica, contienen mayor valor nutricional que los convencionales (Casas y Moreno, 2015; Popa et al., 2019). Además, Crecente et al., (2012) estudiaron algunas propiedades de las fresas en fincas de Galicia (España), demostraron que las fresas cultivadas en un sistema agroecológico tienen alto valor nutricional en cuanto a antioxidantes en comparación con las cultivadas en un sistema convencional. Por otro lado, Domínguez, García y Raigón (2015) comprobaron que los frutos cítricos procedentes de un sistema ecológicos contienen 28 % más vitamina C que los de la agricultura convencional. Además, estudiaron las propiedades fisicoquímicas en frutos cítricos provenientes de un sistema agroecológico y un convencional, encontraron que no existe diferencia significativa en el peso y diámetro de la fruta, sin embargo, obtuvieron diferencias en cuanto a la altura y color de las frutas, siendo mayor en la agricultura agroecológica.

Para realizar esta investigación se utilizó el cultivo de kale o col rizada cosechada en los sistemas agroecológico y convencional, para dar a conocer a productores y consumidores

la importancia de la calidad nutricional de esta hortaliza y del sistema de producción del que proviene. En función de estos antecedentes esta investigación tiene como objetivos determinar las propiedades fisicoquímicas y valorar la calidad nutricional del kale en dos sistemas de producción agroecológico y convencional.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La presente investigación se desarrolló en dos fases: campo y laboratorio. La fase de campo se realizó en 3 sistemas de producción agroecológica y 3 sistemas de producción convencional, localizadas en el barrio Amable María, al norte de la ciudad de Loja, Ecuador (Figura 1). La zona de estudio se encuentra entre 3° 56' 29" y 3° 56' 18" S y entre 79° 13' 6" y 79° 12' 48" O. El análisis de las muestras se realizó en el laboratorio de bromatología de la Universidad Nacional de Loja.

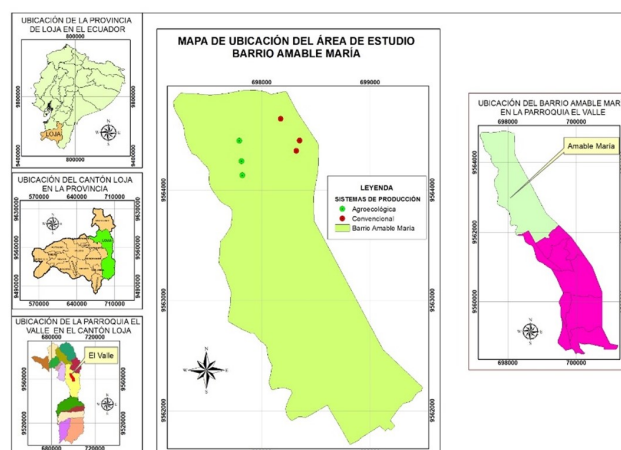


Fig. 1: Figura 1. Mapa de ubicación de los 3 sistemas de producción agroecológico y 3 sistemas de producción convencional en el barrio Amable María, Loja, Ecuador.

Materiales

Los equipos y materiales utilizados para realizar los ensayos en el laboratorio fueron: equipo Kjeldahl marca VELP Científica, equipo extractor de fibra marca Velp Científica modelo 6, mufla marca Furnace modelo 1300, estufa marca memmert, colorímetro PCE-CSM, peachímetro, brixómetro digital, crisoles de porcelana para la determinación de humedad, crisoles de vidrio para determinación de fibra, desecador, matraz de 500 ml, vasos de precipitación de 100 ml, probeta graduada de 100 ml, balón aforado de 500 ml, pipetas volumétricas de 1 ml, bureta de 50 ml, agitador de vidrio, micropipeta, agitador magnético y envase Daplast enrejado para la recolección del producto. Los reactivos utilizados en laboratorio fueron: ácido sulfúrico comercial concentrado (98 %), a 0,255 y 0,1 N, hidróxido de sodio 0,223, N-octanol BDH Reagents y Chemicals, hidróxido de sodio al 30 %, ácido sulfúrico 0,1 N, ácido bórico al 4 %, indicador Mortimer: 0,016 % rojo de metilo y 0,083 % de verde bromocresol en etanol, pastillas catalizadoras, acetona anhidra, cloruro de sodio y agua destilada.

Material vegetal

El material vegetal se recolectó en las fincas que presentaron características similares, como accesibilidad, zona, clima y cercanía; de estas fincas se obtuvo la materia vegetal kale, en estado de madurez fisiológica. Para determinar la madurez se consideró que las hojas de kale tengan una altura de 25 a 26 cm y un color verde azulado (Mora, 2021).

Diseño experimental

Se utilizó un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) con 2 tratamientos (agroecológico y convencional) y 3 repeticiones, con un total de unidades 6 unidades experimentales, las cuales son las 6 fincas (3 agroecológicas y 3 convencionales).

Propiedades fisicoquímicas del kale

En base a la determinación del estado de madurez óptimo se procedió a medir la altura, y ancho de la hoja de kale, así como también el color utilizando un colorímetro PCE-CSM, este equipo permite medir el color y proporciona los valores de las coordenadas en el espacio de color CIE L* a* b*, este es un sistema que permite medir y describir colores, los valores que arroja el equipo, se ingresaron en la aplicación color analysis, la cual nos permitió obtener el color de la hortaliza en estudio; seguidamente se determinó las propiedades químicas del kale, como acidez mediante el método AOAC 942.15, °Brix utilizando el método AOAC 932.12 y el pH se midió considerando el método AOAC 981.12 (AOAC, 2019).

Calidad nutricional del kale

Para valorar la calidad nutricional del kale, se procedió a aplicar las siguientes metodologías: para humedad se siguió el procedimiento establecido en el método AOAC 934.01, cenizas mediante el método AOAC 962.09, proteína se tomó en cuenta el método AOAC 2001.1, fibra se determinó mediante el método AOAC 991.43 (AOAC, 2019). Además, se determinó el potasio con el método MO-LSAIA-03.01.03, calcio con el método MO-LSAIA-03.01.02, hierro se siguió el método MO-LSAIA-03.02 y finalmente para determinar el contenido de vitamina C se utilizó el método MO-LSAIA-10. Los análisis de minerales y vitamina C se realizaron en el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.

Análisis datos

Para el proceso estadístico de datos se utilizó el programa Infostat, con una confiabilidad en la estimación del 95% ($\alpha = 0,05$) para establecer el comportamiento del kale, bajo dos sistemas de producción: agroecológico y convencional. Se utilizó el análisis de varianza (ANOVA) en cada una de las variables (acidez, grados Brix, pH, altura, ancho, color de la hoja, humedad, ceniza, proteína, fibra, carbohidratos, minerales y vitaminas), previo cumplimiento de los supuestos de independencia de errores, normalidad de datos y homogeneidad de varianza.

RESULTADOS

Propiedades fisicoquímicas del kale

En la **Tabla 1** se muestra el resultado para las propiedades fisicoquímicas del kale en dos sistemas de producción agroecológica y convencional, en esta se observa que la acidez (0,18-0,20), grados brix (4,96 - 5,29), pH (6,0 - 6,17), color (verde azulado), altura (25,85 - 26,21) y ancho (3,89 - 4,02) de las hojas del kale no presentan diferencias estadísticamente significativas.

Calidad nutricional del kale

En la **Tabla 2** se puede observar que existen diferencias significativas en el contenido de humedad en función del sistema de producción. De forma que el kale de producción convencional presenta mayor contenido en agua (87,95%) que las de producción agroecológica (86,29%). El sistema de producción agroecológica influye significativamente en la fibra, ya que presentó el mayor valor de 1,54%, mientras que el convencional obtuvo 1,05%. Así mismo, los carbohidratos dependen del sistema de producción, siendo la agricultura agroecológica donde se alcanzan las mayores concentraciones 5,81%, mientras que en el convencional obtuvo un valor de 3,92%. Además, la proteína presentó mayor contenido en el sistema agroecológico (4,62%) que en el convencional (4,12%). El contenido de cenizas de las muestras de kale no presenta diferencias estadísticamente significativas para el sistema de producción.

En la **Tabla 3** se observa que el calcio, potasio, hierro y vitamina C, presentaron diferencias estadísticamente significativas entre estos sistemas de producción. El sistema agroecológico fue el que obtuvo la concentración más alta de calcio 375 mg, potasio 256,93 mg, hierro 2,57 mg y vitamina C 111,40 mg, mientras que para los sistemas convencionales presentan valores de 298,7; 203,09; 1,46 y 104,66 mg, para calcio, potasio, hierro y vitamina C, respectivamente, lo que infiere una respuesta del kale al sistema de producción.

DISCUSIÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio, las propiedades fisicoquímicas del kale (pH, °Brix, acidez, color, ancho y altura de la hoja) no se vieron afectadas por el tipo de sistema de producción. Este comportamiento se debe a que el kale fue cosechado en la misma zona durante la tarde del mismo día, en condiciones edafoclimáticas similares e igual estado de madurez (Casajús et al., 2021; Crecente et al., 2012; Martínez et al., 2010). Además, como se mencionó en metodología las muestras fueron recolectadas tomando en cuenta, una altura de (25 a 26 cm) y un color (verde azulado) determinados. Con la finalidad de realizar una comparación de los resultados antes mencionados, se realizó una búsqueda en literatura, pero no se encontró estudios que comparen estas propiedades en el cultivo del kale en un sistema agroecológico y convencional.

Sin embargo, existen algunos estudios que compararon las propiedades fisicoquímicas de diferentes cultivos entre estos dos sistemas, como por ejemplo, Fontana et al., (2018) observó un comportamiento similar en el cultivo de lechuga, en condiciones edafoclimáticas propias de Brasil, en diferentes

Tabla 1: Propiedades fisicoquímicas del kale en dos sistemas de producción

Sistema de Producción	Acidez %	Grados Brix	pH	Altura cm	Ancho cm	Color
Agroecológico	0,20 a	5,29 a	6,17 a	26,21 a	4,02 a	Verde azulado
Convencional	0,18 a	4,96 a	6,00 a	25,85 a	3,89 a	Verde azulado

a-b: Medias con la misma letra, no hay diferencia significativa, según la prueba Tukey (0,05 %).

Tabla 2: Macronutrientes del kale en dos sistemas de producción

Sistema de producción	Agua %	Ceniza %	Fibra %	Proteína %	Carbohidratos %
Agroecológico	85,29 b	2,71 a	1,54 a	4,62 a	5,81 a
Convencional	87,95 a	2,77 a	1,05 b	4,12 b	3,92 b

a-b: Medias con la misma letra, no hay diferencia significativa, según la prueba Tukey (0,05 %).

Tabla 3: Micronutrientes del kale en dos sistemas de producción

Sistema de producción	Micronutrientes			
	Ca (mg)	K (Mg)	Fe (mg)	Vit. C (mg)
Agroecológico	375,56 a	256,93 a	2,57 a	111,40 a
Convencional	298,71 b	203,09 b	1,46 b	104,66 b

a-b: Medias con la misma letra, no hay diferencia significativa según la prueba Tukey (0,05 %)

sistemas de producción (orgánico y convencional), donde midieron acidez, sólidos solubles, pH, color, longitud y ancho de la hoja, los cuales no tuvieron diferencias significativas. Así mismo, según Barrera, (2020) al comparar los grados Brix y altura del cultivo de lechuga, proveniente de un sistema agroecológico y convencional, no encontró diferencias estadísticamente significativas. Además, Campuzano et al., (2010) compararon las propiedades fisicoquímicas (pH, firmeza, acidez, color, sólidos solubles, entre otros) del cultivo de banano procedente de un sistema agroecológico y un convencional, obteniendo como resultado que no existen diferencias significativas entre estos dos sistemas. En base a los estudios antes mencionados se corrobora los resultados obtenidos en la presente investigación

Por el contrario, la calidad nutricional del kale si depende del sistema de producción del que proviene (agroecológico y convencional), por ejemplo, las diferencias de humedad entre estos sistemas se deben a que los cultivos convencionales que se desarrollan con fertilizantes sintéticos, necesitan absorber mayor cantidad de agua que los cultivos agroecológicos (Yu et al., 2018). Por otro lado, a las diferencias encontradas en los carbohidratos, se deben a que los sistemas agroecológicos evitan el uso de pesticidas y herbicidas, lo que puede reducir el estrés en las plantas y aumentar su capacidad para producir nutrientes, favoreciendo el proceso de fotosíntesis, durante el cual las plantas utilizan la energía de la luz solar a través de pigmentos llamados clorofila, que se encuentran en los cloroplastos de las células vegetales, para convertir el dióxido de carbono y el agua en carbohidratos, específicamente glucosa (Antón, 2018; Behr y Wiebe, 1992).

Mientras que los sistemas convenciones usan agroquímicos, los cuales pueden estresar a las plantas al afectar su metabolismo y sus funciones fisiológicas normales tal como se establece en la investigación de Crawford (2017). Por ejemplo, algunos herbicidas pueden inhibir la fotosíntesis en las plantas, lo que reduce su capacidad para producir energía y crecer adecuadamente. Del mismo modo, los insecticidas pueden afectar a las enzimas y procesos bioquímicos de las plantas, lo que puede dañar su crecimiento y desarrollo (Ramírez, 2021).

La explicación para las diferencias encontradas en el con-

tenido de fibra entre los sistemas de producción agroecológico y convencional, es muy similar al descrito para los carbohidratos, ya que la fibra es un nutriente que pertenece a este macronutriente. Es decir, los sistemas convencionales como se comentó anteriormente usan pesticidas que ocasionan un estrés en la planta, provocando una disminución en el porcentaje de fibra en las hortalizas, mientras que en los sistemas agroecológicos limitan el uso de pesticidas y en su lugar reactivan sus propios mecanismos de defensa, además utilizan la rotación de cultivos, lo que ayuda incrementar las concentraciones de nutrientes, entre ellos la fibra

En cuanto a los valores de proteína, varios autores atribuyen estas diferencias a las prácticas de manejo propias de cada sistema, por ejemplo, el sistema de producción agroecológico como se describió anteriormente presenta mayor contenido de nitrógeno en el suelo ya que los nutrientes se liberan lentamente, de acuerdo con el requerimiento de la planta; además, utiliza abonos orgánicos que fomentan el incremento y actividad de microorganismos benéficos en el suelo, los cuales favorecen la absorción del nitrógeno por parte de las plantas; tomando en cuenta que este mineral es esencial para la síntesis de proteínas, es por esto que se tiene como resultado, que el kale contiene mayores concentraciones de este macronutriente. En el caso del sistema convencional como se mencionó anteriormente utiliza fertilizantes nitrogenados, los cuales ofrecen fuentes de nitrógeno en una alta concentración durante poco tiempo, esto favorece la producción de hojas en las plantas; sin embargo, este comportamiento no favorece la absorción completa de este nutriente por parte del cultivo, obteniendo un kale con menor contenido de proteína (De Souza-Araújo et al., 2014; Popa et al., 2019; Santos et al., 2020; Yu et al., 2018).

Con la finalidad de realizar una comparación de los resultados obtenidos en cuanto al contenido de macronutrientes, a continuación, se exponen algunas investigaciones de otros cultivos, ya que no se ha encontrado en literatura trabajos similares que se relacionen con el kale. Por ejemplo, según De Souza-Araújo et al. (2014) al comparar la calidad nutricional de la lechuga en dos sistemas de producción, obtuvieron como resultados que la lechuga proveniente de un sistema orgánico presentó una humedad de 93,62% y fibra de 2,90%,

mientras que la lechuga convencional mostró una humedad de 93,84 % y fibra de 2,53 %. Así mismo, según Gastoł et al., (2011) al comparar el contenido de humedad y proteína en el cultivo de apio, obtuvieron como resultado que en los sistemas convencionales presentaron una humedad de 88,8 % y una proteína de 0,19 %, mientras que el apio convencional mostró una humedad de 88,0 % y 0,15 de proteína. Además, según Antón (2018), al realizar un estudio comparativo de macronutrientes de un sistema agroecológico y convencional en la lechuga, obtuvo los siguientes resultados para la lechuga agroecológica una humedad de 94,60 %, fibra de 1,90 % y carbohidratos de 12,11 %, mientras que la lechuga convencional mostró valores en cuanto a humedad de 95,35 %, fibra de 1,08 % y carbohidratos de 9,41 %.

Con base a los resultados obtenidos en esta investigación, los micronutrientes si se vieron afectados por el sistema de producción, es decir las diferencias encontradas de calcio, potasio, hierro y vitamina C, entre los sistemas agroecológico y convencional, se deben a las prácticas propias de cada sistema, por ejemplo, los sistemas agroecológicos utilizan prácticas que minimizan o eliminan completamente el uso de pesticidas y herbicidas, esto puede tener beneficios importantes en la salud de las plantas, ya que reduce el estrés y les permite producir más nutrientes y vitaminas de forma natural. (De Oliveira et al., 2017).

Otros autores mencionan que la cantidad de nutrientes en el cultivo depende de la disponibilidad de minerales en el suelo, además, la agricultura agroecológica, emplea diversas técnicas para preservar la fertilidad del suelo, algunas de estas técnicas: es la rotación de cultivos para evitar la disminución de los nutrientes del suelo, asociación de cultivos que se incorporan al suelo para enriquecerlo; y la aplicación de abonos orgánicos (estiércol de animales y residuos de plantas) al suelo. La característica principal de estas prácticas es la incorporación de materia orgánica, la cual mantiene la estructura y provee alimento de forma continua a los microorganismos que se encuentran en el suelo; con estas técnicas, los nutrientes del suelo se liberan gradualmente con el tiempo, lo cual favorece, la absorción y disponibilidad de minerales hacia el cultivo, dando como resultado mayor contenido de estos nutrientes en el kale.

Por el contrario, en el sistema convencional existe el uso excesivo de fertilizantes químicos que disminuyen la fertilidad del suelo y comprometen la absorción de los nutrientes por parte de la planta. Como resultado, las plantas fertilizadas con estos químicos se presentan con mayor crecimiento vegetal y menor valor nutricional, además, destruyen la vida en el suelo (Altieri, 1999; Gliessman, 1998; Nicholls y Altieri, 2019; Sarandón y Flores, 2014; Worthington, 2001).

Debido a la falta de estudios comparativos entre el kale orgánico y convencional en cuanto al contenido de micronutrientes, se realizó una comparación con otras investigaciones, en las que han realizado estudios similares, pero con otros cultivos. Por ejemplo, Kapoulas et al., (2017) al comparar el valor nutricional de cebolla verde, concluyo que la cebolla orgánica contenían mayores concentraciones de calcio 2,31 %, potasio 3,73 % y hierro 81,16 ppm; mientras que la cebolla convencional obtuvo valores para calcio de 0,92 %, potasio 2,64 % y hierro 57,97 ppm. Así mismo, Raigón (2018) manifiesta que la lechuga, col y escarola presentaron mayor contenido de potasio y calcio en la produc-

ción agroecológica que en la convencional, obteniendo valores superiores a 20 y 30 %, respectivamente. Del mismo modo, De Oliveira et al. (2017), en condiciones climáticas propias de Brasil, estudiaron la influencia del sistema de producción en la vitamina C del maracuyá y obtuvieron como resultado que el maracuyá orgánico, logró mayor contenido de vitamina C (28,72 mg/100 g) en comparación con el convencional (21,81 mg/100g); por otro lado, Domínguez, García y Raigón (2015) comprobaron que el pimiento verde ecológico contiene valores superiores al 10 % de vitamina C comparado con un convencional (Raigón, 2018).

CONCLUSIONES

El sistema agroecológico emplea prácticas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente, como la aplicación de abonos orgánicos (estiércol de vaca, oveja y gallinaza) e insecticidas naturales (ceniza, agua y detergente) mientras que los productores de sistemas convencionales suelen utilizar más agroquímicos y prácticas de manejo intensivo.

Las propiedades fisicoquímicas de kale como acidez, grados brix, pH, color, altura y ancho de la hoja no presenta diferencias estadísticamente significativas entre los sistemas de producción convencional y agroecológico.

La calidad nutricional del kale fue mayor en el sistema agroecológico que en el convencional, debido a que el cultivo agroecológico presenta valores superiores para macronutrientes entre un 12 a 48 %, mientras que en los minerales aumento entre el 25 y 76 % y 6,44 % para vitamina C.

En futuras investigaciones se sugiere implementar más análisis sobre otro tipo de suelo, bajo otro tipo de clima y el efecto de los pesticidas en la calidad nutricional de los cultivos. Además, para una mejor representatividad, se sugiere replicar estos análisis a más sistemas de producción dentro de cada lugar estudiado. Ya que este tipo de investigación contribuye a la seguridad alimentaria y al desarrollo sostenible.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a los productores de los sistemas agroecológicos y convencionales que permitieron realizar los análisis en sus fincas, por su disposición y tiempo para colaborar con nosotros en esta investigación

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

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

REFERENCIAS

- Altieri, M. (1999, marzo 17). AGROECOLOGÍA: Bases científicas para una agricultura sustentable. Biodiversidad en América Latina. https://www.biodiversidadla.org/Documentos/AGROECOLOGIA_Bases_cientificas_para_una_agricultura_sustentable.
- Andrade, C. M., y Ayaviri, D. (2018). Demand and Consumption of Organic Products in the Rióbamba Cantón, Ecuador. Información tecnológi-

- ca, 29(4), 217-226. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000400217>.
- Antón, L. (2018). Estudio comparativo de la composición de macronutrientes y micronutrientes en diferentes tipos de lechugas procedentes de cultivo ecológico y convencional. *Ingeniería del agua*, 18(1), ix. <https://doi.org/10.4995/ia.2014.3293>.
- AOAC. (2019). Official methods of analysis of AOAC International (21 ed). AOAC International. <http://www.eoma.aocac.org/>.
- Arroyo, P., Mazquiaran, L., Rodríguez, P., Valero, T., Ruiz, E., Ávila, J., y Varela, G. (2018). Informe Estado de Situación sobre “Frutas y Hortalizas: Nutrición y Salud en la España del S. XXI”. SEÑ - Sociedad Española de Nutrición. <https://www.sennutricion.org/es/2018/04/26/informe-estado-de-situacin-sobre-frutas-y-hortalizas-nutricin-y-salud-en-la-espaa-del-s-xxi>.
- Barrera, C. (2020). Concentración de nitratos en lechuga orejona (*Lactuca sativa* L. var. Parris Island) en un cultivo intercalar con hinojo (*Foeniculum vulgare* Mill.).
- Behr, U., y Wiebe, H.-J. (1992). Relation between photosynthesis and nitrate content of lettuce cultivars. *Scientia Horticulturae*, 49(3-4), 175-179. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(92\)90155-6](https://doi.org/10.1016/0304-4238(92)90155-6).
- Campuzano, A. M., Cornejo, F., Ruiz, O., y Peralta, E. L. (2010). Efecto del Tipo de Producción de Banano Cavendish en su Comportamiento Poscosecha. *Revista Tecnológica - ESPOL*, 23(2), Article 2. <http://200.10.150.204/index.php/tecnologica/article/view/54>.
- Casajús, V., Perini, M., Ramos, R., Lourenco, A. B., Salinas, C., Sánchez, E., Fanello, D., Civello, P., Frezza, D., y Martínez, G. (2021). Harvesting at the end of the day extends postharvest life of kale (*Brassica oleracea* var. *Sabellica*). *Scientia Horticulturae*, 276, 109757. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109757>.
- Casas, A., y Moreno, A. (2015, febrero 10). Seguridad alimentaria y cambio climático en América Latina. *Biodiversidad en América Latina*, 30(4). https://www.biodiversidadla.org/Documentos/Revista_LEISA_Nutricion_y_agricultura_familiar_-_Volumen_30_numero_4.
- Chávez Caiza, J. P., y Burbano Rodríguez, R. T. (2021). Cambio climático y sistemas de producción agroecológico, orgánico y convencional en los cantones Cayambe y Pedro Moncayo. *Letras Verdes. Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, 29, 149-166. <https://doi.org/10.17141/letrasverdes.29.2021.4751>.
- Crecente-Campo, J., Nunes-Damaceno, M., Romero-Rodríguez, M. A., y Vázquez-Odériz, M. L. (2012). Color, anthocyanin pigment, ascorbic acid and total phenolic compound determination in organic versus conventional strawberries (*Fragaria x ananassa* Duch, cv Selva). *Journal of Food Composition and Analysis*, 28(1), 23-30. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2012.07.004>.
- De Oliveira, A. B., De Almeida López, M. M., Moura, C. F. H., De Siqueira Oliveira, L., De Souza, K. O., Filho, E. G., Urban, L., y De Miranda, M. R. A. (2017). Effects of organic vs. Conventional farming systems on quality and antioxidant metabolism of passion fruit during maturation. *Scientia Horticulturae*, 222, 84-89. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.05.021>.
- De Souza Araújo, D. F., Da Silva, A. M. R. B., De Andrade Lima, L. L., Da Silva Vasconcelos, M. A., Andrade, S. A. C., y Asfora Sarubbo, L. (2014). The concentration of minerals and physicochemical contaminants in conventional and organic vegetables. *Food Control*, 44, 242-248. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.04.005>.
- Domínguez, A., García, M., y Raigón, M. (2015). La calidad de los frutos cítricos de producción ecológica. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/56245>.
- Fontana, L., Rossi, C. A., Hubinger, S. Z., Ferreira, M. D., Spoto, M. H. F., Sala, F. C., y Verruma-Bernardi, M. R. (2018). Physicochemical characterization and sensory evaluation of lettuce cultivated in three growing systems. *Horticultura Brasileira*, 36(1), 20-26. <https://doi.org/10.1590/s0102-053620180104>.
- Gąstoł, M., Domagała-Świątkiewicz, I., y Krośniak, M. (2011). Organic versus conventional – a comparative study on quality and nutritional value of fruit and vegetable juices. *Biological Agriculture & Horticulture*, 27(3-4), 310-319. <https://doi.org/10.1080/01448765.2011.648726>.
- Gliessman, S. R. (1998). *Agroecology: Ecological processes in sustainable agriculture*. Ann Arbor Press.
- Kapoulas, N., Koukounaras, A., y Ilić, Z. S. (2017). Nutritional quality of lettuce and onion as companion plants from organic and conventional production in north Greece. *Scientia Horticulturae*, 219, 310-318. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.03.027>.
- Martínez, S., Olmos, I., Carballo, J., y Franco, I. (2010). Quality parameters of Brassica spp. Grown in northwest Spain. *International Journal of Food Science & Technology*, 45(4), 776-783. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02198.x>.
- Mora Bautista, M. A. (2021). Desarrollo y producción de Kale (*Brassica oleracea* var. *Acephala* auct.) en campo. [Tesis Doctoral]. Institución De Enseñanza E Investigación En Ciencias Agrícolas.
- Nicholls-Estrada, C., y Altieri, M. (2019). Caminos para la amplificación de la Agroecología.
- Popa, M. E., Mitelut, A. C., Popa, E. E., Stan, A., y Popa, V. I. (2019). Organic foods contribution to nutritional quality and value. *Trends in Food Science & Technology*, 84, 15-18. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.01.003>.
- Raigón, M. (2018). Calidad del alimento ecológico Sociedad Española de Agricultura Ecológica Agroecología. <https://docplayer.es/183208656-Calidad-calidad-del-alimento-ecologico-sociedad-espanola-de-agricultura-ecologica>.

Ramírez, F. (2021). El herbicida glifosato y sus alternativas. Universidad Nacional, Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas, 1, 1-29.

Reyes-Munguía, A., Rojas-Trejo, L., Campos-Montiel, R., Quintero-Lira, A., y Carrillo-Inungaray, M. (2017). Propiedades antioxidantes del extracto acuoso de Brassica oleracea var. Sabellica. <https://docplayer.es/88643933-Propiedades-antioxidantes-del-extracto-acuoso-de-brassica-oleracea-var-sabellica.html>.

Rodríguez, V., y Zumba, D. (2021). Influencia de tres variedades de col (Brassica oleracea) en la elaboración de chucrut—Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8266825>.

Santos, A. P. dos, Sousa, C. da S., Santos, Í. P. de O., Jesus, J. C. de, y Souza, F. M. de. (2020). Qualidade de plantas de alface produzidas sob sistema agroecológico e convencional. En R. J. de Oliveira, Agricultura Em Foco: Tópicos em Manejo, Fertilidade do Solo e Impactos Ambientais—Volume 3 (1.a ed., pp. 106-124). Editora Científica Digital. <https://doi.org/10.37885/200800871>.

Sarandón, S. J., y Flores, C. C. (2014). Agroecología: Bases teóricas para el diseño y manejo de Agroecosistemas. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). <https://doi.org/10.35537/10915/37280>.

Vitón, R., García, G., Soares, Y., Castillo, A., y Soto, A. (2017). AgroTech: Innovaciones que no sabías que eran de América Latina y el Caribe. <https://publications.iadb.org/es/agrotech-innovaciones-que-no-sabias-que-eran-de-america-latina-y-el-caribe>.

Worthington, V. (2001). Nutritional Quality of Organic Versus Conventional Fruits, Vegetables, and Grains. *The Journal of Alternative and Complementary Medicine*, 7(2), 161-173. <https://doi.org/10.1089/107555301750164244>.

Yu, X., Guo, L., Jiang, G., Song, Y., y Muminov, M. A. (2018). Advances of organic products over conventional productions with respect to nutritional quality and food security. *Acta Ecologica Sinica*, 38(1), 53-60. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2018.01.009>.

Detección de *Leptospira* patógena en hembras bovinas de edad reproductiva en la provincia de Morona Santiago

Pathogenic Leptospira detection in bovine females of reproductive age in Morona Santiago

Danilo Ismael Arévalo Torres^{1,*}, Víctor Montes- Zambrano² y Jhuliana Luna-Herrera¹

¹ Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, Universidad Nacional de Loja, Loja-Ecuador, diat0170@gmail.com, jhuliana.luna@unl.edu.ec

² Departamento de Veterinaria, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Técnica de Manabí, Manabí-Ecuador, victor.montes@utm.edu.ec

* Autor para correspondencia: diat0170@gmail.com

Fecha de recepción del manuscrito: 01/02/2024 Fecha de aceptación del manuscrito: 01/06/2024 Fecha de publicación: 30/06/2024

Resumen—La leptospirosis es una enfermedad zoonótica, causada por patógenos del género *Leptospira*, además es considerada como una enfermedad reproductiva que provoca elevadas pérdidas económicas en la ganadería bovina debido a abortos, infertilidad, disminución de la producción láctea y muerte de animales. Estudios serológicos realizados en el Ecuador han demostrado la circulación frecuente de serovares como: Pomona, Icterohaemorrhagiae, Grippotyphosa, Canicola, Bataviae, Hardjo, Australis, Sejroe, entre otros; sin embargo, las limitaciones de la serología hacen necesario el uso de técnicas moleculares para la detección del patógeno y sus sitios de colonización. En la provincia de Morona Santiago, no existen estudios relevantes sobre la detección de *Leptospira* patógena, por lo que, el presente estudio buscó identificar la presencia del patógeno en hembras bovinas de edad reproductiva faenadas en el cantón Gualaquiza, mediante un estudio observacional de tipo transversal en el camal municipal del cantón Gualaquiza. Se muestrearon 50 hembras bovinas para la obtención de suero sanguíneo, orina y lavado uterino con el fin de diagnosticar leptospirosis mediante MAT (aglutinación microscópica) y PCR convencional (gen *hap 1*). Se detectó *Leptospira* patógena en el 8% de los animales estudiados, por lo que se sugiere a los ganaderos y personal de la zona de estudio se instauren medidas de bioseguridad necesarias para reducir la transmisión en las poblaciones de animales y hacia el ser humano.

Palabras clave—Leptospirosis genital, *hap 1*, Enfermedad abortiva, MAT.

Abstract—Leptospirosis is a zoonotic disease caused by pathogenic species of the genus *Leptospira*. It is also a significant reproductive disease in cattle, leading to substantial economic losses due to abortions, infertility, decreased milk production, and animal mortality. Serological studies in Ecuador have revealed frequent circulation of serovars such as Pomona, Icterohaemorrhagiae, Grippotyphosa, Canicola, Bataviae, Hardjo, Australis, and Sejroe. However, the limitations of serology necessitate the use of molecular techniques to accurately detect the pathogen and its colonization sites. In Morona Santiago province, there are no relevant studies on pathogenic *Leptospira* detection, therefore this study aimed to identify the presence of the pathogen in reproductive-age bovine females in the municipal feedlot of Gualaquiza canton through a cross-sectional observational study. Fifty female cattle were sampled for blood serum, urine, and uterine lavage to diagnose leptospirosis using microscopic agglutination (MAT) and conventional PCR (*hap1* gene). Pathogenic *Leptospira* was detected in 8% of the animals. It is recommended that farmers and personnel implement necessary biosecurity measures to reduce transmission among animals and to humans.

Keywords—Genital leptospirosis, *hap 1*, Abortive disease, MAT.

INTRODUCCIÓN

La infección por *Leptospira* patógena en bovinos produce un impacto reproductivo en los animales a consecuencia de la colonización renal y uterina; causa un alto impacto económico por las pérdidas de producción de los hatos ganaderos debido a la presentación de signos como: fie-

bre, anemia hemolítica aguda con hemoglobinuria, abortos, infertilidad, disminución de la producción láctea y muerte, además constituye un riesgo para las personas que laboran en el manejo de los animales (Boey et al., 2019; Figueredo et al., 2017; Koval et al., 2020)

Los roedores son los principales reservorios y agentes diseminadores del patógeno, mientras que los hospederos ac-

cidentales en donde se desarrolla la enfermedad son la mayoría mamíferos incluido el ser humano; en los bovinos se puede presentar de forma aguda, subaguda o crónica (Pacheco, 2015; Zeni, 2018). Cada serovariedad de la bacteria está adaptada a determinados hospedadores mamíferos (Pacheco, 2015), siendo los bovinos hospedadores naturales de *Leptospira borgpetersenii* serovar Hardjo (Hardjobovis), y *Leptospira interrogans* serovar Hardjo (Hardjoprajtino) que pueden colonizar y mantenerse en el tracto genital de vacas y toros infectados (da Silva *et al.*, 2019); sin embargo, como ocurre con otras especies puede existir la presencia de otros serovares incidentales con consecuencias clínico patológicas más severas (Monroy *et al.*, 2020; Ramos, Cruz, *et al.*, 2019)

Las personas y animales pueden estar expuestos a la bacteria por contacto directo o indirecto con la orina de animales infectados. El contagio puede darse también por la vía vertical, de la madre al feto o al neonato a través de transmisión transplacentaria o transmamaria, respectivamente, así como también por vía sexual dentro de las especies (Boey *et al.*, 2019); en los bovinos se consideraba la infección del tracto genital un efecto secundario de la infección renal; sin embargo, la leptospirosis genital debe considerarse como un síndrome específico, en donde algunas cepas, del serogrupo Sejroe, colonizan el tracto genital (Loureiro & Lilenbaum, 2020).

El diagnóstico de la enfermedad es complicado, sobre todo considerando la inespecificidad de los signos clínicos aún en infecciones incidentales. El método “Gold-standard” para el diagnóstico es el Test de Micro Aglutinación (MAT) basado en la detección y titulación de anticuerpos producidos contra los antígenos de los serovares (Samrot *et al.*, 2021). Sin embargo, dadas las limitaciones en la sensibilidad de la prueba, es necesario recurrir a técnicas más sensibles y específicas que permitan la detección del agente en los diferentes órganos, con el fin de establecer el impacto sobre la salud del individuo y las poblaciones susceptibles a la infección. Actualmente se han desarrollado protocolos de diagnóstico mediante PCR con alta sensibilidad y especificidad (Hamer *et al.*, 2019). cuya mayor ventaja radica en que es posible detectar el ADN incluso cuando las bacterias no son viables (Grune *et al.*, 2021).

En estudios realizados en diferentes localidades del Ecuador las serovariedades identificadas con mayor frecuencia han sido, por ejemplo, en Manabí: Pomona, Icterohaemorrhagiae, Grippotyphosa (Burgos *et al.*, 2019); Loja: Canicola y Bataviae (Luna *et al.*, 2019); Chimborazo: Canicola, Hardjo y Pomona (Ordóñez *et al.*, 2021); El Pangui: Australis, Sejroe y Bataviae (Muyulema, 2020).

Al considerarse una enfermedad subdiagnosticada con consecuencias serias en la salud reproductiva de los animales, que puede generar un alto impacto económico en las ganaderías, el presente estudio tuvo como objetivo detectar la presencia de *Leptospira* patógena en hembras bovinas de edad reproductiva del cantón Gualaquiza de la provincia de Morona Santiago, mediante PCR convencional (gen *hap 1*), y a la vez detectar anticuerpos anti *Leptospira* en los animales incluidos en el estudio

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de ejecución y período

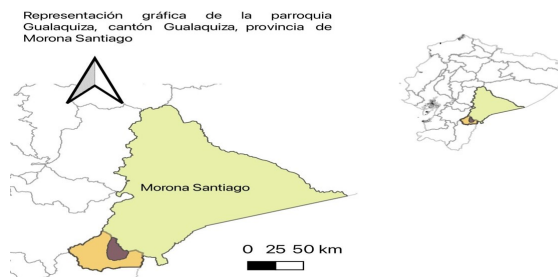


Fig. 1: Mapa de ubicación de la parroquia Gualaquiza, provincia de Morona Santiago

El presente estudio se desarrolló en el camal municipal del cantón Gualaquiza ubicado al suroeste de la provincia de Morona Santiago, durante los meses de junio y julio de 2022, en el que se faenan al mes un promedio de 100 bovinos de diferentes edades y razas.

Diseño de la investigación

El presente es un estudio observacional de tipo transversal, que se ejecutó en dos fases; una fase de campo en la que se recogió muestras de sangre, orina y lavado uterino e información perteneciente a los animales; y, una fase de laboratorio, en la que se detectó anticuerpos contra *Leptospira* spp. mediante aglutinación microscópica (MAT) y el agente patógeno mediante diagnóstico por PCR convencional (gen *hap1*).

Tamaño de la muestra y tipo de muestreo

Se realizó un muestreo no probabilístico durante los meses de junio y julio de 2022, habiéndose seleccionado 50 hembras bovinas de edad reproductiva (sobre los 14 meses de edad) según el ingreso al matadero en el periodo de estudio considerado; estos criterios fueron considerados dada la naturaleza de la investigación, que discute el impacto de la infección por *Leptospira* sobre la salud reproductiva de los animales. El número de animales se determinó en función de la capacidad de faenamiento del matadero y el tiempo contemplado para la investigación.

Registro de información de campo

La información obtenida que se registró en cuanto a la edad, raza y estado reproductivo fue organizada en registros de campo, en los cuales, además, se asignó un código para la identificación de cada animal.

Toma, transporte y conservación de muestras biológicas

Las muestras de sangre fueron extraídas por venopunción de la vena yugular en cantidad de 10 ml, utilizando tubos vacutainer sin anticoagulante. Las muestras de orina fueron obtenidas durante el proceso de evisceración mediante cistocentesis en cantidad de 3ml en tubos de reacción (Eppendorf). Para la colecta de la muestra del tracto reproductivo,

luego del proceso de evisceración se introdujo en el útero una sonda Foley, a través de la cual se administró suero fisiológico al 0,9% en cantidad aproximada de 15 ml, para posteriormente realizar un masaje del órgano y extraer 10 ml de lavado uterino, colocando en tubos Falcon estériles.

Para la obtención de suero sanguíneo se utilizó una centrifuga de campo a 1500 g durante 10 minutos. Las muestras fueron identificadas y transportadas en condiciones adecuadas a los laboratorios del Centro de Biotecnología de la Universidad Nacional de Loja

Detección de anticuerpos y determinación de serovares mediante aglutinación microscópica (MAT)

La detección de anticuerpos contra *Leptospira* patógena se realizó por medio de la técnica de MAT. Se empleó un panel de siete serovares de antígenos vivos de *Leptospira borgpetersenii* serovar Sejroe, *Leptospira interrogans* serovares Canicola, Tarassovi, Bataviae, Pomona, Wolffi y Hardjo.

Con respecto al proceso de titulación se siguió el procedimiento recomendado por el Manual de Código Terrestre, en donde se sugiere realizar diluciones dobles del suero, las mismas que se realizaron hasta 1/1600. Se consideró además que en caso de detectarse coaglutinaciones la muestra se considera positiva con el serovar con la titulación más alta (OIE, 2021).

Detección de *Leptospira* spp. mediante PCR convencional

Las muestras de orina fueron sometidas a un proceso de estabilización y concentración (Stoddard, 2013). El protocolo de extracción consistió en utilizar 500 ul de buffer de lisis que contiene EDTA, SDS, TRIS, ClNa y 5 ul de proteinasa K sometidas a una incubación por una hora a 56°C, después de ese tiempo se aplicó etanol al 100% para provocar precipitación del ADN (Matamala Vera, 2024). La detección del material genético bacteriano se realizó por PCR convencional para el gen *hap1* de 262 pb, perteneciente a *Leptospira* patógena (reverse primer “TGTTGGGGAAATCATACGAAC”; forward primer “GCAAGCATTACCGCTTGTGG”) (Branger et al., 2005). La amplificación de PCR consistió en un ciclo inicial de 5 min a 95 °C seguida de 45 ciclos de 15 seg a 94 °C, 35 seg a 56 °C y 40 seg a 72 °C; la extensión final fue realizada durante 10 min a 72 °C. Los productos de PCR fueron cargados en gel de agarosa al 1,5% teñido con SYBR Safe y cargados con buffer de carga 6X y sometidos a 100 voltios por 40 minutos. Para la visualización a partir de electroforesis, se colocó el gel sobre un transiluminador de luz azul (safe imagen 2.0 Invitrogen) para determinar el peso molecular de las bandas obtenidas del producto de PCR se utilizó un marcador de peso molecular de 50 pb.

Definición de caso

Se consideró un caso positivo a leptospirosis a cualquier animal con resultado PCR positivo a partir del procesamiento de las muestras de orina o útero, acompañado o no de un resultado positivo en MAT con un punto de corte >1:100. Todo el proceso serológico y molecular se llevó a cabo en el Laboratorio de *Leptospira* de la Universidad Técnica de Manabí.

El análisis estadístico

Los resultados obtenidos del diagnóstico se analizaron mediante estadística descriptiva empleando tablas de frecuencia para expresar datos en porcentaje respecto a la edad y la raza de los animales. Para establecer la relación entre la colonización renal o uterina con el serovar infectante se consideró realizar el test Chi cuadrado y/o Test de Fisher tomando en cuenta un valor de *p* menor a 0,05 como estadísticamente significativo. El análisis se realizó en el software estadístico R versión 4.3.2.

RESULTADOS

Características de los animales estudiados

Los animales considerados para el estudio fueron 50 hembras bovinas de edad reproductiva entre los 14 y 60 meses, criollas (10%), de razas mestizas Charoláis (35%), Brown Swiss (8%) y Holstein Friesian (2%).

Resultados del diagnóstico serológico de leptospirosis en hembras bovinas faenadas en el cantón Gualaquiza

No hubo ningún animal seropositivo en MAT considerando un punto de corte de 1/100; sin embargo, una muestra de suero de un animal mostró aglutinación en una titulación de 1/50 frente al serovar Bataviae.

Resultados del diagnóstico mediante PCR convencional

Se detectó *Leptospira* mediante PCR convencional (*hap 1*) en cuatro animales. Dos de las 50 muestras de orina resultaron positivas confirmando la eliminación de la bacteria por esta vía; mientras que dos animales fueron positivos a partir de muestras uterinas. Las muestras de orina con resultado positivo a PCR corresponden a un animal mestizo de 48 meses de edad y una hembra Charoláis de 16 meses de edad, mientras que en las muestras uterinas pertenecen a una hembra Brown Swiss de 36 meses de edad y una Charoláis de 24 meses de edad.

DISCUSIÓN

Diagnóstico serológico

Los resultados negativos encontrados en el presente estudio mediante la prueba de MAT podrían indicar la ausencia de la enfermedad en su fase aguda; estos resultados contrastan con los reportados en la amazonía recientemente, específicamente en el cantón El Panguí, en donde se encontró una prevalencia del 12,21% (Muyulema Erazo, 2020), lo que podría atribuirse al diseño de este estudio, en el que no se consideró un muestreo aleatorio en la población de bovinos del cantón. Es importante señalar además que la sensibilidad de la prueba depende del panel de serovares utilizado por lo que no puede descartarse la posibilidad de la existencia de animales seropositivos con el uso de un panel diagnóstico más amplio; asimismo, MAT tiene limitaciones para la identificación de animales enfermos crónicos, que pueden abortar o ser portadores renales y genitales con títulos por debajo de

1/100 (OIE, 2021).

El resultado de la aglutinación de 1/50 para el serovar *Bataviae* en una de las muestras analizadas en este estudio, probablemente se atribuye a una infección crónica en donde la presencia de títulos bajos de anticuerpos indica la exposición del animal frente al agente patógeno. *Bataviae* ha sido un serovar reportado en especies silvestres de roedores (Benacer *et al.*, 2016), lo que podría sugerir una interacción entre estos hospedadores de mantenimiento y los animales domésticos como el ganado bovino.

En otros estudios realizados en el Ecuador se han reportado diversos serovares, así por ejemplo en el cantón El Pangui (a 25 km del cantón Gualaquiza) se encontraron animales positivos para el serovar *Australis*, por lo que habría que considerarlo para futuras investigaciones; mientras tanto, en Manabí la seroprevalencia encontrada fue del 57,38 % en el 2019 utilizando un panel de ocho serovares, en donde el serovar *Pomona* fue el más frecuente (Burgos *et al.*, 2019); asimismo, en Loja la prevalencia reportada para el 2019 fue del 30,08 % en un panel de dieciocho serovares, siendo los serovares más frecuentes *Canicola* y *Bataviae* (Luna *et al.*, 2019).

Estudios con la técnica de MAT en Colombia en el Departamento de Antioquia, demostraron una prevalencia del 69,9 %, en vacas con problemas reproductivos (Suárez *et al.*, 2017); mientras que, en México, en un estudio de hembras bovinas en edad reproductiva, la unidad de producción presentó una frecuencia de 24,1 % (Ramos, Romero, *et al.*, 2019). Es probable que en estas investigaciones las seroprevalencias sean más elevadas por cuanto los animales seleccionados tenían antecedentes de problemas reproductivos.

Detección de *Leptospira* patógena

Leptospira spp. puede encontrarse circulantes en la sangre, orina, tejidos y en los órganos reproductivos de los animales infectados. Transcurrida la fase de leptospiremia, pueden eliminarse de forma intermitente durante la micción, pero al no ser detectada en la orina no se descarta que el animal sea un portador renal crónico (Urioste, 2021). En este estudio al analizar muestras serológicas por MAT se obtuvo resultados negativos; por medio de detección molecular en muestras de orina y útero se obtuvo 4 resultados positivos.

En estudios similares en bovinos hembras en edad reproductiva, en Brasil se detectó ADN de *Leptospira* spp. en el 66,7 % de animales (Aymée *et al.*, 2021), demostrando una cifra importante en bovinos con baja eficiencia reproductiva por la colonización genital de la bacteria; así mismo, en un estudio realizado en un camal de Río de Janeiro en vacas no gestantes, el 26,2 % fueron positivas, las muestras analizadas fueron de sangre y fragmentos uterinos (di Azevedo *et al.*, 2020). La colonización de la bacteria en el tracto reproductivo genera pérdidas en la producción y reproducción de las ganaderías.

La detección del patógeno en la orina ha sido el procedimiento de elección para demostrar el estado de portador renal de los animales infectados, así, por ejemplo, a partir de muestras de orina de bovinos tomadas en un camal municipal del estado de Paraná, Brasil, se estimó una frecuencia de 14,9 % (Guedes *et al.*, 2019). La presencia de la bacteria en el útero puede interferir en la concepción y el desarrollo embrionario, a la vez, la detección renal de la bacteria demuestra el

tropismo que tiene por dicho órgano (Urioste, 2021).

En este estudio, se detectó *Leptospira* patógena en el 4 % (2/50) de las muestras de orina y en el 4 % (2/50) de las muestras uterinas, totalizando 4 hembras bovinas con diagnóstico positivo a PCR (*hap1*). Sin embargo, la frecuencia de detección ha sido mayor en la provincia de Manabí, ya que en 72 muestras de orina se obtuvo 10 muestras positivas en PCR para detección del *gen rrl* (Revelo *et al.*, 2020).

La sensibilidad de diagnóstico de la técnica molecular PCR, permite utilizarle como complemento de la prueba serológica MAT, durante los primeros días de enfermedad o cuando se carece de muestras pareadas, permitiendo un diagnóstico preciso (Sandoval *et al.*, 2018). En esta investigación los animales PCR positivos, no fueron seropositivos, y solo uno fue positivo con titulación baja (1/50 para *Bataviae*).

La presencia de *Leptospira* en el útero de las vacas interfiere con la implantación del embrión u otros eventos tempranos de la preñez, los mecanismos de defensa son afectados por los cambios de pH intrauterino y por la actividad hormonal, permitiendo una invasión de agentes infecciosos generando una respuesta inflamatoria (Mosquera *et al.*, 2022); en el estado de portador renal permite la persistencia y su multiplicación, siendo eliminado por la orina por largos periodos de tiempo, generando en el animal portador diferentes cuadros clínicos (García *et al.*, 2014).

La detección de leptospiras en orina y útero por técnicas moleculares de PCR, permite establecer que existe la presencia de la infección en la zona, la transmisión de la bacteria puede ser atribuida a diversos factores como causas ambientales o entre animales, generando pérdidas en la producción y reproducción en las ganaderías de bovinos.

CONCLUSIONES

No se detectaron animales con anticuerpos contra *Leptospira* patógena en MAT en un punto de corte de 1/100; sin embargo, en un animal se detectó aglutinación en una dilución de 1/50 (*Bataviae*), que por su resultado PCR positivo, se sugiere que es un animal que ha estado expuesto a *Leptospira* spp. y que mantiene colonización renal del patógeno.

En el análisis de las muestras de útero y orina por PCR convencional, se obtuvo una frecuencia de animales positivos del 8 %, lo que indica la presencia de la infección en las diferentes ganaderías del cantón Gualaquiza, siendo un riesgo sanitario para las personas que laboran en el cuidado de los animales y personal que trabajan en el camal.

No se pudo determinar la relación de serovares infectantes y el tipo de colonización uterina y renal, en las hembras bovinas en edad reproductiva.

AGRADECIMIENTOS

Gratitud al personal técnico del centro de faenamiento del matadero municipal de Gualaquiza y a los académicos de la Universidad Nacional de Loja y de la Universidad Técnica de Manabí

REFERENCIAS

Aymée, L., Gregg, W. R. R., Loureiro, A. P., Di Azevedo, M. I. N., Pedrosa, J. de S., Melo, J. dos S. L. de, Carvalho-Costa, F. A., de Souza, G. N., & Lilienbaum, W. (2021).

Bovine Genital Leptospirosis and reproductive disorders of live subfertile cows under field conditions. *Veterinary Microbiology*, 261. (link unavailable)

Benacer, D., Mohd Zain, S. N., Sim, S. Z., Mohd Khalid, M. K. N., Galloway, R. L., Souris, M., & Thong, K. L. (2016). Determination of *Leptospira borgpetersenii* serovar Javanica and *Leptospira interrogans* serovar Bataviae as the persistent *Leptospira* serovars circulating in the urban rat populations in Peninsular Malaysia. *Parasites and Vectors*, 9(1). (link unavailable)

Boey, K., Shiokawa, K., & Rajeev, S. (2019). *Leptospira* infection in rats: A literature review of global prevalence and distribution. In *PLoS Neglected Tropical Diseases* (Vol. 13, Issue 8). Public Library of Science. (link unavailable)

Branger, C., Blanchard, B., Fillonneau, C., Suard, I., Aviat, F., Chevallier, B., & André-Fontaine, G. (2005). Polymerase chain reaction assay specific for pathogenic *Leptospira* based on the gene hap1 encoding the hemolysis-associated protein-1. *FEMS Microbiology Letters*, 243(2), 437–445. (link unavailable)

Burgos, D., Pérez, M., Bulnes, C. A., Zambrano, M. D., Sandoval, H. P., Falconi, M. A., Vera, L., Revelo, A. P., & Fonseca, O. (2019). Determinación de la seroprevalencia de *Leptospira* spp. y los principales serovares circulantes en el ganado bovino en la provincia de Manabí, Ecuador. *Revue Scientifique et Technique* (International Office of Epizootics), 38(3). (link unavailable)

da Silva, C., Riet, F., & Giannitti, F. (2019). Enfermedades infecciosas que causan abortos en bovinos con enfoque en rodeos lecheros de Uruguay [Universidad de la República - Uruguay]. (link unavailable)

di Azevedo, M. I. N., Pires, B. C., Libonati, H., Pinto, P. S., Cardoso Barbosa, L. F., Carvalho-Costa, F. A., & Lilenbaum, W. (2020). Extra-renal bovine leptospirosis: Molecular characterization of the *Leptospira interrogans* Sejroe serogroup on the uterus of non-pregnant cows. *Veterinary Microbiology*, 250. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2020.108869>

Muyulema Erazo, E. H. (2020). Estudio clínico epidemiológico de leptospirosis en hembras bovinas en edad reproductiva en el cantón El Pangui [Tesis de Maestría]. Escuela Superior Politécnica del Chimborazo.

Figueredo, G., Ortiz, E., Guerrero, B., & Carrillo, A. (2017). Association between seropositivity to bvd virus, *leptospira interrogans* and neospora caninum and abortions in small holder farms in the dairy belt of Boyacá, Colombia. In *Revista de Investigaciones Veterinarias del Peru* (Vol. 28, Issue 4, pp. 1002–1009). Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

García, J., Tena, M., & Val, D. (2014). Determinación de la presencia de leptospira *Borgpetersenii* serovar Hardjo tipo bovis, en ganado lechero en México. Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo.

Grune, S., Periago, M. v, Watanabe, O., Saraullo, V., Aldama, E., Cejas, R. G., Cruz, D., Delgado, C., Goizueta, C. M., Hamer, M., Martínez, M., & Brihuega, B. F. (2021). Detección de *Leptospira* spp. (Spirochaetales: Leptospiraceae) en muestras ambientales de regiones habitadas por poblaciones vulnerables del norte Argentino. *FAVE Sección Ciencias Veterinarias*, 20(2), 91–96.

Guedes, I. B., Araújo, S. A. de A., de Souza, G. O., de Souza Silva, S. O., Taniwaki, S. A., Cortez, A., Brandão, P. E., & Heinemann, M. B. (2019). Circulating *Leptospira* species identified in cattle of the Brazilian Amazon. *Acta Tropica*, 191.

Hamer, M., Saraullo, V., Brihuega, B., Watanave, O., Martínez, M., & Grune Loffler, S. (2019). Comparación de métodos de extracción de ADN simples y económicos para el diagnóstico molecular de leptospirosis animal. *FAVE Sección Ciencias Veterinarias*, 18(2), 68–73.

Koval, A. A., Brihuega, B. F., Grune Loffler, S., López, S., Saint Martin, M., Lagioia, G. G., & Insaugarat, J. R. (2020). First isolation of *Leptospira borgpetersenii* serovar Hardjo type Hardjo Bovis from a clinical case in cattle in Argentina. *Revista Argentina de Microbiología*, 52(3), 198–201.

Loureiro, A. P., & Lilenbaum, W. (2020). Genital bovine leptospirosis: A new look for an old disease. In *Theriogenology* (Vol. 141, pp. 41–47). Elsevier Inc.

Luna, J., Chávez, R., & Román, F. (2019). Factores de riesgo asociados a la leptospirosis bovina en el sur del Ecuador. *Revista de La Dirección de Investigación. CEDAMAZ*, 09(02).

Matamala Vera, S. A. (2024). Evaluación de la prueba MAT y PCR en sangre y orina para determinar el estatus de infección de vacas lecheras abortadas dentro de los siete días post aborto. Universidad Austral de Chile.

Monroy, Á., Vargas, J., Di Filippo, G., & Quimbaya, J. (2020). Leptospirosis en reservorios animales. *Revista Lallista de Investigacion*, 17(2), 267–279. <https://doi.org/10.22507/rli.v17n2a23>

Mosquera, M., Armas, E., Alvarez, K., García, M., López, M., & Díaz, R. (2022, June 28). Alteraciones genitales en la infección por leptospirosis en ratas Wistar gestantes. *Ciencias Médicas*, 1–9.

Muyulema, E. (2020). Estudio clínico epidemiológico de leptospirosis en hembras bovinas en edad reproductiva en el cantón el Pangui. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.

OIE. (2021). Capítulo: 3.1.12 Leptospirosis. *Manual Terrestre de La OIE*.

Ordóñez, G., Avilés, D., Borja, B., & Condolo, L. (2021). Relación entre enfermedades infecciosas y parámetros reproductivos con énfasis en el perfil reproductivo. In *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal AICA* (Vol. 16).

Pacheco, G. (2015). Una visión general de la leptospirosis Artículo de Revisión (Vol. 4, Issue 1).

Ramos, J., Cruz, A., Barrientos, C., & Alfonso, A. (2019). Análisis genómico de aislamientos de *Leptospira* spp. en bovinos de una unidad de producción del municipio de Cuitláhuac, Veracruz. [Maestro en Ciencia Animal]. Universidad Veracruzana.

Revelo, A., de la Torre, E. M., Martínez, G. C., Baquero, M. C., & Casart, Y. Q. (2020). Evaluation of genomic DNA extraction methods for the identification of *Leptospira* spp. In bovine urine samples by PCR. *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Peru*, 31(2).

Samrot, A. v., Sean, T. C., Bhavya, K. S., Sahithya, C. S., Chandrasekaran, S., Palanisamy, R., Robinson, E. R., Subbiah, S. K., & Mok, P. L. (2021). Leptospiral infection, pathogenesis and its diagnosis—a review. In *Pathogens* (Vol. 10, Issue 2, pp. 1–30). MDPI AG.

Sandoval, P., Avilés, M., Montesinos, R., Montalvo, M., & Tejeda, A. (2018). Estudio comparativo del diagnóstico de leptospirosis mediante PCR y MAT en el noroeste de México. *Acta Universitaria*, 28(4), 50–55.

Stoddard, R. A. (2013). Detection of Pathogenic *Leptospira* spp. Through Real-Time PCR (qPCR) Targeting the LipL32 Gene. *Detection of Microbial Pathogens*, 257–266.

Suárez, A., Cristina, Á., Parra, B., & Andrés, C. (2017). Actualización de la Leptospirosis bovina en Colombia. In *kmilo215@hotmail.com* (Vol. 7, Issue 1).

Urioste, V. (2021). Efectos de la infección natural por *Leptospira* spp. sobre la fisiología reproductiva de las vaquillonas holstein [Program de Posgrados, Universidad de la República de Uruguay].

Zeni, F. B. (2018). Estudio del comportamiento de pruebas diagnósticas serológicas, bacteriológicas y moleculares aplicadas en predios con sintomatología compatible con leptospirosis bovina.

Evaluación de residuos agrícolas, como sustrato para la producción artesanal del Hongo Ostra (*Pleurotus Ostreatus*)

*Evaluation of agricultural waste, as a substrate for the artisanal production of the Oyster Mushroom (*Pleurotus Ostreatus*)*

Ricardo Albuja-Narváez¹, Ana Ruth Álvarez-Sánchez^{2,*} y Juan José Reyes-Pérez²

¹ Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Unidad de Posgrado, Maestría en Agronomía mención en desarrollo sostenible. Quevedo, Ecuador

² Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Av. Quito. Km 1 ½ vía a Santo Domingo. Quevedo, Los Ríos, Ecuador, CP 120504

* Autor para correspondencia: aalvarezs@uteq.edu.ec

Fecha de recepción del manuscrito: 14/09/2022 Fecha de aceptación del manuscrito: 02/01/2024 Fecha de publicación: 30/06/2024

Resumen—*Pleurotus ostreatus* es uno de los hongos comestibles más consumidos a nivel mundial, en Ecuador, no existe mucha información sobre el uso de residuos agrícolas que sirvan como sustratos óptimos, ni adaptaciones agroclimáticas del cultivo artesanal de este hongo. El objetivo de este trabajo fue evaluar diferentes residuos agrícolas, como sustrato para la producción artesanal del hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*) en la comunidad del Carmen, Loja, Ecuador. Para el desarrollo de este trabajo se evaluaron tres tratamientos con cinco repeticiones para cada tratamiento, los tratamientos fueron evaluados en residuos agrícolas de: bagazo de caña (T1), cascarilla de café (T2) y tamo de arroz (T3), las variables que se midieron fueron: precocidad, eficiencia biológica y tasa de producción. El diseño estadístico utilizado fue un diseño completamente al azar evaluado estadísticamente mediante un ANOVA con el programa estadístico R. Los resultados indicaron que para el tratamiento con bagazo de caña (T1) la precocidad encontrada fue de entre 34 y 44 días, obteniendo una producción promedio de 25 % y una eficiencia biológica de 15 %. Para el cultivo del hongo en los residuos de cascarilla de café (T2) se observaron problemas de crecimiento; en el tratamiento con tamo de arroz (T3) presentó una precocidad entre 52 y 81 días con una producción promedio de 3,2 % y una eficiencia biológica promedio de 2 %. Concluyendo que el bagazo de caña es el residuo agrícola más recomendado para el cultivo del hongo *Pleurotus ostreatus* en la comunidad del Carmen, Loja Ecuador.

Palabras clave—Bagazo de caña de azúcar, Eficiencia biológica, Precocidad, Tamo de arroz, Tasa de producción

Abstract—*Pleurotus ostreatus* is one of the most consumed edible mushrooms worldwide, in Ecuador, there is not much information on the use of agricultural residues that serve as optimal substrates, nor agroclimatic adaptations of the artisanal cultivation of this fungus. The objective of this work was to evaluate different agricultural residues, as a substrate for the artisanal production of the oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) in the community of Carmen, Loja, Ecuador. For the development of this work, three treatments with five replicates for each treatment were evaluated, the treatments were evaluated on agricultural residues of: cane bagasse (T1), coffee husk (T2) and rice chaff (T3), the variables that were measured were: earliness, biological efficiency and production rate. The statistical design used was a completely randomized design statistically evaluated by means of an ANOVA with the statistical program R. The results indicated that for the treatment with sugar cane bagasse (T1) the earliness found was between 34 and 44 days, obtaining an average production of 25 % and biological efficiency 15 %. For the cultivation of the fungus in the coffee husk residues (T2), growth problems were observed; in the treatment with rice chaff (T3) it presented an earliness between 52 and 81 days with an average production rate of 3.2 % and an average biological efficiency of 2 %. Concluding that cane bagasse is the most recommended agricultural residue for the cultivation of the fungus *Pleurotus ostreatus* in the community of Carmen, Loja Ecuador.

Keywords—Sugarcane bagasse, Biological efficiency, Earliness, Rice chaff, Production rate

INTRODUCCIÓN

Pleurotus ostreatus is one of the most consumed foods worldwide (Grimm & Wösten, 2018), it ranks second among the most popular edible mushrooms in the western world, below *Lentinula edodes* (shiitake) and with a crop

production between 18 % and 19 % (Puig-Fernández et al., 2020). In 2020, it is estimated that the cultivation of mushrooms represented a consumption of USD 16.7 billion (Saha-gún, 2020). This market is represented by medicinal mushrooms (38 %), wild edible mushrooms (8 %) and edible cultivated mushrooms (54 %) (D. J. Royse et al., 2017). In China

alone, 87% of the 35,000 million kg of edible mushrooms are produced for annual local consumption (Kapahi 2018). The consumption of mushrooms in European countries, especially in the Nordic countries is culturally accepted (Svanberg & Lindh, 2019). Latin America does not have a culture so developed by the consumption of mushrooms, but as time passes this trend is changing.

In Ecuador, *Pleurotus ostreatus* is an introduced species cultivated especially by many mycology enthusiasts, and only for personal consumption since there is not yet a culture of mushroom consumption as widespread as in other regions of the world. In addition to this, there is almost no research on regional agroclimatic adaptation and substrate use, which is available in the country to cultivate this type of edible mushrooms, being a relatively new activity in the Ecuadorian market, which could be developed in populations with limited economic resources (Cruz *et al.*, 2021). However, it is known that some native communities in Ecuador consume mushrooms collected from the forest as part of their diet (Gamboa *et al.*, 2019).

The lack of information of the adaptations needed to cultivate the *Pleurotus ostreatus* mushroom in different agroclimatic regions, as well as the lack of incentives for rural communities. This has affected the production and commercialization of this mushroom, despite its great importance in the circular economy and in the production of edible and/or medicinal (Grimm & Wösteb, 2018). A possible solution to improve production and yield is use of local agricultural residues, as these are easy to obtain and low cost, allowing for artisanal production. In addition, by using agricultural residues, it contributes to the circular economy and takes advantage of resource that was previously considered waste.

That is why, the objective of this work was to evaluate different agricultural residues of the main local industries, as a substrate for the artisanal production of the oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*). This work is important because it will allow us to understand how the cultivation behavior of the *Pleurotus ostreatus* fungus is on an artisanal scale in different agricultural substrates with the agroclimatic conditions of Loja where environmental temperatures range from 9 °C to 21 °C. In addition to starting to answer questions about the adaptation of cultivation in these cold sites and with high humidity, delivering valuable knowledge about mushroom cultivation to the most vulnerable populations in the sector.

MATERIALES Y MÉTODOS

The research was conducted in the community of Carmen in the city of Loja, between the months of September through December 2021, a community located between the geographical coordinates of 4° 1' 42.063" South latitude and 79° 10' 56.654" West longitude, at an altitude of 2060 m.s.n.m. with an average temperature of 23 °C.

A completely randomized design (DCA) was used, with 3 treatments T1) in cane bagasse; T2) coffee husk and T3) rice straw. With a total of 20 gr of mycelium per experimental unit in quintuplicate. The genetic material used to conduct this research was *Pleurotus ostreatus* mycelium acquired from "Edible Fungi DIKARYA". The substrate obtained was sterilized by means of two processes: 1) Exposing the substrate in water at 70 °C for 30 minutes; 2) In an electric pressure

cooker brand INSIGNIA, for 15 minutes and 15 pounds 15 pounds of pressure of pressure using the programming "Vegetable Steam", after this, calcium carbonate (agricultural lime) was placed in the amount 10 g per bag.

In this study, 2 kg polyphane bags were used for the cultivation of *Pleurotus ostreatus* fungus. Each bag contained 10 g of mycelium and 800 g of dry substrate composed of local agricultural residues selected from sugarcane bagasse, coffee husks and rice straw. Subsequently, a wet weight was carried out with approximately 65 to 75% humidity (hand test = crush the substrate in the hand and just a few drops of waterfall), (Cruz *et al.*, 2021).

Once the bags of each substrate had been inoculated with the mycelium, the bags were closed with a YONG TELI brand bag sealer, model PFS 300, after this, the contents were mixed homogeneously leaving two small holes in the bags to remove the air and compact the substrate together with the mycelium. The cultivation of *Pleurotus ostreatus* was carried out in greenhouse conditions.

The variables analyzed in this work were: precocity of the fungus where it took as reference the number of days that it takes for the fungus to grow, from inoculation to the appearance of the first primordia subsequently, we performed the calculations proposed by Vega & Frank, (2013), for measuring the rate of production (TP) and the biological efficiency (BE) of the fungus to each of the treatments.

$$EB(\%) = \frac{\text{Weight of fresh mushrooms (g)}}{\text{Weight of fresh substrate (g)}} \times 100 \quad (1)$$

$$P = \frac{EB}{\text{Number of days of the process (harvest)}} \quad (2)$$

The results expressed in percentage were transformed for their statistical processing by the formula $\sin^{-1}\sqrt{\%}$, which guaranteed that they complied with a normal distribution and with homogeneity so that in this way, ANOVA parametric statistics was used. All the results were analyzed by analysis of variance and the means of the treatments were compared by means of Tukey's Multiple Range Tests; These analyzes were performed with 95% confidence (0.05). The statistical software used was the R studio (Rstudio Team, 2020).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

The precocity of the *Pleurotus ostreatus* fungus cultivated by hand on different substrates was obtained that, the treatment based on cane bagasse (T1) was the most effective relative to the other treatments obtaining development values between 34 and 44 days statistically significant results ($P=0.02161$). Our results are similar to those reported by Cruz *et al.*, (2021) who observed that in combined substrates of coffee husk, rice husk and sawdust the primordia of *P. ostreatus* grew between 35 and 45 days. Cardenas (2017), showed that the time to develop the mycelium in cane bagasse substrate was 35 days and Cuervo & Garzon, (2008) found that in cane bagasse the *Pleurotus ostreatus* fungus took 39 days to develop primordia.

Treatment 2 (T2), using coffee husks did not have good results in this research, this is consistent with what was reported by Fan *et al* (2006) who found that substances in cof-

fee husks such as tannins and caffeine can have a toxic effect on fungus cultures. Such as *P. ostreatus*, significantly affecting its growth, biological efficiency and production rate. This may be caused by the ability of tannin to act as enzyme inhibitors, preventing the fungus from synthesizing enzymes necessary to degrade the substrate and develop. Mateus et al. (2017) also reports that boiled coffee substrates may be more susceptible to contamination by green fungi such as *Trichoderma*, which compete for space and nutrients, causing *Pleurotus* growth inhibition.

Which hindered the growth of *P. ostratus* within this substrate. This result is possibly due to what was reported by Fan et al., (2006) who reports that in coffee husk substrates there are substances such as tannins and caffeine that can exert a toxic effect on fungal crops, mainly *P. ostratus* reason why, it can significantly affect the growth of the fungus. Mateus et al., (2017) reports that coffee substrates that are boiled present greater contamination by green fungi. It should be mentioned that, the treatment with rice tamo (T3), presented a precosity between 52 and 81 days (Fig 1). Regarding

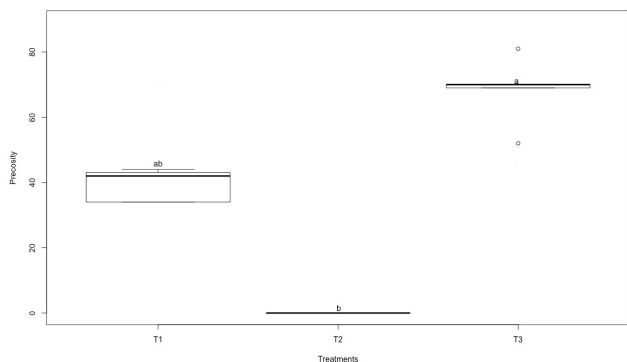


Fig. 1: Precosity of the *Pleurotus ostreatus* mushroom cultivation in different agricultural residues where: T1) in cane bagasse; T2) coffee husk and T3) rice straw.

the production rate (PT), it was obtained that the treatment based on cane bagasse (T1) had higher average values in the production rate of 25 %, statistically significant results ($P \leq 0,008082$) (Fig 2). Our results are similar to those found by Cuervo & Garzon, (2008) who found that, in cane bagasse, the TP was 32 %, just as those reported by Cardenas, (2017) indicated a low TP of 15 % in cane bagasse substrate. On the contrary, Cuervo & Garzon, (2008) expresses that by mixing coffee leftovers with sugarcane bagasse, the best results in productivity are obtained. they express that in their research, however, they do not indicate the percentage of it. Other studies express that combined substrates may be better than individual substrates but do not say exactly which substrates For the biological efficacy (EB), the treatment based on cane bagasse (T1) demonstrated the best results, obtaining a biological efficacy between 5% and 15% with statistically significant data ($P \leq 0,005678$) (Fig 3). Our results are lower than those reported by Vetayasuporn (2006), who notes in his study that under controlled laboratory conditions, it is possible to achieve a biological efficacy of 103.56%. However, he reported a biological efficacy of 36%, which is much higher than what was found in this work.

In order for the process to be economically feasible, as es-

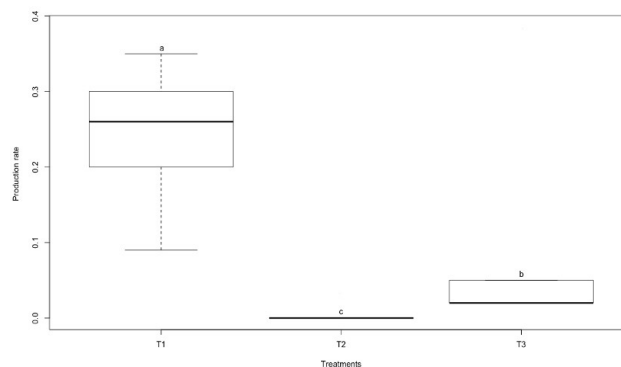


Fig. 2: Production rate (TP%) of the *Pleurotus ostreatus* mushroom culture in different agricultural residues where: T1) in cane bagasse; T2) coffee husk and T3) rice straw.

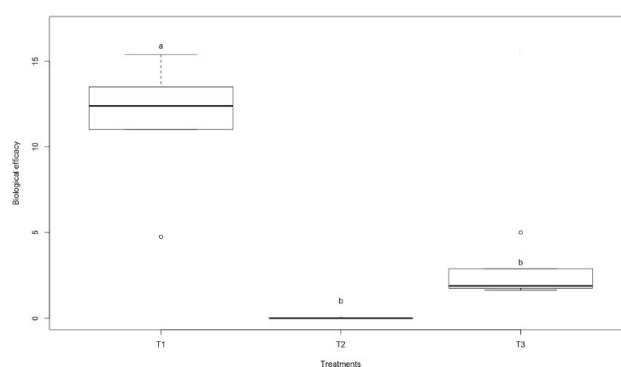


Fig. 3: Biological efficacy (EB%) of the *Pleurotus ostreatus* mushroom culture in different agricultural residues where: T1) in cane bagasse; T2) coffee husk and T3) rice straw.

established by the applied technology, the yields must be greater than 10% and the biological efficiency must reach values of at least 40% (Puig et al., 2020), therefore, the results of biological efficiency and yield in cane bagasse found in this study would not be satisfactory for biological efficiency, so in EB they were perceived as lower than those found with other authors, however Ríos et al., (2010), express that the low percentages mainly of Biological Efficiency, they are caused by variations in time mainly to the variability of temperature and humidity conditions, causing stress on the development of the fungus, decreasing its metabolism. The treatment with rice straw (T3) did not obtain good yields in terms of the three variables of precosity, biological efficiency and production rate that was measured in this study in addition to this, Cueva & Monzón, (2014) conclude that rice straw is not a good substrate for the cultivation of the fungus, due to its low moisture retention. It is recommended to revise the translation from Spanish to English, and to use technical terms for a good understanding in the English language.

CONCLUSIONES

Although our results are not as expected, we can conclude that the sugar cane bagasse is a good base substrate for the cultivation of *Pleurotus ostreatus*, showing good results in terms of the variables of precosity and production Rate, but a low activity in the variable Biological Efficiency that can

be explained by the climatic conditions of the place where the study was conducted, giving us more information about the behavior of this crop is mainly in conditions of low temperature and high humidity.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

RAN): field work, manuscript writing; (ARAS): research, translator, data analysis; (JJRP): article editing, statistical analysis.

FINANCIAMIENTO

To the State Technical University of Quevedo, for the support granted through the Competitive Fund for Scientific and Technological Research (FOCICYT) 8th Call, through the project "Agricultural use of fish crop biosolids and their effect on vegetable production".

REFERENCIAS

- Cardenas, C. A. (2017). Valoración y crecimiento del cultivo de *Pleurotus ostreatus* en cuatro sustratos generados a partir de procesos productivos agropecuarios, en el municipio de Málaga Santander. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 4. <https://doi.org/10.23850/24220582.857>
- Cruz, D., Capa, D., Maza, D., Ojeda, R., & Benítez, A. (2021). Producción y valor proteico de *Pleurotus ostreatus* en la región sur de Ecuador: Valor proteico de *Pleurotus ostreatus*. *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías*, 12(2), 7. <https://doi.org/10.18272/aci.v12i2.1806>
- Cuervo, J., & Garzón, J. (2008). Producción de *Pleurotus ostreatus* sobre residuos sólidos lignocelulósicos de diferente procedencia. *Nova*, 6(10), 126. <https://doi.org/10.22490/24629448.403>
- Cueva, M. B. R., & Monzón, A. H. (2014). Evaluación de residuos agrícolas para la producción del hongo *Pleurotus ostreatus*. 48, 54-59.
- Fan, L., Soccol, A. T., Pandey, A., Vandenberghe, L. P. de S., & Soccol, C. R. (2006). Effect of caffeine and tannins on cultivation and fructification of *Pleurotus* on coffee husks. *Brazilian Journal of Microbiology*, 37(4), 420-424. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822006000400003>
- Grimm, D., & Wösten, H. A. B. (2018). Mushroom cultivation in the circular economy. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102(18), 7795-7803. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-9226-8>
- Mateus, D. N., Marliane, C. S. da S., João, G. S. S., Juliana, S. da S., Yutaka, T., & Maria, C. M. K. (2017). *Pleurotus ostreatus*, mushrooms production using quick and cheap methods and the challenges to the use of coffee husk as substrate. *African Journal of Microbiology Research*, 11(31), 1252-1258. <https://doi.org/10.5897/AJMR2016.7942>
- Puig-Fernández, Y., Crespo-Zafra, L. M., Cardona-Soberano, Y. R., Matos-Mosqueda, L., & Serrano-Alberni, M. (2020). Evaluación de tres residuos agroindustriales como sustratos para cultivo del *Pleurotus ostreatus* var. Florida. *Revista Científica Multidisciplinaria Arbitrada «Yachasan»*, 4(7), 162-176. <https://doi.org/10.46296/yc.v4i7.0040>
- Rios, M. D. P., Hoyos, J. L., & Mosquera, S. A. (2010). *Pleurotus ostreatus* spread in different culture media. 8(2), 10.
- Royse, D. J., Baars, J., & Tan, Q. (2017). Current overview of mushroom production in the world. En C. Z. Diego & A. Pardo-Giménez (Eds.), *Edible and Medicinal Mushrooms* (pp. 5-13). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781119149446.ch2>
- Royse, D., Rhodes, T. W., Ohga, S., & Sanchez, J. E. (2004). Yield, mushroom size and time to production of *Pleurotus cornucopiae* (oyster mushroom) grown on switch grass substrate spawned and supplemented at various rates. *Bioresource Technology*, 91(1), 85-91. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(03\)00151-2](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(03)00151-2)
- Rstudio Team. (2020). *RStudio: Integrated Development for R*. RStudio, PBC, Boston, MA. <http://www.rstudio.com/>
- Sahagún, F. L. V. (2020). Aprovechamiento sostenible de hongos comestibles; hacia una seguridad alimentaria. 11.
- Svanberg, I., & Lindh, H. (2019). Mushroom hunting and consumption in twenty-first century post-industrial Sweden. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 15(1), 42. <https://doi.org/10.1186/s13002-019-0318-z>
- Vega, A., & Franco, H. (2013). Productividad y calidad de los cuerpos fructíferos de los hongos comestibles *Pleurotus pulmonarius* RN2 y *P. djamor* RN81 y RN82 cultivados sobre sustratos lignocelulósicos. *Información Tecnológica*, 24(1), 69-78. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642013000100009>
- Vetayasuporn, S. (2006). Oyster mushroom cultivation on different cellulosic substrates. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 2(6), 4.

Diversidad funcional de quirópteros en la Estación Experimental El Padmi, cantón Yanzatza, Zamora Chinchipe, Ecuador

Functional diversity of chiroptera in the Experimental Station El Padmi, canton Yanzatza, Zamora Chinchipe, Ecuador

Manuel Fernando Medina-Piedra^{1,*}, Katusca Valarezo-Aguilar² y Christian Alberto Mendoza-León²

¹ Universidad Nacional de Loja, Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, Posgrado en Biodiversidad y Cambio Climático, Loja, Ecuador; fmedina2205@gmail.com

² Universidad Nacional de Loja, Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, Carrera de Ingeniería Ambiental, Loja, Ecuador; katusca.valarezo@unl.edu.ec, christian.a.mendoza@unl.edu.ec

* Autor para correspondencia: fmedina2205@gmail.com

Fecha de recepción del manuscrito: 23/09/2023 Fecha de aceptación del manuscrito: 16/06/2024 Fecha de publicación: 30/06/2024

Resumen—En América Latina y El Caribe, las actividades agropecuarias y en general las actividades antrópicas están alterando los hábitats lo que conduce a una reducción de la biodiversidad que afecta de manera directa a la diversidad e interacciones ecológicas de los murciélagos. Para entender mejor estas interacciones y cómo las diferencias en morfología y comportamiento afectan su función ecológica, la adopción del enfoque de la diversidad funcional es crucial. Este estudio tiene como objetivo analizar la diversidad taxonómica y funcional de murciélagos en la Estación Experimental El Padmi, en la Amazonia ecuatoriana. Se dividió la zona en tres áreas de vegetación: jardín botánico, pastizal y bosque. En cada área, se estableció un transecto de 300 metros con 8 redes de neblina para capturar murciélagos, registrando individuos y midiendo características morfológicas. Mediante programas como R, Past, FDiversity e Info Stat, se evaluó la diversidad, abundancia e índices de diversidad funcional de las comunidades de murciélagos en las tres coberturas vegetales. Se capturaron en total 178 individuos pertenecientes a 9 géneros y 14 especies de la familia Phyllostomidae. Los géneros más diversos resultaron ser *Carollia* y *Artibeus*. En términos de diversidad funcional, el bosque mostró valores medios de uniformidad, divergencia y dispersión funcional. Esto sugiere que el área tiene capacidad para sostener una variada gama de especies de murciélagos, lo que a su vez indica la existencia de recursos a ser explotados. Sin embargo, esta área también presenta cierto nivel de vulnerabilidad a la introducción de especies invasoras como gatos, cotorras y especies vegetales introducidas en estos nichos. En términos generales, las tres áreas vegetales presentaron valores de diversidad funcional similares, indicando que hay recursos subutilizados y una eficiencia relativamente baja en la productividad del ecosistema. Esto pone de manifiesto la importancia de comprender y gestionar adecuadamente las interacciones entre las especies y su entorno para preservar la biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas.

Palabras clave—Murciélagos, Índices de diversidad, Riqueza funcional, Uniformidad funcional, Divergencia funcional y Dispersión funcional.

Abstract—In Latin America and the Caribbean, agricultural activities and anthropogenic activities are generally altering habitats, leading to a reduction in biodiversity. This directly affects the diversity and ecological interactions of bats. To understand these interactions and how differences in morphology and behavior affect their ecological function, the adoption of the functional diversity approach is crucial. The study aims to analyze the functional diversity of bats in the El Padmi Experimental Station in the Ecuadorian Amazon. The area was divided into three vegetation areas: botanical garden, grassland and forest. In each area, a 300-meter transect was established with 8 mist nets, recording bat individuals and measuring morphological characteristics. Using programs such as R, FDiversity and Info Stat, the functional diversity of the bat communities in the three vegetation covers was evaluated. A total of 178 individuals belonging to 9 genera and 14 species of the Phyllostomidae family were captured. The most diverse genera were *Carollia* and *Artibeus*. In terms of functional diversity, the forest showed mean values of evenness, divergence and functional dispersion. This suggests that the area has the capacity to support a varied range of bat species, indicating the existence of resources to be exploited. It also presents some level of vulnerability to the introduction of invasive species into these niches. The three vegetation areas presented similar functional diversity values, indicating that there are underutilized resources and relatively low efficiency.

Keywords—Bats, Diversity indices, Functional richness, Functional equitability, Functional divergence and Functional dispersion.

INTRODUCCIÓN

En un mundo afectado por un cambio global sin precedentes, impulsado por factores sinérgicos como el au-

mento poblacional, la contaminación, el uso de energías no renovables y el cambio de uso de suelo, se ha creado una red compleja de efectos que aumenta los impactos del cambio

climático y amenaza la integridad de los ecosistemas (Ipinza et al., 2021; Pisanty, 2006). Conocemos que la biodiversidad juega un papel fundamental en el desarrollo de las sociedades y su conservación debería ser una preocupación prioritaria para la humanidad (Ipinza et al., 2021). No obstante, en la actualidad, a nivel mundial gran parte de la biodiversidad se encuentra en un estado crítico, se estima que hasta un millón de especies de plantas y animales están en peligro de extinción, principalmente debido a las actividades humanas (Pérez, 2020). Dentro de los animales amenazados, se encuentra taxones que son piezas claves para la salud, equilibrio y funcionamiento de los ecosistemas, como es el caso del orden de los quirópteros (Burneo y Tirira, 2014), estos mamíferos alados son esenciales para el mantenimiento de la biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas debido a que estos desempeñan múltiples papeles ecológicos, que abarcan desde la polinización y dispersión de plantas, hasta el control de poblaciones de insectos (Kunz et al., 2011). Sin embargo, la presión ejercida por la transformación del paisaje y otros factores antropogénicos ejerce un impacto palpable en la funcionalidad, composición y estructura de las comunidades de este orden (García-Morales et al., 2016; Ramírez, 2017). La alteración del hábitat conlleva una disminución en la disponibilidad de alimento, refugio y sitios de cría para los murciélagos (Durán y Pérez, 2015); además, esta transformación de los ecosistemas afecta las estrategias de forrajeo y el uso de recursos disponibles para los diferentes gremios tróficos de los murciélagos (Jackson & Fahrig, 2014).

En el Neotrópico, los murciélagos representan hasta el 50 % de la fauna de mamíferos asociada a los bosques siempre verdes de tierras bajas, donde algunas localidades pueden llegar a registrar hasta 110 especies (Emmons y Voss, 1996; Engstrom y Lim, 2001). Factores como el tamaño (Willig et al., 2003), las especializaciones fisiológicas y morfológicas (Swartz et al., 2003), las estrategias de forrajeo (Dumont, 2003; Soriano, 2000) y las diferencias en el uso de refugios (Kunz y Lumsden, 2003), han sido utilizados para explicar la gran diversidad taxonómica de este grupo. Además, debido a que algunas especies presentan requerimientos de hábitat más específicos que otras, la presencia de estas especies puede ser un importante indicador ambiental, al responder de una manera predecible a una gran variedad de estrés (Mora-Fernández y Peñuela-Recio, 2013).

En la búsqueda de comprender la compleja relación entre la diversidad biológica y el funcionamiento de los ecosistemas, varios autores han aportado investigaciones significativas para entender cómo las especies interactúan con su entorno (González et al., 2015). Mientras que estudios como los desarrollados por Halffter y Moreno (2001) y Hooper et al. (2005) se han centrado en explorar la relación entre la diversidad de especies y la estructura de los ecosistemas, otros autores, como Chapin et al. (2000), Feld et al. (2009) y Dirzo et al. (2014) han analizado la relación entre la diversidad de especies y su función de los ecosistemas. Además, enfoques más tradicionales de diversidad, como la abundancia y la riqueza de especies, han sido explorados por estudios desarrollados por Tilman et al. (1997), Duffy (2002) y Morin (2011). Esta evolución en la comprensión de los roles que cumplen las especies en la funcionalidad del ecosistema ha reemplazado la noción simplificada de que todas las especies son igualmente importantes en términos de su función en el

ecosistema (Chávez, 2004).

En esta línea, en la actualidad recibe mayor interés la diversidad funcional y evolutiva como un enfoque fundamental para comprender cómo las especies interactúan con su entorno y cómo su variabilidad morfológica y comportamental puede influir en su papel ecológico (Tilman et al., 1997; Mouchet et al., 2010; Cadotte et al., 2011). Autores como Díaz y Cabido (2001), Naeem y Wright (2003) y Córdova y Zambrano (2015) han destacado la importancia de considerar la diversidad funcional como un componente clave para entender la relación entre biodiversidad y los procesos ecológicos.

El análisis de la diversidad funcional, nos brinda la capacidad de evaluar cómo distintas especies de murciélagos cumplen funciones ecológicas en gradientes de degradación de los bosques, lo que nos da la oportunidad de comparar la salud de diversos ecosistemas y entender cómo los quirópteros reaccionan ante las alteraciones ambientales (Jones et al., 2009; Santos y Tellería, 2006). Entender la diversidad funcional es crucial para la conservación de los murciélagos y de los ecosistemas en los que desempeñan un papel importante (Kunz et al., 2011). Diversas especies de murciélagos cumplen funciones ecológicas vitales, dentro de las cuales es importante destacar a los murciélagos frugívoros, como parte de los grupos tróficos, funcionan como indicadores eficaces de los recursos disponibles en su ecosistema, dado que sus requerimientos de hábitat para la búsqueda de alimentos reflejan las condiciones ambientales. Además, este grupo taxonómico puede aportar con pautas para abordar la recuperación de áreas degradadas debido a su contribución en la dispersión de semillas de plantas pioneras. (Charles-Dominique, 1986; Cely y Castillo, 2019).

La composición y funcionamiento de las comunidades ecológicas pueden entenderse a través de los rasgos funcionales de las especies, que son atributos que pueden ser de índole morfológica, fisiológica, conductual o reproductiva de los individuos los cuales tienen un impacto importante en cómo se desenvuelven en su entorno y cómo afectan a niveles más amplios de organización (Violle et al., 2007 y Mokany y Roxburgh, 2008). La diversidad funcional describe el rango, distribución y abundancia de valores característicos de un conjunto de especies en una comunidad (Tilman et al., 1997). Mediante el uso de varios índices de diversidad funcional, es viable identificar y clasificar los seres vivos en función de su entorno y las relaciones que establecen con otros organismos (Petchey y Gaston, 2006). Además, la diversidad funcional en base a los rasgos funcionales de las comunidades proporciona una comprensión eficaz de las características y reacciones de las especies en un ecosistema, en contraste con la diversidad taxonómica (Mokany et al., 2008).

En este estudio, evaluamos la diversidad funcional de los murciélagos al sur de la Amazonía ecuatoriana. Esta región, a pesar de su riqueza biológica, se enfrenta a los desafíos relacionados con de la transformación del paisaje y la pérdida de hábitats (Burneo y Tirira, 2014; Arguero et al., 2012). A través del análisis de la diversidad funcional de los murciélagos, pretendemos analizar los principales índices de diversidad funcional en distintos tipos de cobertura vegetal, buscando conocer las propiedades y respuestas de las especies murciélagos en cada una de las coberturas vegetales estudiadas.

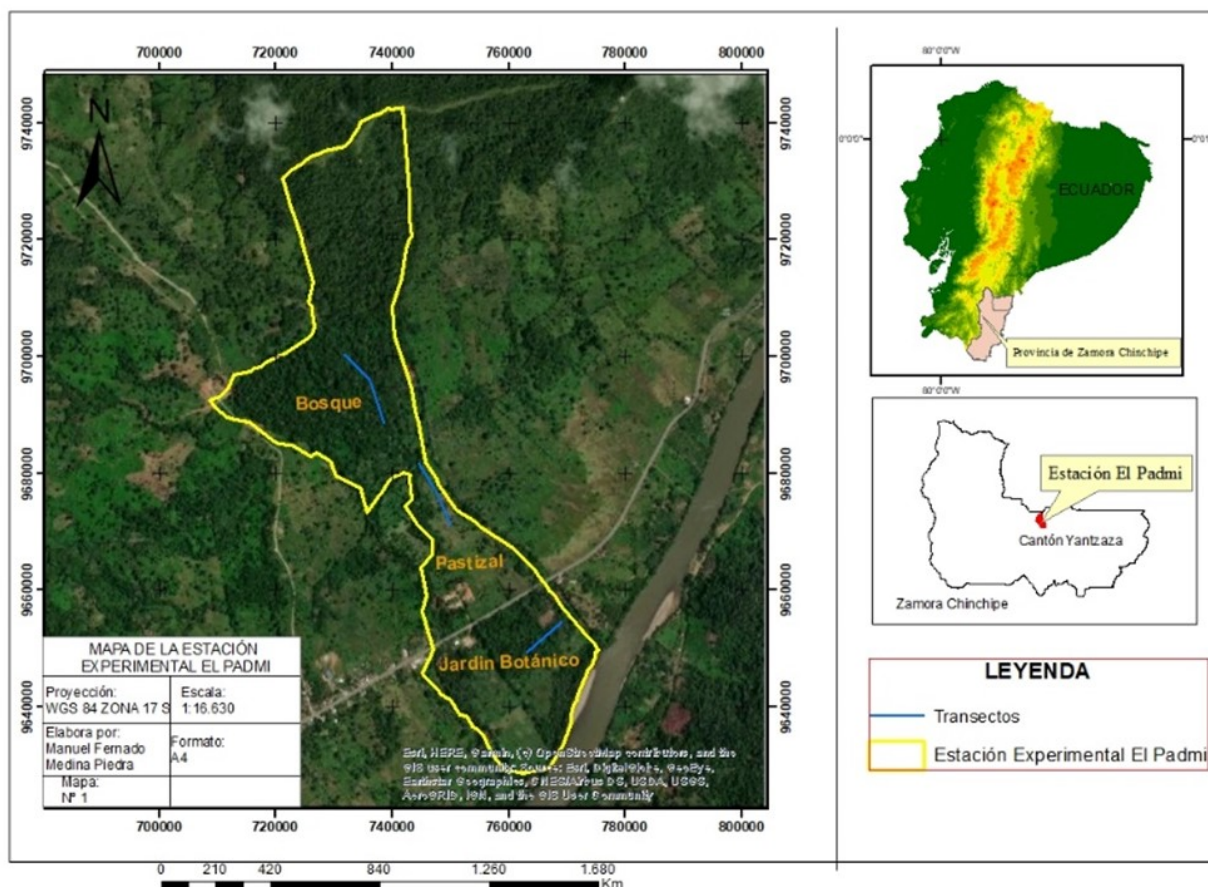


Fig. 1: Ubicación de la Estación Experimental El Padmi en amarillo y transectos de muestreo en azul.

Fuente: Satélite Landsat/Copernicus. (2023). Padmi, Ecuador. [Imagen satelital]. Google Earth.

Esta investigación tuvo como objetivo contribuir a la conservación de los murciélagos y la biodiversidad comprendiendo las diversas funciones que cumplen y su interacción con el ecosistema entendiendo los factores que podrían estar afectando al grupo de especies de mamíferos voladores que se encuentran en esta importante área dedicada a la investigación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

El estudio se desarrolló en la Estación Experimental El Padmi ubicada al sur de la Región Amazónica Ecuatoriana, en el barrio El Padmi, parroquia Los Encuentros, cantón Yantzata, provincia de Zamora Chinchipe (Figura 1). El área de estudio tiene una extensión de 103,5 ha y se encuentra ubicado en las siguientes coordenadas UTM: $-3.743844^{\circ}\text{E}$ y $-78.615926^{\circ}\text{S}$, en un rango altitudinal que va de 775 hasta 1150 m s.n.m.

La Estación Experimental El Padmi presenta un paisaje heterogéneo, abarcando pastizales utilizados como potreros, árboles de sombra, y áreas de bosque natural en las laderas altas al este de la propiedad (Aguirre y León, 2011). Registra una temperatura media anual de 23°C , su precipitación anual es de 1978 mm, siendo el mes lluvioso marzo con 226 mm y el más seco octubre con 132 mm. (Mendoza y Abad, 2002).

La Estación Experimental El Padmi presenta un paisaje heterogéneo, abarcando pastizales utilizados como potreros,

árboles de sombra, y áreas de bosque natural en las laderas altas al este de la propiedad (Aguirre y León, 2011). La temperatura promedio anual es de 23°C , con una precipitación anual de 1978 mm, caracterizado por un clima transicional entre tropical subhúmedo y tropical húmedo. Además, su fisiografía es representativa del corredor fluvial Zamora-Nangaritza, con distintas formas de terreno que van desde áreas planas aluviales hasta laderas muy escarpadas (Universidad nacional de Loja, 2002).

Metodología

Para el estudio en la Estación Experimental El Padmi se seleccionaron tres tipos de vegetación: Bosque natural de rívera (jardín botánico), pastizal y bosque natural de ladera conforme la clasificación realizada por Quizhpe Tapia y Orellana Fierro, 2011. En cada uno de estos tres tipos de vegetación se estableció un transecto al azar de 300 m, y en cada transecto se ubicaron ocho redes de neblina (cuatro de 6 m y cuatro de 12 m de largo por 2,5 m de alto) con separación de 30 m entre redes.

La captura de murciélagos se realizó desde finales de diciembre de 2022 hasta la primera semana de febrero de 2023, con nueve noches efectivas de muestreo. El muestreo se realizó durante tres noches en cada una de las coberturas vegetales, en horarios de 18H00 a 04H00, durante cada periodo de muestreo se revisaron las redes cada 40 minutos.

Para cada espécimen capturado, se registró la fecha, la ubicación, el número de la red, las condiciones ambientales, el

orden taxonómico, la familia, el nombre científico, el sexo y la presencia de parásitos externos. Además, se tomaron diversas medidas morfométricas, tales como el largo total (LT), el largo cabeza-cuerpo (LCC), el largo de la pata (LP), el largo de la tibia (LTib.), el largo antebrazo (AB), el largo del pulgar (LPul), el largo de la cola (LC), el largo de la oreja (LO), el largo del trago (Ltra), la longitud de la hoja nasal (LH), la longitud mayor del cráneo (LMC), la longitud del calcar (LCal.) y el peso (P). Estas mediciones se efectuaron en la parte dorsal y lateral derecha de cada ejemplar, utilizando un calibrador digital con una precisión de 0,1mm y una balanza manual en gramos para el peso. Todos los especímenes fueron marcados con un corte de pelo en la parte dorsal para evitar su recaptura.

Todos los ejemplares fueron reconocidos hasta el nivel taxonómico de especie, mediante la comparación de cada una de las medidas registradas de las especies capturadas con las medidas morfométricas de las especies descritas en Tirira (2017) y López (2016). por lo que no fue necesario coleccionarlos ni llevarlos al laboratorio para observar fórmulas dentales o características craneales. Todos los individuos fueron catalogados dentro del gremio alimenticio correspondiente, según Kalko et al. (1996). Además, para la asignación de gremios tróficos se revisó Guerra (2014), Narváez (2010), Novoa et al. (2011) y Tirira (2017).

Los rasgos funcionales se establecieron en base a la clasificación propuesta por Kalko et al. (1996), en el cual se caracteriza el uso de recursos con base a los gremios alimenticios de los quirópteros. Los rasgos funcionales considerados en esta investigación y su descripción se muestran en la Tabla 1.

Metodología

Para el estudio en la Estación Experimental El Padmi se seleccionaron tres tipos de vegetación: Bosque natural de rívera (jardín botánico), pastizal y bosque natural de ladera conforme la clasificación realizada por Quizhpe Tapia y Orellana Fierro, 2011. En cada uno de estos tres tipos de vegetación se estableció un transecto al azar de 300 m, y en cada transecto se ubicaron ocho redes de neblina (cuatro de 6 m y cuatro de 12 m de largo por 2,5 m de alto) con separación de 30 m entre redes.

La captura de murciélagos se realizó desde finales de diciembre de 2022 hasta la primera semana de febrero de 2023, con nueve noches efectivas de muestreo. El muestreo se realizó durante tres noches en cada una de las coberturas vegetales, en horarios de 18H00 a 04H00, durante cada periodo de muestreo se revisaron las redes cada 40 minutos.

Para cada espécimen capturado, se registró la fecha, la ubicación, el número de la red, las condiciones ambientales, el orden taxonómico, la familia, el nombre científico, el sexo y la presencia de parásitos externos. Además, se tomaron diversas medidas morfométricas, tales como el largo total (LT), el largo cabeza-cuerpo (LCC), el largo de la pata (LP), el largo de la tibia (LTib.), el largo antebrazo (AB), el largo del pulgar (LPul), el largo de la cola (LC), el largo de la oreja (LO), el largo del trago (Ltra), la longitud de la hoja nasal (LH), la longitud mayor del cráneo (LMC), la longitud del calcar (LCal.) y el peso (P). Estas mediciones se efectuaron en la parte dorsal y lateral derecha de cada ejemplar, utilizando un calibrador digital con una precisión de 0,1mm y una balan-

za manual en gramos para el peso. Todos los especímenes fueron marcados con un corte de pelo en la parte dorsal para evitar su recaptura.

Todos los ejemplares fueron reconocidos hasta el nivel taxonómico de especie, mediante la comparación de cada una de las medidas registradas de las especies capturadas con las medidas morfométricas de las especies descritas en Tirira (2017) y López (2016). por lo que no fue necesario coleccionarlos ni llevarlos al laboratorio para observar fórmulas dentales o características craneales. Todos los individuos fueron catalogados dentro del gremio alimenticio correspondiente, según Kalko et al. (1996). Además, para la asignación de gremios tróficos se revisó Guerra (2014), Narváez (2010), Novoa et al. (2011) y Tirira (2017).

Los rasgos funcionales se establecieron en base a la clasificación propuesta por Kalko et al. (1996), en el cual se caracteriza el uso de recursos con base a los gremios alimenticios de los quirópteros. Los rasgos funcionales considerados en esta investigación y su descripción se muestran en la **Tabla 1**.

La diversidad funcional de la comunidad de murciélagos presentes en las tres coberturas vegetales de estudio, se calculó con base a siete rasgos funcionales cuantitativos (rasgos morfológicos) y tres cualitativos (relacionados a la historia de vida). Para cada cobertura vegetal se calculó la riqueza funcional (FRic), uniformidad funcional (FEve), índice de divergencia funcional (FDiv) y dispersión funcional (FDis). Los rasgos funcionales fueron considerados en base a lo descrito en la **Tabla 1** y sus cálculos se basó en los índices y fórmulas descritas en la **Tabla 2**, o patrones importantes.

Se generaron dos matrices para obtener los valores de los índices de diversidad funcional. La primera matriz constó de las especies de murciélagos registradas y sus rasgos morfológicos promediados. La segunda matriz contiene las especies, el tipo de vegetación y abundancias. Se considero cada noche de muestreo como las réplicas del estudio y todos individuos registrados por especie. Estas dos matrices, fueron cargadas y fusionadas horizontalmente en el programa FDiversity (Casanoves et al., 2010), una vez fusionadas se procedió a estandarizar esta matriz fusionada utilizando la distancia de Gower para rasgos categóricos y cuantitativos, lo que nos permitió obtener los índices de diversidad funcional. Para realizar la comparación la diversidad funcional entre las tres coberturas de la Estación Experimental El Padmi; partiendo de los resultados obtenidos de los cuatro índices de diversidad funcional se procedió a aplicar primero la prueba de Levene para homocedasticidad, para luego recurrir a la prueba alternativa no paramétrica de Kruskal-Wallis a través del programa InfoStat versión estudiantil (Di Rienzo et al., 2020). Además, los índices de diversidad funcional fueron representados gráficamente mediante la utilización del programa en Past 4.11 (Dasgupta, 2013).

RESULTADOS

Se obtuvo un esfuerzo de muestreo de 5400 m² red/hora en cada cobertura vegetal seleccionada en la Estación Experimental El Padmi (Jardín Botánico, Pastizal y Bosque).

Se registraron 178 murciélagos distribuidos en nueve géneros y 14 especies pertenecientes a la familia Phyllostomidae, dentro del orden Chiroptera. El género más diverso fue Carollia que presenta el 36,52% de la riqueza, seguida de

Tabla 1: Rasgos funcionales morfométricos y de historia de vida para la comunidad de murciélagos del bosque húmedo tropical de la Estación Experimental el Padmi

Rasgos Funcionales	Fundamento de variable como rasgo funcional	Atributo	Definición del atributo
Cuantitativos			
Peso (g)	Relacionado con la búsqueda de alimento, tasa metabólica, cantidad y calidad del recurso alimenticio. Se ha determinado que los murciélagos frugívoros con peso >40 g pueden dispersar semillas más pesadas, es común encontrarlos en ambientes transformados (Saldaña-Vázquez, 2014, Saldaña-Vázquez y Schondub, 2016). Por otra parte, en ambientes de bosques tropicales, mejores condiciones ambientales fomentan el peso en <i>Artibeus lituratus</i> y <i>Artibeus planirostris</i> mejorando las condiciones corporales de los individuos (Chacón-P y Ballesteros, 2019).	Peso en gramos.	Peso del espécimen
Longitud antebrazo (mm)	Esta medida está ligada al tamaño corporal, se ha demostrado una relación positiva entre la longitud del antebrazo y el tamaño de las presas. Estudios en matrices en bosques tropicales concluyeron una relación entre el aumento de talla en murciélagos con disponibilidad de recursos alimenticios (Houston y Jones, 2004).	Valor en milímetros.	Medición tomada desde la base del codo hasta donde se unen los carpos.
Longitud total (mm)	Relacionado con la demanda de recursos tróficos, metabolismo, comportamiento de forrajeo (estrato, sitio) (Gómez-Ortiz y Moreno, 2017).	Valor en milímetros.	Medida desde el inicio de la cola hasta el inicio de la cabeza.
Longitud oreja (mm)	Asociada a la dieta, estrategia de forrajeo, puede ayudar en el vuelo en el control y levantamiento, localización de las presas, dirección y distancia de las señales (Arita y Fenton, 1997; Balcombe y Fenton, 2010; Gardner et al., 2011 b).	Valor en milímetros.	Medida desde la base de la oreja hasta la parte distal.
Longitud trago (mm)	Accesorio de la oreja asociado con la ecolocalización en la dirección, localización y elevación de la señal, y en la orientación en el ambiente (Lawrence y Simmons, 1982; Müller, 2004).	Valor en milímetros.	Medición desde la base del trago hasta el ápice.
Longitud tibia (mm)	Medida que, al igual que longitud de antebrazo está relacionada con el tamaño de los murciélagos, que ayuda a dar maniobrabilidad al ropatagio (Swartz y Middleton, 2008).	Valor en milímetros.	Medida de articulación con el fémur, hasta la articulación con la pata.
Hoja nasal: forma, borde, pelos (FHN, BHN, PHN)	Asociadas con la trasmisión en las señales de la ecolocalización, dieta, detección de presas, orientación asociada con los hábitos alimenticios y uso del hábitat, estrategia de forrajeo (Arita, 1990; Arita y Fenton, 1997).	Forma, borde y pelos en milímetros.	Originada entre las narinas y extendida hacia la parte distal de la lanza.
Cualitativos (Rasgos de historia de vida)			
Gremio trófico (1, 2, 3, 4 y 5)	Este aspecto del ensamblaje de murciélagos proporciona información acerca de la partición de recursos y uso de hábitat, la determinación de los gremios proporciona sobre el papel funcional de los murciélagos. Los gremios tróficos están relacionados, en cierto grado, con la dinámica de los ecosistemas (Lobova et al., 2003, Kalko et al., 1996).	1: Frugívoro, 2: Insectívoro, 3: Hematófago, 4: Nectarívoro, 5: Piscívoro.	Basado en información primaria y secundaria en publicaciones indexadas.
Estrategias de forrajeo (EF1, EF2, EF3, EF4, EF5, EF6)	El modo o estrategia para atrapar el alimento, permite a los murciélagos explotar la heterogeneidad del hábitat y generar una mayor partición de recursos en los ecosistemas. Se ha sugerido a mayor diversidad estructural de la vegetación, más recursos y hábitats pueden ser utilizados por los murciélagos, lo que pueden estar vinculados a un mayor número de procesos ecológicos (Mora-Fernández et al., 2013).	EF1: IAR, EF2: NR, EF3: IR, EF4: FS, EF5: FN, EF6: PAR.	Basado en información secundaria (Schnitzler y Kalko, 2001, Suárez-Castro y Montenegro, 2015).
Hábitos de Forrajeo (HF1, HF2, HF3, HF4, HF5, HF6, HF7, HF8, HF9, HF10)	Este comportamiento está relacionado con las condiciones de ecolocalización y estrategia de forrajeo, los murciélagos pueden utilizar, dependiendo del hábitat donde se encuentren, diferentes hábitos de forrajeo para conseguir los recursos alimenticios, lo cual está relacionado con la morfología alar y oídos (Denzinger y Schniltzler, 2013, Luck et al., 2013).	FARAEAF, FAEBD, FBAE-SA, FAEA, FPPEVS, FPPEVF, FPPEVD, FAEA, FA-CAESD	Basado en información secundaria (Denzinger y Schniltzler, 2013, Luck et al., 2013).

Nota: Estrategias de forrajeo: IAR= insectívoros aéreos rápidos, NR= nectarívoros recolectores, IR= insectívoros recolectores, FS= frugívoros sedentarios, FN= frugívoros nómadas, PAR= piscívoros aéreos recolectores. Hábitos de forrajeo: FARABA= Forrajadores aéreos de rebúsqueda activa de espacios estrechos de follaje, FABEB= forrajadores aéreos de espacio de borde de dosel, FBAESA= Forrajadores de borde de arrastre espacial sobre la superficie del agua, FAEA= forrajadores aéreos de espacios abiertos, FPPEVS= forrajadores pasivos de espacios estrechos entre la vegetación del sotobosque, FPPEEF= Forrajadores pasivos de espacios estrechos de follaje, FAEA= Forrajadores activos de espacios abiertos, FACAESD= forrajadores aéreos de espacios abiertos entre y sobre el dosel.

Fuente: (Acosta Cala, 2019; Peña Peinado, 2021).

Tabla 2: Índices de diversidad funcional (IDF) usados en la presente investigación.

IDF	Ecuación	Variables	Definición
Riqueza funcional	$FRic = 2^T$	T = número total de rasgos funcionales	Determina el espacio funcional que ocupa la comunidad ((?)).
Uniformidad funcional	$FEve = \frac{\sum_{j=1}^{S-1} \min\left(\frac{1}{b_j}\right) - \frac{1}{S-1}}{1 - \frac{1}{S-1}}$	S = riqueza de especies b = largo de la distancia entre rasgos funcionales	Establece la uniformidad en la distribución de las abundancias en el espacio funcional ((?)).
Divergencia funcional	$FDiv = \frac{\Delta + \overline{\Delta G}}{\Delta \Delta + \Delta G}$	dG = distancia euclidiana de cada especie Δd = cálculo de las desviaciones estándar de las abundancias	Analiza la distribución de las abundancias a partir del centro de gravedad del espacio funcional ((?)).
Dispersión funcional	$FDis = \sum_{i=1}^S W_i Z_i$	S = riqueza W_i = abundancias relativas de las especies Z_i = distancia de las especies al centroide	Determina la distancia media de cada individuo al centroide, describiendo la heterogeneidad funcional de la comunidad ((?), (?)).

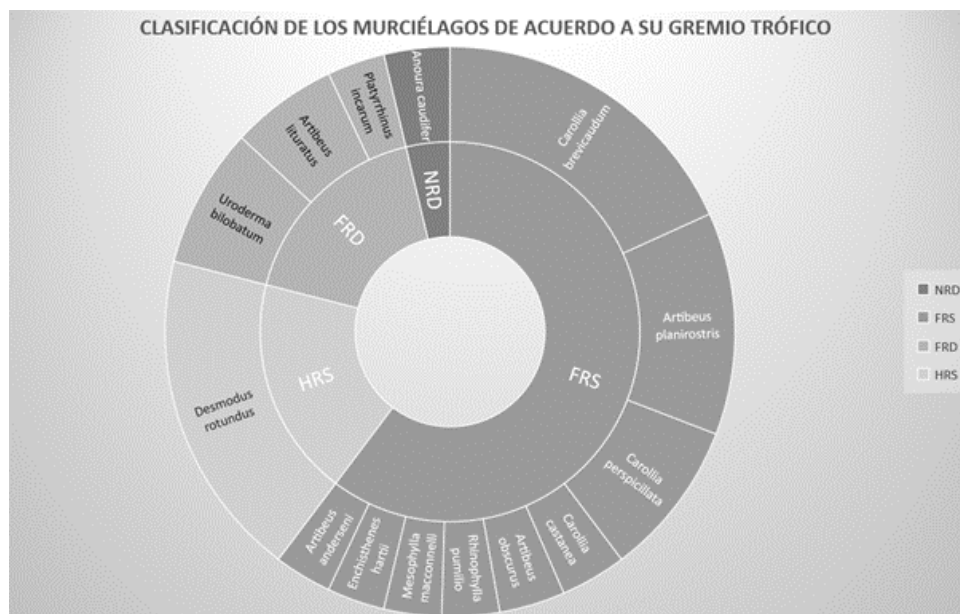


Fig. 2: Clasificación de los murciélagos registrados en la Estación Experimental El Padmi, de acuerdo a sus gremios tróficos. Nota: Gremios tróficos registrados nectarívoros recogedores de dosel (NRD), frugívoros recogedores de sotobosque (FRS), frugívoros recogedores de dosel (FRD) y hematófagos recogedores de sotobosque (HRS).

Artibeus con el 25 % de riqueza, Desmodus con el 22,47 %, Uroderma con el 9,55 % mientras que Anoura y Rhinophylla con el 0,56 % cada uno, fueron los géneros menos diversos **Tabla(3)**.

Se identificaron cuatro gremios tróficos **Figura(2)**, nectarívoros recogedores de dosel (NRD), frugívoros recogedores de sotobosque (FRS), frugívoros recogedores de dosel (FRD) y hematófagos recogedores de sotobosque (HRS). El gremio trófico dominante fue FRS con el 64,29 % (n=9) de las especies registradas, seguido de los FRD con 21,43 % (n=3) y los más raros fueron los NRD y HRS con el 7,14 % (n=1), cada uno.

En la Figura 3 se observamos que la riqueza funcional (FRic) de las tres coberturas vegetales presentan valores cercanos a cero, lo que indica que cada uno de estos ecosistemas

posee recursos sin explotar y por ende tienen una baja productividad. El valor más extremo se registró en el jardín botánico, mientras que el pastizal y bosque presentaron valores cercanos entre ellos, siendo el pastizal ligeramente mayor. En cuanto a los valores de uniformidad funcional (Feve) (Figura 3), las tres coberturas presentaron valores medios acercándose a la una uniformidad completa. El bosque presentó el valor más alto, mientras que en el pastizal y jardín botánico los valores de uniformidad funcional fueron medios.

En referencia a la divergencia funcional (FDiv) (Figura 3), se puede observar que las tres coberturas vegetales registraron valores moderadamente altos, lo que indicaría que existe una alta divergencia de especies dominantes y una diferenciación entre sus nichos funcionales, siendo el jardín botánico el ecosistema que presentaría el valor más alto, mientras que el

Tabla 3: Especies de murciélagos presentes en la Estación Experimental El Padmi

Orden	Familia	Nombre científico	Nombre común	Jardín Botánico	Pastizal	Bosque Alto	Total
Chiroptera	Phyllostomidae	<i>Anoura caudifer</i>	Murciélago rabón ecuatoriano	1	0	0	1
		<i>Artibeus anderseni</i>	Murciélago frutero chico de Andersen	0	0	2	2
		<i>Artibeus lituratus</i>	Murciélago frutero grande	5	6	2	13
		<i>Artibeus obscurus</i>	Murciélago frutero oscuro	1	0	2	3
		<i>Artibeus planirostris</i>	Murciélago frutero de rostro plano	10	10	7	27
		<i>Carollia brevicaudum</i>	Murciélago sedoso de cola corta	16	12	11	39
		<i>Carollia castanea</i>	Murciélago castaño de cola corta	4	2	1	7
		<i>Carollia perspicillata</i>	Murciélago común de cola corta	8	5	6	19
		<i>Desmodus rotundus</i>	Murciélago vampiro común	15	16	9	40
		<i>Enchistenes hartii</i>	Murciélago frutero aterciopelado	1	1	1	3
		<i>Mesophylla macconnelli</i>	Murciélago de Macconnell	1	0	1	2
		<i>Platyrrhinus incarum</i>	Murciélago de nariz ancha incaico	1	1	2	4
		<i>Uroderma bilobatum</i>	Murciélago toldero común	8	4	5	17
		<i>Rhinophylla pumilio</i>	Murciélago frutero pequeño enano	1	0	0	1
Total				72	57	49	178

bosque presentaría el valor más bajo. La dispersión funcional (FDIs) **Figura(3)**, reflejó valores intermedios en las tres coberturas vegetales y al igual que en la divergencia funcional, el jardín botánico presentó los valores más altos que el resto de coberturas, no así el bosque, donde se reportó el menor valor, lo que indicarían que tiene una mediana capacidad de respuesta a las perturbaciones ambientales.

Tabla 4: Valores de prueba no paramétrica de *Kruskal-Wallis* para cada índice de diversidad funcional entre las tres coberturas vegetales de la Estación Experimental El Padmi.

Variable	Tratamiento	N	Medias	p
FRic	Bosque	3	0,46	0,2464
	Jardín Botánico	3	3,9E-03	
	Pastizal	3	0,56	
FEve	Bosque	3	0,75	0,2173
	Jardín Botánico	3	0,69	
	Pastizal	3	0,69	
FDiv	Bosque	3	0,75	0,0964
	Jardín Botánico	3	0,86	
	Pastizal	3	0,83	
FDIs	Bosque	3	3,17	0,3821
	Jardín Botánico	3	3,56	
	Pastizal	3	3,39	

Nota: *FRic*: Riqueza funcional; *FEve*: uniformidad funcional; *FDiv*: divergencia funcional; *FDIs*: dispersión funcional; y, *p*-valor: Valor de probabilidad.

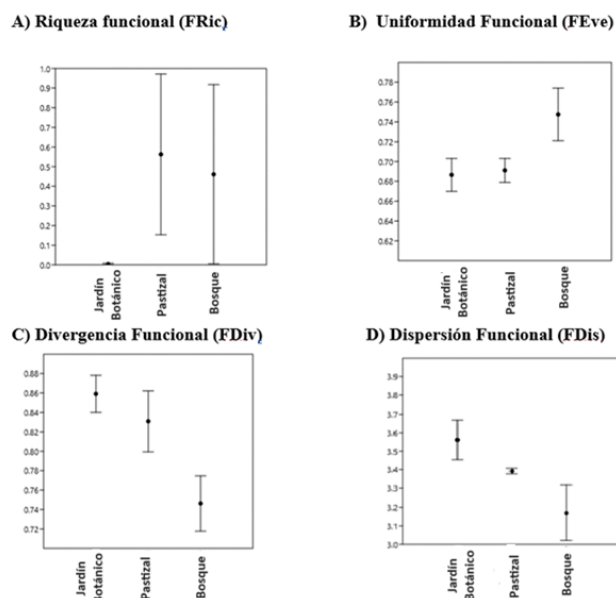


Fig. 3: Media y error estándar de la riqueza funcional (FRic), uniformidad funcional (FEve), divergencia funcional (FDiv) y dispersión funcional (FDIs) de quirópteros en la cada una de las tres coberturas vegetales en la Estación Experimental El Padmi.

La prueba no paramétrica de *Kruskal-Wallis* reveló que no existen diferencias significativas entre los diversos índices, lo que sugiere que las medias de cada uno de los índices

de diversidad funcional obtenidas para el jardín botánico, el pastizal y el bosque no difieren entre ellas **Tabla 4**.

DISCUSIÓN

Existe una baja diversidad funcional en la Estación Experimental El Padmi, por lo que entendemos que el funcionamiento del ecosistema está estrictamente ligado a un número muy reducido de especies quirópteras que cumplen sus funciones ecológicas en este ecosistema (Homar, 2017).

La comunidad de murciélagos evaluados en el Jardín Botánico presenta una mayor divergencia funcional (FDiv) lo que indica una alta diferenciación del nicho funcional y divergencia entre las especies dominantes como *Carollia brevicaudum*, *Desmodus rotundus* y *Artibeus planirostris*, lo que reduce la competencia y aumenta la eficiencia en el uso de los recursos que se encuentren disponibles con una mayor productividad del ecosistema (Prada-Salcedo *et al.*, 2021 y Villéger *et al.*, 2008). En términos biológicos, se sabe que altas divergencias funcionales reflejan altos grados de especialización de las especies dominantes, independientemente de sus abundancias (Bellwood *et al.*, 2006). En el presente estudio, los valores de divergencia funcional fueron altos, lo que se podría relacionar con la alta dominancia de *Carollia brevicaudum*, y *Artibeus planirostris*, las mismas que presentan hábitos frugívoros.

La comunidad de murciélagos evaluada en la misma cobertura vegetal presenta un valor intermedio de dispersión funcional (FDis) con respecto a los tipos de vegetación evaluados, lo que muestra una mediana diferencia funcional en el nicho y una capacidad moderada de respuesta a las perturbaciones ambientales (Elmqvist *et al.*, 2003; Laliberté y Legendre, 2010; Luck *et al.*, 2013). Esto reduce la competencia de manera moderada (Mason *et al.*, 2005), que conduce a un aprovechamiento de los recursos dentro de la comunidad estudiada, lo que se interpretaría como una mejor productividad del ecosistema y mediana resistencia a especies invasoras (Prada-Salcedo *et al.*, 2021). En cuanto a la riqueza funcional (FRic), la comunidad de murciélagos presentó valores cercanos a cero, lo que sugiere que varios de los recursos no están siendo aprovechados en su totalidad, lo que provocaría una baja eficiencia en la producción del ecosistema (Mason *et al.*, 2005). En los estudios realizados por Lozano (2014) y Mogro (2020) también presentan valores bajos de riqueza funcional, cercanos a los obtenidos en el presente estudio, lo que lo que podría deberse a la alta abundancia de individuo de las especies dominantes y la redundancia funcional de un grupo específico de éstas que pueden suplir los servicios ecosistémicos de otras adaptándose fácilmente a los cambios (García *et al.*, 2016). En la misma cobertura vegetal el grupo de murciélagos evaluados registró un valor intermedio de uniformidad funcional (FEve), lo que indica que las especies cercanas tienen un mismo espacio y sus abundancias son casi similares entre todas las especies (Villéger *et al.*, 2008). Este valor también muestra que el nicho funcional no está siendo ocupado en su totalidad, por lo que posibles especies invasoras puedan ingresar al mismo (Mason *et al.*, 2005).

En cuanto a los valores bajos y medios de los índices de riqueza, uniformidad y dispersión funcional, respectivamente, que presenta la comunidad de quirópteros registrados en el Jardín botánico podrían explicarse debido a otras variables que se describieron como la intervención media del área por la presencia de senderos, extracción de productos no maderables y maderables. Esto pudiera tener dos interpretaciones;

por un lado, pudiera implicar la baja probabilidad de perder un grupo funcional en esta cobertura (Fonseca y Ganade, 2001), pero por otro lado pudiera mostrar una baja eficiencia en la productividad del pastizal (Villéger *et al.*, 2008).

En referencia a la diversidad funcional de la comunidad de murciélagos registrados en la cobertura de pastizal, al igual que el jardín botánico, presenta una alta divergencia funcional lo que coincidiría en una especialización de especies dominantes como *Desmodus rotundus*, *Carollia brevicaudum* y *Artibeus planirostris*, los cuales estarían lejos del centro de rasgos funcionales y tendrían una alta diferenciación de nichos funcionales entre especies, lo que reduce la competencia y aumenta la eficiencia por los recursos.

Además, se puede mencionar que el pastizal presenta valores de uniformidad y dispersión funcional media, indicando que las especies ocupan espacios y poseen abundancias similares, es decir, el nicho funcional no se está ocupando en su totalidad. Esto se traduce en una mediana eficiencia en el aprovechamiento de los recursos, afectando así el funcionamiento de esta cobertura vegetal, lo que daría cabida al ingreso de posibles especies invasoras (Mason *et al.*, 2005). Por otra parte, al igual que las otras dos coberturas, el pastizal presenta valores bajos de riqueza funcional.

Estas condiciones de riqueza funcional baja, uniformidad y dispersión funcional media que presenta la comunidad de murciélagos registrada para el pastizal pudieran estar asociada a la vegetación abierta dominada por especies herbáceas y cuya producción primaria es aprovechada por el ganado vacuno (Quizhpe Tapia y Orellana Fierro, 2011), el cual es el recurso alimenticio de *Desmodus rotundus* lo que explicaría su abundancia. Teniendo en cuenta que el grupo de mamíferos investigados se desplazan largas distancias desde sus refugios hasta las áreas de alimentación, esta área, por encontrarse entre el jardín botánico y el bosque pudiera estar siendo usada como un área de tránsito, lo que explicaría la presencia de 8 especies de murciélagos de hábitos frugívoros registrados en el pastizal (Aguiar y Marinho, 2007; Novoa *et al.*, 2011).

En cuanto a la comunidad de murciélagos registrados para la cobertura vegetal de bosque presenta valores de uniformidad, divergencia y dispersión funcional medios los cuales indican que en esta área existen pares de especies cercanas que comparten el mismo espacio y presentan abundancias casi similares en las especies registradas, además de no ocupar en su totalidad el espacio funcional. Esto produciría una eficiencia media en el aprovechamiento de recursos y el funcionamiento del ecosistema, además de una baja posibilidad de ingresos de especies invasoras (Mason *et al.*, 2005). Por otro lado, se observa divergencia alta, es decir, las especies dominantes están lejos del centro de rasgos funcionales, porque cada una goza de una alta diferenciación funcional, lo que reduce la competencia y aumenta la eficiencia en el uso de los recursos disponibles, provocando una mayor productividad de esta cobertura vegetal (Villéger *et al.*, 2008). Esta mayor diferencia funcional del nicho ayudaría a tener una elevada capacidades de respuesta a posibles perturbaciones ambientales (Elmqvist *et al.*, 2003; Laliberté y Legendre, 2010; Luck *et al.*, 2013) y reduce la competencia (Mason *et al.*, 2005), lo que conduce a un aprovechamiento más eficiente de los recursos dentro de la comunidad de murciélagos registrados en esta cobertura vegetal aportando a una mayor

productividad del ecosistema y resistencia a especies invasoras (Prada-Salcedo et al., 2021).

Se puede complementar mencionado que el bosque presenta en, términos biológicos, la mayor cantidad de especies vegetales, debido a que el grado de intervención es menor, además que el área es de mayor superficie comparado con los otros dos tipos de cobertura vegetal. La diversidad florística de este tipo de bosque está determinada por la presencia de 142 especies, entre los géneros más relevantes se encuentran *Piper*, *Solanum* y *Cecropia*, (Quizhpe Tapia y Orellana Fierro, 2011), convirtiéndolo en un área con una gran producción de recursos tróficos que pueden ser aprovechados por los murciélagos.

En términos generales la riqueza funcional (Fric) presenta un valor cercano a cero en la cobertura vegetal de bosque de ribera (jardín botánico), lo que indicaría que existen recursos sin explotar en esta área, posiblemente por una baja productividad en estos ecosistemas, en referencia a las coberturas de pastizal y bosque de ladera, donde se observa valores intermedios sugiere que el espacio funcional ocupado por la comunidad está aprovechando parcialmente los recursos disponibles. La equitatividad funcional (Feve) indica una uniformidad media en todos los gremios del área de estudio presentando una homogeneidad, lo cual describe que existe una distribución de abundancia en las tres coberturas similares, es decir, las especies están igualmente representadas, datos cercanos presenta Díaz Beltrán, (2021), en su estudio denominado patrones de diversidad funcional de murciélagos en zonobiotomas secos del norte de Colombia, en los siete polígonos o localidades investigadas.

De manera general, se puede decir que existe una baja diversidad funcional para la Estación Experimental El Padmi y que el funcionamiento del ecosistema está estrictamente ligado a un número muy reducido de especies quirópteros (Homar, 2017), resultados similares presenta Díaz Beltrán, (2021), en su estudio, también podríamos mencionar que valores muy similares en los índices de diversidad funcional se observan en el estudio desarrollado por Mogro (2021). Pero se observa que estos valores difieren con los resultados que presenta Escobar, y Maglianesi, (2021) en el que se observa una alta riqueza funcional lo cual se traduciría en una mayor cantidad de recursos explotados, por lo que es importante mantener la cobertura vegetal existente en esta área dedicada a la investigación e iniciar con estrategias de restauración activa o pasiva, a fin de garantizar un equilibrio funcional y una reincorporación de especies que aporten en mejorar la funcionalidad de este ecosistema. Este trabajo contribuye a la comprensión de las funciones ecológicas que tienen los murciélagos dentro de los ecosistemas presentes en la Amazonía sur del Ecuador.

CONCLUSIONES

Dentro de las tres coberturas vegetales caracterizadas en la Estación Experimental El Padmi el gremio perteneciente a los frugívoros recolectores de sotobosque fue dominante lo que se podría deducir que desarrollan las funciones ecológicas en este ecosistema, además se observa que bosque presenta valores de uniformidad, divergencia y dispersión funcional medios, es decir, el área tiene capacidad para albergar una gran diversidad de especies de murciélagos, el cual brin-

da alta cantidad de recursos que deben ser aprovechados, a su vez presenta un grado de vulnerabilidad al ingreso de especies invasoras a estos nichos

La divergencia funcional es moderadamente alta en el jardín botánico lo que sugiere que las especies dominantes como *Desmodus rotundus*, *Carollia brevicaudum* y *Artibeus planirostris* presentan una alta divergencia, es decir, están lejos del centro de rasgos funcionales, lo que permite la reducción de la competencia y aumenta la eficiencia por los recursos.

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a la SENESCYT por el valioso respaldo proporcionado para llevar a cabo mi programa de maestría en Biodiversidad y Cambio Climático y permitir generar dentro de este programa la presente investigación. También quiero extender mi gratitud a la Ecóloga Katusca Valarezo Aguilar M.Sc. y al Ing. Christian Mendoza León M.Sc. por su inestimable acompañamiento y asesoría a lo largo de la realización de este trabajo. Su amistad y orientación han sido un sólido apoyo tanto en el ámbito profesional como en el personal. Asimismo, reconozco y agradezco profundamente el apoyo del Ing. Diego Loayza, David Villamagua, Blgo. Camilo Gonzalez, Ing. Vinicio Escudero, Blgo. Wilzon Zuñiga y a cada uno de mis compañeros de aula cuya ayuda durante la fase de campo de este proyecto y en la posterior etapa de análisis estadísticos ha sido esencial para su éxito. Sin lugar a dudas, deseo destacar el apoyo incondicional de Magaly Ximena Chumbi por su respaldo constante y amor brindado.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Manuel Fernando Medina Piedra y Katusca Valarezo Aguilar desarrollaron la metodología; Manuel Fernando Medina Piedra, David Villamagua, Diego Loayza, Vinicio Escudero, Camilo González contribuyeron en la fase de campo; Manuel Fernando Medina Piedra Katusca Valarezo Aguilar y Christian Mendoza León realizaron el análisis de la información, curación de datos, producción de tablas y figuras, además de la redacción del manuscrito y revisión crítica del artículo.

FINANCIAMIENTO

El presente estudio fue financiado por procedencia propia.

REFERENCIAS

- Acosta Cala, N. (2019). Grupos funcionales de los murciélagos presentes en la ciudad de Bogotá, DC.
- Aguirre Mendoza, Z., y León Abad, N. (2011). Supervivencia y crecimiento inicial de especies vegetales en el Jardín Botánico de la quinta El Padmi, Zamora, Chinchipe. *Arnaldoa*, 115–122.
- Aguiar, L., y Marinho-Filho, J. (2007). Frugivoría de murciélagos en un remanente de bosque atlántico del sudeste brasileño. *Acta Chiropterologica*, 9(1), 251-260.
- Arita, H.T. (1990). Noseleaf Morphology and Ecological

- Correlates in Phyllostomid Bats. *Journal of Mammalogy*, 71(1), 36-47.
- Arita, H.T., y Fenton, M.B. (1997). Flight and echolocation in the ecology and evolution of bats. *Trends in Ecology and Evolution*, 12(2), 53–58.
- Arguero, A., Jiménez-Roble, O., Sánchez, F., Baile, A., Cadena, G., y Barboza, K. (2012). Observaciones sobre dispersión de semillas por murciélagos en la alta Amazonía del sur de Ecuador. *Publicación especial sobre los mamíferos del Ecuador*, 21, 37-43.
- Balcombe, J.P., y Fenton, M.B. (2010). Eavesdropping by Bats: The Influence of Echolocation Call Design and Foraging Strategy. *Ethology*, 79(2), 158–166.
- Bellwood, D.R., Wainwright, P.C., Fulton, C.J., y Hoey, A.S. (2006). La versatilidad funcional respalda la biodiversidad de los arrecifes de coral. *Actas de la Royal Society B: Ciencias Biológicas*, 273(1582), 101-107.
- Burneo, S.F., y Tirira, D.G. (2014). Murciélagos del Ecuador: un análisis de sus patrones de riqueza, distribución y aspectos de conservación. *Therya*, 5(1), 197-228.
- Burneo, S.F., Proaño, M.D., y Tirira, D.G. (Eds.). (2015). *Plan de acción para la conservación de los murciélagos del Ecuador*. Programa para la Conservación de los Murciélagos del Ecuador y Ministerio del Ambiente del Ecuador, Quito.
- Casanoves, F., Di Rienzo, J.A., y Pla, L. (2010). FDiversity User manual. En *Analysis* (Número December 2015).
- Cadotte, M.W., Carscadden, K., y Mirotchnick, N. (2011). Beyond species: functional diversity and the maintenance of ecological processes and services. *Journal of Applied Ecology*, 48(5), 1079-1087.
- Cely Gómez, M.A., y Castillo Figueroa, D. (2019). Diet of dominant frugivorous bat species in an oil palm landscape from Colombian Llanos: implications for forest conservation and recovery. *Therya*, 10(2), 149-153. <https://doi.org/10.12933/therya-19-682>
- Chacón-Pacheco, J.J., y Ballesteros-Correa, J. (2019). Mejor condición corporal de *Artibeus lituratus* en fragmentos de bosque seco asociados a sistemas silvopastoriles que en sistemas convencionales de ganadería en Córdoba, Colombia. *Oecologia Australis*, 23(3), 589-605.
- Chacón-Pacheco, J.J., y Ballesteros-Correa, J. (2019). Mejor condición corporal de *Artibeus lituratus* en fragmentos de bosque seco asociados a sistemas silvopastoriles que en sistemas convencionales de ganadería en Córdoba, Colombia. *Oecologia Australis*, 23(3), 589-605.
- Cooper, J.O., Heron, T.E., y Heward, W.L. (2017). Extinción. *Análisis Aplicado de La Conducta*, 534–548. <https://doi.org/10.26741/abaspain/2017/cooper21>
- Córdova-Tapia, F., y Zambrano, L. (2015). La diversidad funcional en la ecología de comunidades. *Ecosistemas*, 24(3), 78-87.
- De Lisio, A. (2020). *El papel de la biodiversidad en la transformación social-ecológica de América Latina*. México: Friedrich-Ebert-Stiftung.
- Denzinger, A., y Schnitzler, H.U. (2013). Bat guilds, a concept to classify the highly diverse foraging and echolocation behaviors of microchiropteran bats. *Frontiers in Physiology*, 4, 164.
- Díaz Beltrán, C.A. (2021). Patrones de diversidad funcional de murciélagos en zonobiotomas secos del norte de Colombia (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia).
- Dietz, C., Dietz, I., y Siemers, B. (2006). Wing measurement variations in the five European Horseshoe bat species (Chiroptera: Rhinolophidae). *Journal of Mammalogy*, 87(6), 1241-1251.
- Dirzo, R., Young, H.S., Galetti, M., Ceballos, G., Isaac, N.J., y Collen, B. (2014). La difunción en el Antropoceno. *Ciencia*, 345(6195), 401–406.
- Díaz, S., y Cabido, M. (2001). Vive la différence: la diversidad funcional de las plantas es importante para los procesos ecosistémicos. *Tendencias en ecología y evolución*, 16(11), 646-655.
- Duffy, J.E. (2002). Biodiversidad y función de los ecosistemas: la conexión del consumidor. *Oikos*, 99(2), 201-219.
- Dumont, E.R. (2003). Bats and Fruit: an ecomorphological approach. Págs. 308-428 en: T. Kunz y H.R. Fenton (Eds.), *Bat Ecology*. The University of Chicago Press, Chicago, USA.
- Durán, A.A., y Canchila Pérez, S. (2015). Ensamblaje de murciélagos (Mammalia: Chiroptera) en dos zonas del departamento de Sucre, Colombia. *Acta Zoológica Mexicana*, 31(3), 358-366.
- Elmqvist, T., Folke, C., Nyström, M., Peterson, G., Bengtsson, J., Walker, B., y Norberg, J. (2003). Diversidad de respuestas, cambio de ecosistemas y resiliencia. *Fronteras en Ecología y Medio Ambiente*, 1(9), 488-494.
- Escobar, F.M., y Maglianesi, M.A. (2021). Diversidad funcional de murciélagos frugívoros en dos fincas de producción ganadera en Guanacaste, Costa Rica. *UNED Research Journal*, 13(2), e3465-e3465.
- Charles Dominique, P. (1986). Inter-relations between frugivorous vertebrates and pioneer plants: *Cecropia*, birds and bats in French Guyana. In A. Estrada & T.H. Fleming (Eds.), *Frugivores and seed dispersal* (pp. 119-135). Holanda: Dr. W. Junk Publishers, Dordrecht.

- Feld, C.K., Martins da Silva, P., Paulo Sousa, J., De Bello, F., Bugter, R., Grandin, U., ... y Harrison, P. (2009). Indicadores de biodiversidad y servicios ecosistémicos: una síntesis entre ecosistemas y escalas espaciales. *Oikos*, 118(12), 1862-1871.
- Gardiner, J.D., Codd, J.R., y Nudds, R.L. (2011). An association between ear and tail morphologies of bats and their foraging style. *Canadian Journal of Zoology*, 89, 90-99.
- García-Morales, R., Moreno, C.E., Badano, E.I., Zuria, I., Galindo-González, J., Rojas-Martínez, A.E., y Ávila-Gómez, E.S. (2016). La deforestación impacta la diversidad funcional de los murciélagos en paisajes tropicales. *PLOS ONE*, 11(12). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0166765>
- González-Maya, J.F. (2015). *Conservación, diversidad funcional y riesgo de extinción en mamíferos neotropicales a múltiples escalas*. México DF, México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Guerra, N. (2014). Evaluación de la Comunidad de Murciélagos (Orden: Chiroptera) en función de sus gremios alimenticios y edades reproductivas en distintos hábitats de la Estación de Biodiversidad Tiputini. Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de Licenciada en Ecología Aplicada. Universidad San Francisco de Quito, Quito, Ecuador.
- Gómez-Ortiz, Y., y Moreno, C.E. (2017). La diversidad funcional en comunidades animales: una revisión que hace énfasis en los vertebrados. *Animal Biodiversity and Conservation*, 40(2), 165–174.
- Hodgson, J.G., Wilson, P.J., Hunt, R., Grime, J.P., y Thompson, K. (1999). Asignación de tipos funcionales de plantas CSR: un enfoque suave para un problema difícil. *Oikos*, 282-294.
- Homar Rosselló, A. (2018). Comparación de diversidad funcional en comunidades de peces de plataforma de dos ecosistemas del Mediterráneo Occidental.
- Hooper, D.U., Chapin III, F.S., Ewel, J.J., Hector, A., Inchausti, P., Lavorel, S., Lawton, J.H., Lodge, D.M., Loreau, M., Naeem, S., Schmid, B., Setälä, H., Symstad, A.J., Vandermeer, J., y Wardle, D.A. (2005). Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecological Monographs*, 75: 3-35.
- Houston, R. D., Boonman, A. M., y Jones, G. (2004). Do echolocation signal parameters restrict bats' choice of prey? En: *Echolocation in bats and dolphins*, 339-345.
- Ipinza, R., Barros, S., De la Maza, C. L., Jofré, P., y González, J. (2021). Bosques y Biodiversidad. *Ciencia & Investigación Forestal*, 27(1), 101-132.
- Jackson, N.D., y Fahrig, L. (2014). El contexto del paisaje afecta la diversidad genética en una extensión espacial mucho mayor que la abundancia de la población. *Ecología*, 95(4), 871-881.
- Jones, G., Jacobs, D. S., Kunz, T. H., Willig, M. R., y Racey, P. A. (2009). Carpe noctem: the importance of bats as bio-indicators. *Endangered Species Research*, 8(1-2), 93-115.
- Kalko, E., Handley, C., y Handley, D. (1996). Organization, diversity and long-term dynamics of a Neotropical bat community. Academic Press, 14-26.
- Kunz, T., y Lumsden, L. (2003). Ecology of cavity and foliage roosting bats. En: *Bat Ecology*. Ed. by T. H. Kunz y M. B. Fenton. Chicago: The University of Chicago Press. pp. 3-89.
- Kunz, T.H., de Torrez, E.B., Bauer, D., Lobova, T., y Fleming, T.H. (2011). Ecosystem services provided by bats. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1223(1), 1–38.
- Lawrance, B., y Simmons, J. (1982). Echolocation in Bats: The External Ear and Perception of the Vertical Positions of Targets. *Science*, 218, 481-483.
- Laliberté, E., y Legendre, P. (2010). Un marco basado en la distancia para medir la diversidad funcional a partir de múltiples rasgos. *Ecología*, 91(1), 299-305.
- Lim, B. K., y Engstrom, M. D. (2001). Species diversity of bats (Mammalia: Chiroptera) in Iwokrama Forest, Guyana, and the Guianan subregion: implications for conservation. *Biodiversity & Conservation*, 10, 613-657.
- Lopez, A., et al. (2016). *Field Guide to Amazonian Bats*. Manaus: Editora INPA.
- Lozano, A. (2014). Diversidad funcional y estructura trófica de un ensamble de murciélagos filostómidos en el Parque Nacional Natural Serranía de los Yarigués.
- Luck, G. W., Carter, A., y Smallbone, L. (2013). Changes in Bird Functional Diversity across Multiple Land Uses: Interpretations of Functional Redundancy Depend on Functional Group Identity. *PLOS ONE*, 8(5), e63671. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0063671>
- Luck, G., Lavorel, S., McIntyre, S., y Lumb, K. (2012). Improving the application of vertebrate trait-based frameworks to the study of ecosystem services. *Journal of Animal Ecology*.
- Mason, N.W.H., Mouillot, D., Lee, W.G., y Wilson, J.B. (2005). Functional richness, functional evenness and functional divergence: the primary components of functional diversity. *Oikos*, 111, 112–118.
- Mendoza, Z., y Abad, N. L. (2011). Sobrevivencia y crecimiento inicial de especies vegetales en el Jardín Botánico de la quinta El Padmi, Zamora, Chinchipe. Zamora, Zamora Chinchipe, Ecuador: Arnaldoa, 18(2), 115-122.
- Mendoza, V. (2016). Patrones de diversidad taxonómica y funcional de murciélagos en la Reserva de la Biosfera Selva El Ocote, Chiapas, México. Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al Título de Maestría en Ciencias de Recursos Naturales y Desarrollo Rural. El Colegio de la Frontera del Sur. Chiapas-México.

- Mogro Páez, E.A. (2020). Diversidad funcional y gremios alimentarios de murciélagos filostómidos (Chiroptera: Phyllostomidae) de Oglán Alto, cantón Arajuno, Pastaza-Ecuador. (Tesis de licenciatura, Quito: UCE).
- Mokany, K., Ash, J., y Roxburgh, S. (2008). Functional identity is more important than diversity in influencing ecosystem processes in a temperate native grassland. *Journal of Ecology*, 96(5), 884-893. <https://doi.org/10.1111/j.13652745.2008.01395.x>
- Moreno, C.E., y Halffter, G. (2001). Spatial and temporal analysis of α , β , y γ diversities of bats in fragmented landscape. *Biodiversity and Conservation*, 10, 367-382.
- Mouchet, M.A., Villéger, S., Mason, N.W., y Mouillot, D. (2010). Medidas de diversidad funcional: una visión general de su redundancia y su capacidad para discriminar las reglas de las asambleas comunitarias. *Ecología funcional*, 24(4), 867-876.
- Mora-Fernández, C., y Peñuela-Recio, L. (2013). Salud ecosistémica de las sábanas inundables asociadas a la cuenca del río Pauto, Casanare, Colombia. Yoluka ONG, Fundación de Investigación en Biodiversidad y Conservación, Fundación Horizonte Verde y Ecopetrol S.A.
- Morin, P.J. (2011). *Ecología comunitaria*. Wiley.
- Müller, R. (2004). A numerical study of the role of the tragus in the big brown bat. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 116(6), 3701-3712.
- Narváez, M. (2010). Análisis del efecto de borde en el patrón de diversidad y abundancia de micromamíferos voladores en la cuenca del río Villano. Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de Licenciada en Ciencias Biológicas. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito, Ecuador.
- Naeem, S., y Wright, J.P. (2003). Disentangling biodiversity effects on ecosystem functioning: deriving solutions to a seemingly insurmountable problem. *Ecology Letters*, 6, 567-579.
- Novoa, S., Cadenillas, R., y Pacheco, V. (2011). Dispersión de semillas por murciélagos frugívoros en Bosques del Parque Nacional Cerros de Amotape, Tumbes, Perú. *Mastozoología Neotropical*, 18(1), 81-93.
- Ojeda, D.A., y Loján, A.P. (2010). Herpetofauna de un bosque húmedo tropical en la Estación El Padmi, de la Universidad Nacional de Loja. *ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN Acuicultura*, 1(1), 59.
- Prada-Salcedo, L.D., Wambsganss, J., Bauhus, J., Buscot, F., y Goldmann, K. (2021). La baja dispersión funcional de las raíces mejora la funcionalidad del crecimiento.
- Peña Peinado, J.D. (2021). Aproximación de la diversidad taxonómica y funcional del ensamblaje de murciélagos en un fragmento de bosque seco tropical en La Unión, Sucre, Colombia.
- Pérez-García, J.N. (2020). Causas de la pérdida global de biodiversidad. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, 1(32), 183-198.
- Petchey, O.L., y Gaston, K.J. (2006). Functional diversity: back to basics and looking forward. *Ecology Letters*, 9, 741-758.
- Pisanty, I., y Caso, M. (2006). Especies, espacios y riesgos: monitoreo para la conservación de la biodiversidad. Instituto Nacional de Ecología.
- Quizhpe, A., y Orellana, M. (2011). Caracterización florística y estructura de la vegetación natural de la quinta El Padmi, provincia de Zamora Chinchipe. (Tesis de Ingeniero Forestal. Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador).
- Ramírez, A. (2017). Diversity scale-dependent response of Phyllostomidae bats to landscape composition and structure in an urban-rural interface in the Colombian Orinoquia. Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al Título de Maestría en Conservación y Uso de la Biodiversidad. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.
- Romero, R. (2023). Diversidad funcional de escarabajos peloteros (Coleoptera: Scarabaeinae) en la Estación Experimental El Padmi. Universidad Nacional de Loja. Pág. 18-25.
- Violle, C., Navas, M.L., Vile, D., Kazakou, E., Fortunel, C., Hummel, I., y Garnier, E. (2007). Let the concept of trait be functional! *Oikos*, 116(5), 882-892.
- Saldaña-Vázquez, R.A. (2014). Intrinsic and extrinsic factor affecting dietary specialization in Neotropical frugivorous bats. *Mammal Review*, 44, 215-224.
- Saldaña-Vázquez, R. A., y Schondube, J. E. (2016). La masa corporal explica la dominancia de *Artibeus* (Phyllostomidae) en ambientes urbanos. En *Memorias en Extenso del I Congreso de Fauna Nativa en Medios Antropizados* (A. Ramírez-Bautista, y R. Pineda López, eds.). CONACYT-UAQ, México, pp. 23-33.
- Santos, T., y Tellería, J. (2006). Pérdida y fragmentación del hábitat: efecto sobre la conservación de las especies. *Ecosistemas*, 15(2). Recuperado a partir de <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/180>
- Sikes, R. S., y Animal Care and Use Committee of the American Society of Mammalogists. (2016). 2016 Guidelines of the American Society of Mammalogists for the use of wild mammals in research and education. *Journal of Mammalogy*, 97(3), 663-688. <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyw078>
- Soriano, P.J. (2000). Estructura funcional de comunidades de murciélagos en bosques tropicales húmedos y bosques nubosos andinos.
- Swartz, S. M., Freeman, P. W., y Stockwell, E. F. (2003). Ecomorphology of bats: Comparative and experimental approaches relating structural design to ecology. En *Bat Ecology*. Ed. por T. H. Kunz y M. B. Fenton. Chicago: The University of Chicago Press, pp. 257-300.

Swartz, S. M., y Middleton, K. M. (2008). Biomechanics of the bat limb skeleton: scaling, material properties and mechanics. *Cells Tissues Organs*, 187(1), 59-84.

Tapia, F., y Zambrano, L. (2015). La diversidad funcional en la ecología de comunidades. *Ecosistemas: Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente*, 24(3), 78-87. <https://revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/1077>

Tilman, D., Knops, J., Wedin, D., Reich, P., Ritchie, M., y Siemann, E. (1997). La influencia de la diversidad funcional y la composición en los procesos ecosistémicos. *Ciencia*, 277(5330), 1300-1302.

Tirira, D. (2017). Una guía de campo de los mamíferos de Ecuador: incluidas las islas Galápagos y la zona antártica ecuatoriana. Asociación Ecuatoriana de Mastozoología.

Villéger, S., Mason, N.W., y Mouillot, D. (2008). Nuevos índices multidimensionales de diversidad funcional para un marco multifacético en ecología funcional. *Ecología*, 89(8), 2290-2301.

Violle, C., Navas, M.L., Vile, D., Kazakou, E., Fortunel, C., Hummel, I., y Garnier, E. (2007). Let the concept of trait be functional! *Oikos*, 116(5), 882-892.

Voss, R.S., y Emmons, L.H. (1996). Mammalian Diversity in Neotropical lowland rainforest: A preliminary assessment. *Bulletin American Museum Natural History*, 230, 1-115.

Willig, M. R., Patterson, B. D., y Stevens, R. D. (2003). Patterns of range size, richness, and body size in the Chiroptera. En *Bat Ecology* (T. H. Kunz y M. B. Fenton, eds.). University of Chicago Press, Chicago, pp. 580-621.

Influencia de la sacarosa en la germinación asimbiótica *in vitro* de semillas de *Cattleya maxima* Lindl.

Influence of sucrose on in vitro germination of Cattleya maxima Lindl

Víctor Eras-Guamán¹, Ana Robles-Lara², Magaly Yaguana-Arévalo¹ y Darlin Gonzalez-Zaruma^{1,*}

¹ Laboratorio de Micropropagación Vegetal, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador

² Carrera de Ingeniería Forestal, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador

* Autor para correspondencia: darlin.gonzalez@unl.edu.ec

Fecha de recepción del manuscrito: 06/12/2023 Fecha de aceptación del manuscrito: 12/01/2024 Fecha de publicación: 30/06/2024

Resumen—La familia Orchidaceae tienen gran importancia ornamental, por la belleza de sus flores, destacándose *Cattleya maxima* Lindl., como una especie de alta comercialización, ya que presenta flores grandes de colores vistosos muy atractivos. La especie se encuentra amenazada por la extracción indiscriminada, destrucción del hábitat, cambio climático, limitada producción de cápsulas y una baja tasa de germinación. Debido a la dificultad que presentan las semillas de las orquídeas para germinar en forma natural, se han desarrollado metodologías de germinación asimbiótica, bajo condiciones *in vitro*. El objetivo del presente estudio fue contribuir a generar información científica, relacionada con la influencia de la sacarosa, en la germinación asimbiótica *in vitro* de semillas de *C. maxima*, a partir de cápsulas fisiológicamente maduras, obtenidas de una colección de germoplasma, se obtuvieron las semillas y bajo condiciones asépticas, fueron inoculadas *in vitro* en el medio de cultivo Knudson-C (KC-1946), suplementado con mio-inositol, tiamina, piridoxina, ácido nicotínico, agua de coco, carbón activado, agar; y, en cuatro concentraciones de sacarosa (tratamientos). La germinación asimbiótica de las semillas probando diferentes concentraciones de sacarosa, registró altos porcentajes de germinación; así, el T0 (0 g L⁻¹) con 91 %, T1 (20 g L⁻¹) con 87 %, T2 (30 g L⁻¹) con 86 % y T3 (40 g L⁻¹) con 74 %. La concentración de sacarosa no influyó en la germinación *in vitro*, sin embargo se puede colegir que la viabilidad de las semillas y la composición química del medio de cultivo Knudson C (KC-1946) presentaron condiciones favorables, para la germinación asimbiótica de *Cattleya maxima*.

Palabras clave—Orquídeas, Cápsulas, Germinación *In vitro*, Conservación.

Abstract—The Orchidaceae family has great ornamental importance, due to the beauty of its flowers, with *Cattleya maxima* Lindl., standing out as a highly commercialized species, since it has large flowers and very attractive bright colors. The species is threatened by indiscriminate extraction, destruction of natural habitat, climate change and limited capsule production and a low germination rate. Due to orchid seeds' difficulty in germinating naturally, asymbiotic germination methodologies have been developed under *in vitro* conditions. Therefore, the objective of the present study was to contribute to generating scientific information related to the influence of sucrose on the *in vitro* asymbiotic germination of *C. maxima* seeds, from physiologically mature capsules, obtained from a germplasm collection, the seeds were obtained and under aseptic conditions, they were inoculated *in vitro* in the Knudson-C (1946) culture medium, supplemented with myo-inositol, thiamine, pyridoxine, nicotinic acid, coconut water, activated carbon, agar; and, in four sucrose concentrations (treatments). The asymbiotic germination of the seeds, testing different concentrations of sucrose, recorded high germination percentages; Thus, T0 (0 g L⁻¹) with 91 %, T1 (20 g L⁻¹) with 87 %, T2 (30 g L⁻¹) with 86 % and T3 (40 g L⁻¹) with 74 %. The sucrose concentration did not influence *in vitro* germination, however it can be deduced that the viability of the seeds and the chemical composition of the Knudson C (KC-1946) culture medium presented favorable conditions for the asymbiotic germination of *Cattleya maxima*.

Keywords—Orchids, capsules, *In vitro* germination, Conservation, Micro propagation.

INTRODUCCIÓN

En el Ecuador, dentro de la riqueza natural, las orquídeas es la familia que aporta con el mayor número de especies al fito-endemismo, pues un tercio de las plantas endémicas del Ecuador son orquídeas (Fernandez et al., 2018). *Cattleya* es un género de orquídea perteneciente a la flora sil-

vestre Sudamericana, originario de la región amazónica de Ecuador y distribuido desde el sur de Costa Rica hasta Argentina, contiene 42 especies y una gran variedad de híbridos que encuentran distribuidos en bosques húmedos, que están dentro de las condiciones para el cultivo y desarrollo (Dodson, 2004). Dada la importancia ornamental por la belleza de

las flores, *Cattleya* es un género de alta comercialización y agrupa a millares de híbridos, que presentan flores grandes y de colores vistosos muy atractivos (Rodríguez *et al.*, 2015).

Sin embargo, las orquídeas presentan factores intrínsecos que limitan su propagación sexual y la variación genética que en ellas se puede presentar. Estos factores están relacionados con el tamaño de las semillas y escasas reservas alimenticias en el embrión, lo que las lleva a establecer asociaciones simbióticas, principalmente con hongos micorrízicos, para lograr la germinación (Pérez, 2016). Por lo tanto, las semillas de orquídeas necesitan ser colonizadas por hongos, generalmente del género *Rhizoctonia*, entablando una relación simbiótica denominada simbiosis micorrízica; estableciéndose así, un flujo de carbohidratos, minerales, vitaminas, hormonas y aminoácidos, que contribuyen a la germinación simbiótica (Quintero, 2012).

Debido a la dificultad que presentan las semillas de las orquídeas para germinar *in vivo*, se han desarrollado estudios previos relacionados con metodologías de germinación asimbiótica *in vitro* y entre otros han demostrado que depende de los macro y micronutrientes de los diferentes medios de cultivo (Murashige & Skoog; Knudson C; Vacin & Went) y el efecto de la fuente de carbohidratos (fructosa, glucosa, dextrosa, sacarosa) en diferentes concentraciones (0, 15, 30 o 45 g L⁻¹); sin embargo, cada especie de orquídea tiene diferentes necesidades de nutrientes para germinar; por tanto, es necesario investigar cual es el medio de cultivo de germinación adecuado para cada una de ellas (Ruíz *et al.*, 2008).

Por los antecedentes señalados, la presente investigación tiene como objetivo evaluar la influencia de la sacarosa, en diferentes concentraciones, en el medio de cultivo Knudson-C (KC-1946) para la germinación de semillas de *C. maxima*, tomando en cuenta que está constituye la fuente de energía y carbono, para la germinación asimbiótica *in vitro* de semillas de orquídeas

MATERIALES Y MÉTODOS

Selección de cápsulas y preparación del medio de cultivo

El experimento se realizó en el Laboratorio de Micropropagación Vegetal, de la Universidad Nacional de Loja, a partir de cápsulas fisiológicamente maduras y cerradas de *Cattleya maxima* (Fig. 1) obtenidas de una colección de germoplasma, ubicado en la parroquia Malacatos, Loja, Ecuador; las mismas fueron previamente lavadas externamente con una solución de detergente y agua corriente antes de ser llevadas a la cámara de flujo laminar, para su posterior inoculación *in vitro*.

El medio de cultivo utilizado estuvo conformado por las sales nutritivas de Knudson-C (KC, 1946), suplementado con 100 mg L⁻¹ de mio-inositol + 0,5 mg L⁻¹ de tiamina (Vitamina B1) + 0,5 mg L⁻¹ de piridoxina + 0,5 mg L⁻¹ de ácido nicotínico + 200 mg L⁻¹ de agua de coco + 2 g L⁻¹ de carbón activado y 5,8 g L⁻¹ de agar (Sigma-Aldrich). Posteriormente, se ajustó el pH del medio de cultivo a 5,8 ± 0,2; y se distribuyó el medio en frascos de vidrio, tipo compota, a razón de 30 ml y se procedió a esterilizar en la autoclave, a una temperatura de 120 °C, una presión de 1,5 kg/cm² por 15 minutos (Tabla 1).

Para evaluar el efecto de la sacarosa en la germinación de semillas *in vitro*, se utilizaron los siguientes tratamientos (Tabla 1).



Fig. 1: Cápsulas fisiológicamente maduras de *Cattleya maxima* Lindl

Tabla 1: Descripción de los tratamientos con diferentes concentraciones de sacarosa, para evaluar la germinación *in vitro* de semillas de *Cattleya maxima* Lindl.

No.	Tratamientos	Concentración de sacarosa (mg L ⁻¹)
1	T0	0
2	T1	20
3	T2	30
4	T3	40

Aislamiento de las cápsulas e inoculación *in vitro* de semillas *Cattleya maxima* Lindl

En la cámara de flujo laminar se procedió a realizar el aislamiento de las cápsulas, para lo cual, se realizó la desinfección de las capsulas con alcohol al 70% por un minuto; posterior a ello, se realizó un enjuague con agua destilada estéril, a continuación se adicionó una solución de hipoclorito de sodio al 20% más tres gotas de Tween 80, durante 10 minutos; posteriormente, se realizaron tres enjuagues con agua destilada estéril, para eliminar el exceso de la solución desinfectante, terminado el proceso de desinfección, las cápsulas quedaron listas para la extracción de semillas.

La extracción de semillas se realizó en la cámara de flujo laminar, con la ayuda de un bisturí y cerca del mechero bunsen, se abrieron longitudinalmente las valvas de las cápsulas, y se obtuvieron las semillas; las cuales, luego con la ayuda de una espátula, fueron inoculadas de forma superficial homogéneamente, sobre el medio de cultivo Knudson-C (KC-1946) con diferentes niveles de sacarosa, en frascos de vidrio de 250 ml, que contenían 30 ml del medio de cultivo.

Incubación *in vitro* de las semillas

Se identificó cada frasco según el tratamiento y repetición, luego se procedió a ubicar en el cuarto de luces o de incubación, a una temperatura de 26 ± 2 °C, en un fotoperiodo de 16 horas luz y 8 horas de oscuridad y una intensidad lumínica de 3 000 a 5 000 lux, por un tiempo de evaluación de 90 días (Fig. 2).

Diseño experimental

Para evaluar el efecto de las tres concentraciones de sacarosa en la germinación *in vitro* de semillas de *Cattleya ma-*

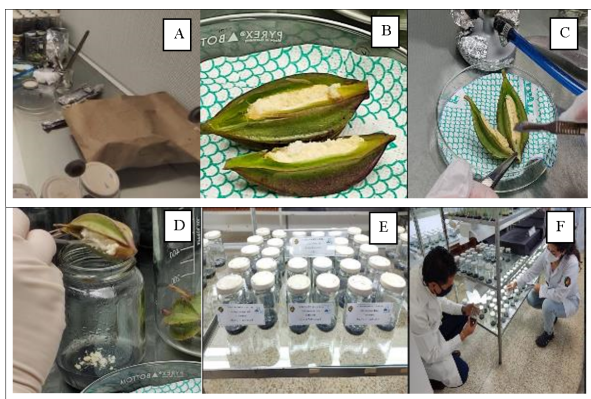


Fig. 2: Inoculación *in vitro* de las semillas de *Cattleya maxima* Lindl., en el medio de cultivo Knudson-C (KC-1946), A) Materiales utilizados para la inoculación; B) Cápsulas fisiológicamente maduras; C) Apertura de cápsulas; D) Inoculación *in vitro* de semillas; E) Identificación de frascos; y, F) Incubación de los tratamientos.

xima Lindl., se utilizó un diseño experimental completamente al azar (DCA) con cuatro tratamientos y tres repeticiones (Tabla 2). Las evaluaciones se realizaron, a partir del quinto día posterior a la siembra, con intervalos de cada 4 días, por un periodo de 90 días. Las variables evaluadas fueron: porcentaje de contaminación, número de días a la germinación y porcentaje de germinación.

Análisis de datos

Los datos obtenidos se sometieron a la prueba de normalidad de Lilliefors y prueba de Bartlett, para verificar la homogeneidad entre las varianzas de las diferentes variables; y, como las variables no alcanzaron la normalidad, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis al 5% de probabilidad, para comparar si las medianas de dos o más tratamientos son diferentes. Los procedimientos se realizaron en el software estadístico R (R Core Team, 2020).

RESULTADOS

Contaminación de semillas de *Cattleya maxima* Lindl., en el medio de cultivo Knudson C (KC-1946), bajo tres concentraciones de sacarosa

La contaminación de las semillas de *C. maxima* se registró a partir del quinto día y se estabilizó a los setenta y siete días en los cuatro tratamientos (Fig. 3). Los menores porcentajes de contaminación se obtuvieron en los tratamientos T0 (0 g L⁻¹) con 6%, T2 (30 g L⁻¹) y T3 (40 g L⁻¹) con 11%, respectivamente; mientras que, el tratamiento T1 (20 g L⁻¹) obtuvo el mayor porcentaje de contaminación con 12%, lo cual, no fue estadísticamente significativo ($p=0,7248$). La contaminación se observó en los frascos o medio de cultivo y fue causada por bacterias y hongos.

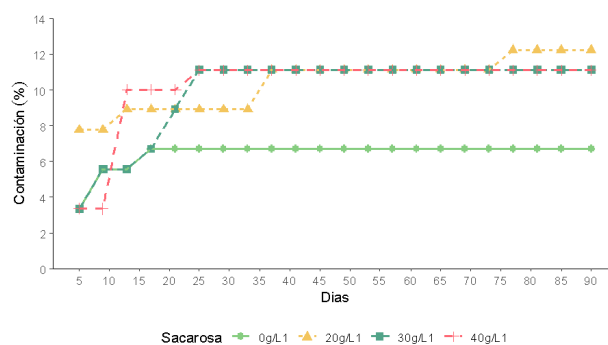


Fig. 3: Porcentaje de contaminación de semillas de *Cattleya maxima* Lindl., a los 90 días de evaluación.

Germinación in vitro asimbiótica de semillas de *Cattleya maxima* Lindl., en el medio de cultivo Knudson C (KC-1946), probando tres concentraciones de sacarosa

Número de días a la germinación

La germinación inició a partir de los 21 días de instalado el ensayo en los tres tratamientos con diferentes niveles de concentración de sacarosa (Fig. 4); así, en el T1 (20 g L⁻¹); T2 (30 g L⁻¹) y T3 (40 g L⁻¹); mientras que, en el T0 (0 g L⁻¹) se registró a los 25 días de evaluación; sin embargo, a medida que transcurrieron los días, la germinación experimentó un crecimiento ascendente en la curva acumulativa (Fig. 4).

Porcentaje de germinación

Las semillas de *Cattleya maxima* Lindl. en los cuatro tratamientos ensayados registraron altos porcentajes de germinación (>74%), destacándose el T0 con el 91%; sin embargo, no se evidenció diferencias significativas entre tratamientos ($p>0,05$); (Fig. 4).

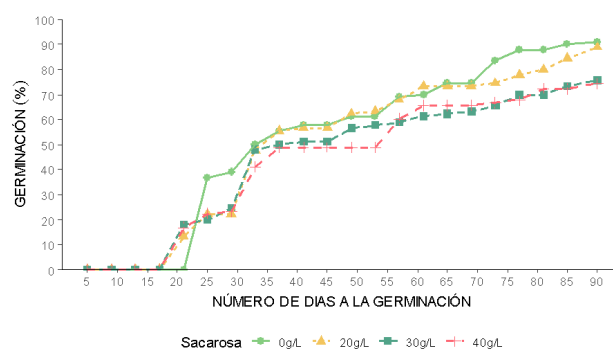


Fig. 4: Curva acumulativa del porcentaje de germinación *in vitro* asimbiótica de semillas de *Cattleya maxima* Lindl., a los 90 días de evaluación.

DISCUSIÓN

Influencia de tres concentraciones de sacarosa en la germinación in vitro asimbiótica de semillas de Cattleya maxima Lindl., en el medio de cultivo Knudson C (KC-1946).

Porcentaje de contaminación

El cultivo *in vitro* puede presentar contaminación de tejidos y originarse por microorganismos en la superficie del medio de cultivo y/o en los tejidos de los explantes (Ansori, 2015). La contaminación de semillas de *C. maxima*, registró un porcentaje inferior al 6 %, lo que evidenció que el protocolo de desinfección utilizado en las cápsulas fue satisfactorio. Estos resultados son semejantes al protocolo para la misma especie, utilizado por Vilcherrez *et al.* (2020) en cuanto a los productos utilizados; sin embargo, diferente en cuanto a tiempo de exposición. Rahmawati y Dewi (2020) registraron porcentajes de contaminación en *C. skinneri* y *C. maxima* de 16,66 %, esto debido a que las semillas fueron expuestas a métodos de desinfección, como inmersión en alcohol al 95 % fuera de cámara, hipoclorito de sodio y la aplicación de enjuagues con agua destilada, lo que evidenció una disminución en los porcentajes de contaminación, la misma que en los dos casos fue causada por hongos y bacterias.

Número de días a la germinación

La germinación de *C. maxima* inició con el cambio de coloración de las semillas, de blanco a amarillo verdoso a los 21 días de instalado el ensayo, en los tres tratamientos con diferentes niveles de concentración de sacarosa (T1 con 20 g L⁻¹; T2 con 30 g L⁻¹ y T3 con 40 g L⁻¹), mientras que en el T0 con 0 g L⁻¹, la germinación inició a los 25 días de evaluación; estos resultados son similares a los reportados por Rodríguez *et al.* (2015) quienes registraron germinación a las tres semanas (21 días), utilizando en su ensayo 3 % de sacarosa, para la germinación de las semillas de orquídea. Entre tanto, Vilcherrez *et al.* (2020) registraron germinación en *C. maxima* a los 33,67 días en medio de cultivo de Murashige y Skoog (MS) suplementado con dos sustancias orgánicas complejas, agua de coco y harina de plátano.

El cambio de coloración de la semilla, de amarilla-crema, a estructuras de color verde, evidencian que el embrión se transforma en un cuerpo protocórmico; y, posteriormente, se evidencia el crecimiento de los primordios foliares en los protocormos (Rodríguez *et al.*, 2015).

Porcentaje de germinación

La germinación asimbiótica *in vitro* de semillas de orquídeas, presenta ventajas comparativamente superiores a la tasa de germinación que se da en condiciones *in vivo* (Valencia, 2018). De acuerdo a los resultados obtenidos en la presente investigación, se registró porcentajes de germinación de semillas de *C. maxima* superiores a 74 %; destacándose el T0 con el 91 %; sin embargo, el T1 que contenía sacarosa, en una concentración de 20 g L⁻¹, obtuvo 87 %. En general, las concentraciones de sacarosa presentaron una respuesta favorable en la germinación asimbiótica *in vitro* de las semillas; resultados que son superiores a los reportados por Chávez *et al.* (2014) quienes registraron en *Comparetia falcata* en me-

dio de cultivo Knudson C, un porcentaje de germinación de 71,5 %; además, determinaron que uno de los mejores métodos para la germinación asimbiótica de semillas de *C. falcata*, fue el medio de cultivo Knudson C. Sin embargo, los resultados obtenidos en la presente investigación, son inferiores a los registrados por Rodríguez *et al.* (2015), quienes en su investigación cultivaron *in vitro* semillas de *C. aurantiaca*, las cuales tuvieron un porcentaje de germinación superiores al 90 %, en los medios de cultivo de Hutner y Knudson C, con una concentración de 3 % de sacarosa y Vilcherrez *et al.* (2020) con un 55,87 % de viabilidad de las semillas de *C. maxima*, la tasa de germinación registrada fue del 97,12 %, con adición del 2 % de sacarosa en el medio de cultivo de Murashige y Skoog (MS).

CONCLUSIONES

La concentración de sacarosa no influyó en la fase de germinación *in vitro*, sin embargo, se puede colegir que la viabilidad de las semillas y la composición química del medio de cultivo Knudson C (KC-1946) presentaron condiciones favorables, para la germinación asimbiótica de *Cattleya maxima*. El efecto de la sacarosa durante la germinación *in vitro* y el desarrollo temprano de protocormos/plántulas de *Cattleya maxima* genera nueva información sobre la germinación asimbiótica de semillas de orquídeas como herramienta para la propagación comercial masiva e investigación primaria sobre la fisiología en medio de cultivo.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

conceptualización: VHEG y ACR; metodología: VHEG y MY; análisis formal: DGZ.; investigación: ACR; curación de datos: ACR, MG y DGZ; redacción — preparación del borrador original: VHEG, ACR y DGZ; redacción — revisión y edición: VHEG, MY y DGZ; supervisión: VHEG y MY. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito. Víctor Hugo Eras Guamán: VHEG. Ana Cristina Robles: ACR. Magaly Yaguana: MY. Darlin Gonzalez Zaruma: DGZ

FINANCIAMIENTO

El presente estudio fue financiado por el laboratorio de Micropropagación Vegetal de la Universidad Nacional de Loja.

REFERENCIAS

- Andrade, M., Vargas, J., Villegas, O., López, V., Guillen-Sánchez I., Alia-Tejagal, D., & Andrade-Rodríguez, M. (2015). Germinación de semillas y crecimiento de plántulas de *Cattleya (Brassolaelio cattleya) in vitro*. *Interciencia*, 40(8), 549–553.
- Ansori. (2015). Optimización de un medio de cultivo para la vitropropagación de *Vanilla planifolia* G. Jackson. *Paper Knowledge. Toward a Media History of Documents*, 3, 49–58.
- Chávez, H., Mosquera, A., & Otero, J. (2014). Propagación *in vitro* de semillas de la orquídea *Comparetia falcata* Poepp. & Endl. (Orchidaceae) mediante técnicas sim-

bióticas y asimbióticas. *Acta Agronomica*, 64(2), 125–133.
<https://doi.org/10.15446/acag.v64n2.42976>

Dodson CH. (2004). Native Ecuadorian Orchids, *Rodriguezia* to *Zygosepalum*. Dodson Trust. Quito 5.

Fernandez, D., Garzon, C., Yáñez, M., González, D., Mena, J., Tobar, F., & Freire, E. (2018). Orquídeas y Bromelias de la provincia de El Oro. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9).

Pérez, et al. (2016). Nativas como una contribución para la conservación ex situ contribution to ex situ conservation. 1–14.

Quintero. (2012). Rescate y germinación *in vitro* de embriones inmaduros de cedro negro (*Juglans neotropica* Diels). *Acta Agronomica*, 61(1), 52–60.

Rahmawati, A., & Dewi, R. (2020). View metadata, citation and similar papers at core.ac.uk. Pengaruh penggunaan pasta labu kuning (*Cucurbita moschata*) UNTUK substitusi tepung terigu dengan penambahan tepung angkak dalam pembuatan mie kering, 274–282.

Rodríguez, M., Vargas, J., Villegas, Ó. G., López, V., Guillen, D., & Alia, I. (2015). Germinación de semillas y crecimiento de plántulas de *Cattleya* (*Brassolaelio cattleya*) *in vitro*. *Interciencia*, 40(8), 549–553.

R Core Team. (2020). R: A language and environment for statistical computing.

Ruíz, B., Laguna, C., Iglesias, G., Damon, A., Marín, H., Azpíroz, R., & Moreno, M. (2008). Germinación *in vitro* de semillas de *Encyclia adenocaula* (La Llave & Lex.) Schltr (Orchidaceae). *Phyton*, 77(964), 203–215.

Valencia. (2018). Universidad San Francisco de Quito USFQ Colegio de ciencias Biológicas y Ambientales. J. M. Pajares y J. P. Gisbert, 22(4), 20–41.

Vilcherrez, J., Rojas, C., Delgado, G. (2020). Micropropagation of *Cattleya maxima* J. Lindley in culture medium with banana flour and coconut water. *International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences*, 10, 179–193.

Nuevos registros de aves en Zamora Chinchipe: fortaleciendo el conocimiento sobre la avifauna del sureste de Ecuador

New Bird Records in Zamora Chinchipe: strengthening the knowledge of the southeastern Ecuadorian avifauna

Claudio Crespo-Ramírez^{1,*}, Jorge Córdova-González², Miguel Alcoser-Villagómez³ y Leonardo Ordóñez-Delgado^{2,4}

¹ Escuela de Biología, Universidad Estatal Amazónica, Sede Zamora Chinchipe, El Pangui, Ecuador.

² Museo de Zoología, Departamento de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad Técnica Particular de Loja. Loja, Ecuador.

³ Maestría en Biología de la Conservación y Ecología Tropical, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, Ecuador.

⁴ Laboratorio de Ecología Tropical y Servicios Ecosistémicos (EcoSs-Lab). Departamento de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Técnica Particular de Loja. Loja, Ecuador.

* Autor para correspondencia: increspoclaude@hotmail.com

Fecha de recepción del manuscrito: 01/04/2024 Fecha de aceptación del manuscrito: 29/06/2024 Fecha de publicación: 30/06/2024

Resumen—La toma de decisiones acertadas sobre la conservación de especies, debe fundamentarse en el mejor conocimiento sobre el o los objetos de interés, considerándose como paso inicial en este proceso el definir de la manera más detallada posible su distribución geográfica. En Ecuador, en los últimos años, ha habido un notable incremento en el registro de especies de aves en lugares en donde antes no se había reportado su presencia, este fenómeno se atribuye a la existencia de vacíos de información, limitada investigación y al incremento en el número de observadores de aves. En este trabajo presentamos información actualizada sobre la distribución de 13 especies de aves que habitan la Amazonía ecuatoriana (*Spatula discors*, *Charadrius collaris*, *Vanellus chilensis*, *Calidris minutilla*, *Tringa melanoleuca*, *Claravis talpacoti*, *Chloroceryle aenea*, *Porphyrio martinica*, *Heliornis fulica*, *Gymnoderus foetidus*, *Tyrannus savana*, *Megascops choliba*, *Anhinga anhinga*), todas reportadas por primera vez en la provincia de Zamora Chinchipe, sur este del país. Nuestros resultados sugieren que los ríos juegan el papel de corredores de dispersión para la mayoría de estas especies; y, que los procesos de alteración antrópica facilitan la colonización para aquellas especies consideradas generalistas de hábitat. Los registros aquí presentados incrementan nuestro conocimiento sobre la distribución de las aves en el sureste de Ecuador.

Palabras clave—Alteración antrópica, Corredores de dispersión, Distribución geográfica, Nuevos registros, Zamora Chinchipe.

Abstract— Making the right decisions about the conservation of species should be based on the best possible knowledge regarding the subject of interest; an initial step in this process is the definition of the geographic distribution with the highest resolution as possible. In Ecuador, in recent years, there has been a notable increase in the recording of bird species in places where their presence had not been previously reported; this phenomenon is attributed to the existence of information gaps, limited research and the increase in the number of birdwatchers. In this paper we present updated information on the distribution of 13 species of birds inhabiting the Ecuadorian Amazon (*Spatula discors*, *Charadrius collaris*, *Vanellus chilensis*, *Calidris minutilla*, *Tringa melanoleuca*, *Claravis talpacoti*, *Chloroceryle aenea*, *Porphyrio martinica*, *Heliornis fulica*, *Gymnoderus foetidus*, *Tyrannus savana*, *Megascops choliba*, *Anhinga anhinga*), all reported for the first time in the province of Zamora Chinchipe, in the southeastern part of the country. Our results suggest that rivers play the role of dispersal corridors for most of these species, and that anthropic alteration processes facilitate colonization for those species considered habitat generalists. The new records presented here increase our knowledge of the bird distribution in southeastern Ecuador.

Keywords—Anthropogenic disturbance, Dispersal corridors, Geographic distribution, New records, Zamora Chinchipe.

INTRODUCCIÓN

Entre los vertebrados, las aves se consideran el grupo faunístico mejor conocido (Larsen et al., 2012). Esto se sustenta principalmente en su facilidad de registro y en la

cantidad de información publicada sobre diversos aspectos referentes a su taxonomía, biología, ecología y distribución (Ordóñez-Delgado et al., 2013; Sangster, 2018; Tobias et al., 2020). En Ecuador estos temas no son la excepción, es así que desde la publicación del libro *Birds of Ecuador* (Ridgely

& Greenfield, 2001a, 2001b), el incremento de trabajos publicados en medios científicos y divulgativos sobre las aves del país ha sido significativo (Freile *et al.*, 2014).

Aunque la distribución de las especies de aves de Ecuador es bien conocida, en los últimos años se ha registrado un considerable número de especies en localidades previamente no reportadas (Orihuela-Torres *et al.*, 2020). Esto se atribuye a la existencia de algunos vacíos de información previos (p. ej.: registros de especies poco conspicuas, con densidades poblacionales bajas o movimientos migratorios altitudinales), así como al incremento en la investigación de aves y la participación de personas en su observación (Orihuela-Torres *et al.*, 2020). Actualmente, las plataformas de participación ciudadana (eBird, iNaturalist, Xeno-Canto, entre otras) se consideran una fuente valiosa de datos para conocer la presencia o ausencia de especies de interés o desarrollar modelos de distribución (Feldman *et al.*, 2021), elementos importantes en la planificación de procesos de conservación.

La ampliación en el rango de distribución de ciertas especies, muchas veces se ve favorecida por diferentes actividades antrópicas, entre estas la ampliación de la frontera agropecuaria (Ordóñez-Delgado & González, 2016; Orihuela-Torres *et al.*, 2020), la urbanización (Cordonnier *et al.*, 2019) e inclusive el cambio climático (de Meyer *et al.*, 2022). Comprender la distribución de las especies es un tema central de la biología de la conservación (Posadas *et al.*, 2011; Primack *et al.*, 2001). Esto no solo facilita la identificación de áreas prioritarias para conservación, basadas en diversidad y endemismo (Posadas *et al.*, 2011), sino que también permite comprender la interacción de las especies con su hábitat y cómo los cambios ambientales impactan en sus poblaciones (Simonetti & Dirzo, 2011). Además, el conocimiento adecuado sobre la distribución de las especies favorece la detección temprana de invasiones biológicas y su impacto (Primack *et al.*, 2001); se considera clave en la gestión de áreas protegidas y la toma de decisiones encaminadas a la conservación (Myers *et al.*, 2000). Adicionalmente, es útil para estudios ecológicos y evolutivos, ya que posibilita el análisis de los patrones de distribución y las relaciones filogenéticas (Crisci, 2006); y facilita entender, como el cambio climático está afectando la distribución y abundancia de las especies (Orihuela-Torres *et al.*, 2020; Whittaker *et al.*, 2005).

Basados en los planteamientos previos, en el presente trabajo se propone la actualización de la distribución para 13 especies de aves previamente no registradas en la región sur oriental de Ecuador, se analizan los posibles factores que están influenciando este tipo de registros en esta región y sus implicaciones para procesos de conservación locales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Los registros aquí presentados provienen de los cantones El Panguí, Nangaritza, Paquisha y Zamora, todos pertenecientes a la provincia de Zamora Chinchipe, sureste de Ecuador (Figura 1). Esta región se encuentra fuertemente influenciada por las estribaciones orientales de la cordillera de los Andes y occidentales de la cordillera del Cóndor, además de los ecosistemas amazónicos (Freile *et al.*, 2013). El régimen de precipitación de esta zona está influenciado por los vien-

tos provenientes de la Amazonía baja, que inciden en lluvias abundantes durante todo el año (>2000 mm/año), y una temperatura media de 25°C (Maldonado, 2002; Rollenbeck & Bendix, 2011). Su compleja topografía ha permitido la formación de diversos hábitats con abundante flora y fauna (Gradstein *et al.*, 2008; Ordóñez-Delgado *et al.*, 2019). El tipo de vegetación predominante en esta provincia corresponde al “Bosque siempreverde piemontano”, el mismo que se considera una zona de transición de la vegetación de la Amazonía y los bosques montanos altoandinos (Sierra, 1999).

Registro y análisis de datos

Los datos presentados en este documento son el resultado del registro documental (fotografías y cantos), no sistemático y oportunista de aves en diferentes localidades de esta región entre los años 2019 y 2024, como se especifica en la Tabla (1). Para la identificación de las especies, definición de su estatus de residente o migratorio, endemismo y análisis de distribución se utilizaron los trabajos de Ridgely & Greenfield, (2001, 2006) y Freile & Restall, (2018). La nomenclatura taxonómica utilizada en este documento se basa en la propuesta del Comité de Clasificación Sudamericano – South American Classification Committee (Ramsen *et al.*, 2024). El estatus de conservación, que consta junto al nombre científico de cada especie se basa en la lista roja de especies amenazadas de la IUCN (IUCN, 2023) y en la Lista Roja de las Aves de Ecuador (Freile *et al.*, 2019). Finalmente, cada registro se comparó con otros registros documentados (fotografías o cantos) publicados en la plataforma Macaulay Library de Cornell University (www.macaulaylibrary.org) para la región de interés, esto con la finalidad de identificar algún tipo de patrón que fortalezca los datos presentados. Los resultados se presentan siguiendo el orden de la secuencia taxonómica en base a Ramsen *et al.*, (2024).

RESULTADOS

En este estudio se documentaron 13 especies de aves, pertenecientes a 11 familias y 9 órdenes. De estas, nueve son especies residentes, tres son migratorias boreales y una es migratoria austral (Freile & Restall, 2018). Ninguna de las especies registradas se considera amenazada a nivel global o nacional, todas están clasificadas en la categoría de preocupación menor (LC) según la IUCN, (2023), excepto *Tyrannus savana* que no ha sido evaluada en Ecuador (Freile *et al.*, 2019). A continuación, se detalla la información de cada uno de los registros correspondientes.

Blue-winged Teal – *Spatula discors* (IUCN: LC; Ecuador: LC).

Especie migratoria boreal, comúnmente observada en lagos, charcas y marjales de las tierras bajas del oeste hasta los 3200 m s.n.m (Freile & Restall, 2018). Los registros de esta ave en el este son raros, siendo las provincias de Sucumbíos y Napo en donde se han documentado la mayoría de ejemplares (Ridgely & Greenfield, 2006).

El 17 de enero del 2024 se registró una hembra de la especie perchada sobre un tronco en la ribera sur de la piscina de sedimentación del proyecto minero Mirador de la empresa ECSA (Figura 2A). Las observaciones de este ejemplar se prolongaron por cuatro semanas más, la mayoría de las

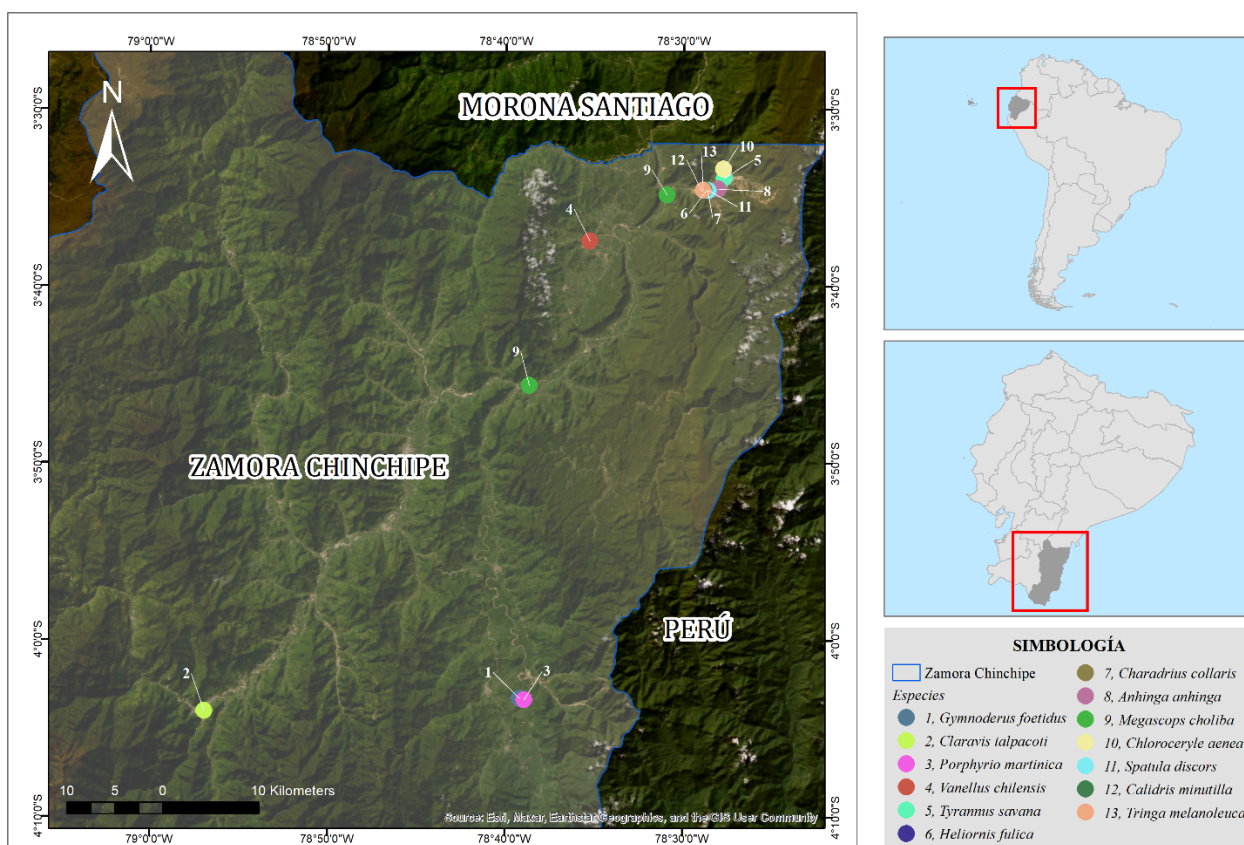


Fig. 1: Mapa del área de estudio, región norte de la provincia de Zamora Chinchipe, sureste de Ecuador. Cada número asignado a los diferentes puntos se corresponden con la especie registrada y detallada en la leyenda de la figura.

veces desplazándose en varios puntos de las riberas de la re-lavera en búsqueda de alimento, y en compañía de otras aves como: *Actitis macularius*, *Tringa melanoleuca*, *Tringa solitaria*, *Calidris minutilla* y *Charadrius collaris*.

El presente registro constituye la primera evidencia de la presencia de esta especie en la provincia de Zamora Chinchipe. Los registros documentados más cercanos para *Spatula discors* se localizan en la ciudad de Loja, provincia de Loja a 117 km al suroeste del registro aquí presentado (Córdova-González et al., 2023); y, en Sucúa, provincia de Morona Santiago a 215 km al norte del presente registro (Mejía, 2023).

Collared Plover - *Charadrius collaris* (IUCN: LC; Ecuador: LC).

Especie característica de las tierras bajas del este y oeste de Ecuador (Athanas & Greenfield, 2016), presente en orillas fangosas de estuarios y lagunas, estanques de camarones, grandes márgenes de ríos y bancos de arena (Freile & Restall, 2018) principalmente por debajo de los 500 m s.n.m (Freile & Restall, 2018; Ridgely & Greenfield, 2006a) aunque existen unos pocos registros en algunas localidades andinas (Freile et al., 2017).

Un individuo adulto fue fotografiado el 19 de noviembre de 2021 (Figura 2B), mientras buscaba alimento a lo largo de la orilla del dique de la piscina de sedimentación del proyecto minero Mirador de la empresa ECSA en la parroquia Tundayme, cantón El Pangui, provincia de Zamora Chinchipe (Tabla 1). Existen dos registros adicionales para esta especie en la provincia de Zamora Chinchipe, en el río Nangaritzza, parroquia Paquisha, cantón Paquisha (Petersson, 2013),

a 45 km al sur de nuestro lugar de registro. Y en el Estadio Municipal del Cantón Yantzaza, parroquia Yantzaza, cantón Yantzaza (Romero, 2022) a 27 km al sur de nuestro lugar de registro.

Southern Lapwing - *Vanellus chilensis* (IUCN: LC; Ecuador: LC).

Es una especie poco común de pastizales, márgenes de ríos y bancos de arena de la Amazonía baja, se considera local en algunas localidades del oeste y las laderas y valles andinos del norte del país (2600 m s.n.m.) (Freile & Restall, 2018). Dos individuos adultos fueron fotografiados el 12 de mayo de 2022 (Figura 2C) en el campus de la Universidad Estatal Amazónica (UEA), parroquia El Pangui, cantón El Pangui, provincia Zamora Chinchipe (Tabla 1). Los individuos se encontraban buscando alimento en un área verde muy degradada con prevalencia de flora herbácea. Esta especie fue observada de forma constante en el predio de la UEA desde marzo hasta septiembre del 2022 (Crespo-Ramírez C. Obs. Pers.).

La revisión en Macaulay Library confirmó registros de *V. chilensis* para la provincia Zamora Chinchipe en cantones cercanos como Yantzaza (Ramos, 2019), Paquisha (Castillo, 2021c), El Pangui (Angulo, 2022) y Zamora (Ordóñez-Delgado L. Obs. Pers.). Todos los registros aquí presentados permiten confirmar que la especie ha ampliado su distribución en la región suroriental de Ecuador, llegando en la actualidad a abarcar buena parte de la región norte de la provincia de Zamora Chinchipe, tal cual como lo propuso previamente (Ridgely & Greenfield, 2001a).



Fig. 2: Registros fotográficos de las especies de aves en la provincia de Zamora Chinchipe, Ecuador: A) *Spatula discors*; B) *Charadrius collaris*; C) *Vanellus chilensis*; D) *Callidris minutilla*; E) *Tringa melanoleuca*; F) *Claravis talpacoti* (hembra); G) *Claravis talpacoti* (macho); H) *Chloroceryle aenea*; I) *Porphyrio martinica*; J) *Heliornis fulica*; K) *Gymnoderus foetidus*; L) *Tyrannus savana*; M) *Megascops choliba* (cría); N) *Megascops choliba* (adulto); O) *Anhinga anhinga*.

Least Sandpiper – *Calidris minutilla* (IUCN: LC; Ecuador: LC).

Se trata de una especie de playero migratorio boreal presente en estanques poco profundos, charcas y lagunas de la costa (Freile & Restall, 2018) y las tierras altas de la sierra, hasta los 3800 m s.n.m (Ridgely & Greenfield, 2006). Los ejemplares adultos de esta especie suelen reproducirse en la tundra norteamericana, y migran hasta el norte de Sudamérica en la temporada que se presenta el invierno boreal (Martínez-Curci et al., 2018; Nebel & Cooper, 2020). Siendo en abril cuando se registra con más frecuencia (Ridgely & Greenfield, 2001b).

El 10 de febrero del 2024 se observó a tres individuos de *C. minutilla* (Figura 2D) mientras se alimentaban en la ribera noroccidental del río Quimi, junto a ellos se encontraba un par de ejemplares de *C. collaris*. En la zona no existen registros previos de la especie. De acuerdo con Ridgely & Greenfield, (2001b) los ejemplares documentados en las tierras bajas del este son poco comunes. Nuestro registro figura como el primer registro para la provincia de Zamora Chinchipe.

Greater Yellowlegs – *Tringa melanoleuca* (IUCN: LC; Ecuador: LC).

Especie migratoria boreal presente en lagunas, marismas y cuerpos de agua salobre a dulce de las estribaciones y tierras bajas del este y oeste (Freile & Restall, 2018), y en valles interandinos hasta los 4500 m s.n.m (Ridgely & Greenfield, 2006). Es una ave playera con afinidad por ambientes de agua dulce, llegando a encontrarse en números pequeños entre mayo y julio, y en grupos más grandes entre agosto y octubre (Ridgely & Greenfield, 2001b).

Un ejemplar adulto de *T. melanoleuca* fue fotografiado el 12 de febrero del 2024 (Figura 2E), el ave se encontraba sobre la ribera noroccidental del río Quimi, junto a él se hallaba un grupo de playeros de las especies: *Tringa solitaria*, *Actitis macularius* y *Charadrius collaris*. Aparentemente, el ave se desplazaba en búsqueda de alimento. Los avistamientos de esta especie en la zona son poco habituales, existe un registro previo en el río Copueno en la ciudad de Macas, provincia de Morona Santiago a 243 km al norte de nuestro registro (Utiñaj, 2022).

Ruddy Ground Dove - *Columbina talpacoti* (IUCN: LC; Ecuador: LC).

Especie común de áreas agrícolas y poblados de las tierras bajas y estribaciones de las provincias de Sucumbios, Napo, Orellana, Pastaza, Morona Santiago en el este de Ecuador, siempre por debajo de los 1000 m s.n.m. (Freile & Restall, 2018). Dos hembras y un individuo macho de la especie fueron fotografiados el 2 de marzo de 2022 (Figura 2F, 2G), mientras forrajaban en un área verde degradada con presencia de arbolado y prevalencia de vegetación herbácea, a 100 metros del río Bombuscaro, en el área urbana de la ciudad de Zamora, cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe (Tabla 1).

Existen algunos registros para *C. talpacoti* publicados en Macaulay Library, estos corresponden a individuos fotografiados en áreas urbanas de la provincia de Zamora Chinchipe. Se han observado en la parroquia Bellavista, cantón Paquisha (Castillo, 2017, 2018b; Ocaña, 2019), en la parroquia Los Encuentros, cantón Yantzaza (Correia, 2020), en la parroquia Pachicutza, cantón El Pangui (Mangash, 2021) y en

la parroquia Zumbi, cantón Centinela del Cóndor (Castillo, 2022b). El registro más cercano de esta especie respecto del nuestro se localiza a 64 km al norte, en el poblado de Los Encuentros, cantón Yantzaza (Correia, 2020). A nivel del país, nuestro registro constituye, por el momento, la localidad más austral identificada para la especie respecto de la distribución previamente publicada y que correspondía a la provincia de Sucumbios (766 km al noreste).

American Pygmy Kingfisher - *Chloroceryle aenea* (IUCN: LC; Ecuador: LC).

Es una especie que habita arroyos pequeños y afluentes poco caudalosos en las tierras bajas del este y oeste en el Ecuador hasta los 400 m de altitud, con registros locales un poco más elevados (Freile & Restall, 2018; Ridgely & Greenfield, 2006). El 9 de febrero del 2023, durante un monitoreo de aves con redes de niebla, se capturó una hembra adulta de la especie. El ejemplar fue medido, fotografiado (Figura 2H) y posteriormente liberado en el mismo sitio ubicado en un remanente de bosque secundario, paralelo al río Quimi y a la vía que conduce al Valle del Quimi, parroquia Tundayme, cantón El Pangui, provincia de Zamora Chinchipe (Tabla 1).

Los registros más comunes de la especie se encuentran en bosques de várzea en las tierras bajas del este (principalmente cerca al río Napo). Aunque los registros en el oeste son raros (McMullan & Navarrete, 2013; Ridgely & Greenfield, 2006) se han documentado individuos en las provincias de Esmeraldas, Manabí y Guayas (Ridgely & Greenfield, 2001b). Ocasionalmente se han observado ejemplares en la provincia de Pichincha (Nilsson et al., 2014), pero hasta el momento no había sido documentada en la provincia de Zamora Chinchipe. El registro aquí presentado constituye hasta el momento el más austral para la especie en Ecuador, así como el de mayor altitud en la región amazónica (813 m s.n.m).

Purple Gallinule - *Porphyrio martinica* (IUCN: LC; Ecuador: LC).

Especie común en marjales, lagunas de agua dulce y orillas de lagos (Freile & Restall, 2018), en Ecuador se distribuye principalmente en las provincias litorales de Esmeraldas, Guayas, Los Ríos, Manabí y Santa Elena; y, en el este en las provincias de Napo, Orellana y Sucumbios (Ridgely & Greenfield, 2001b). Se presenta principalmente por debajo de los 500 m s.n.m. y hasta los 3300 m s.n.m., con un registro inusual a 4100 m s.n.m. (Freile & Restall, 2018). Además, desde la década de 1970, varios individuos errantes de esta especie han sido registrados en el valle de Quito (2800–2900 m), provincia de Pichincha (Buitrón-Jurado & Freile, 2006; Cisneros-Heredia, 2006), y un registro de 1995 para la laguna de Colta, provincia de Chimborazo a 3280 m s.n.m. (Cisneros-Heredia, 2006).

Dos individuos adultos de la especie fueron fotografiados el 31 de enero de 2022 (Figura 2I), en un remanente de vegetación nativa a orillas de una laguna natural de la parroquia Guayzimi, cantón Nangaritza, provincia de Zamora Chinchipe (Tabla 1). En el paisaje circundante existía predominio de fincas ganaderas y algunos remanentes de bosques fragmentados. Este sitio se caracteriza por presentar inundaciones estacionales debido a las crecidas del río Nangaritza en la época lluviosa.

Existen registros fotográficos adicionales de la especie en Macaulay Library para la provincia de Zamora Chinchipe. Estos corresponden a un individuo adulto en las inmediaciones

nes del aeropuerto del cantón Zamora (Ahlman, 2020), un individuo adulto con un juvenil en la laguna de la Comunidad de Indígenas Saraguros asentados en Mayaicu (CISAM), parroquia Nuevo Quito, cantón Paquisha (Castillo, 2021a, 2021b), un individuo adulto en el Barrio Mejeche, parroquia Cumbaratza, cantón Zamora (Castillo, 2022a), y un individuo adulto en el Barrio Natentza, parroquia Triunfo-Dorado, cantón Centinela del Cóndor (Ávila, 2022b). El sitio más cercano a nuestro registro corresponde a la laguna de CISAM (6 km al norte).

La información previa publicada en Ecuador para la especie establece que su distribución abarca la costa del país, algunas localidades de los andes y el nororiente, sin embargo, la información aquí presentada permite confirmar que esta especie actualmente se distribuye en el sureste de Ecuador, hasta la provincia de Zamora Chinchipe.

Sungrebe - *Heliornis fulica* (IUCN: LC; Ecuador: LC).

Es una especie común que habita ríos de flujo lento, lagunas de agua dulce, arroyos y estanques con vegetación abundante en el noroeste del país (Freile & Restall, 2018), principalmente en los ríos de las provincias de Sucumbíos, Napo, Orellana y Pastaza, por debajo de los 400 m s.n.m (Ridgely & Greenfield, 2001b). Cuenta con pocos registros hacia el este (López-Lanús & Gastezzi, 2000; Mischler, 2012), en donde se considera rara o poco común (Athanas & Greenfield, 2016).

Un individuo adulto de *H. fulica* fue fotografiado el 24 de agosto de 2021 (Figura 2J), desplazándose en búsqueda de alimento entre la vegetación circundante de las piscinas de sedimentación del campamento de la empresa ECSA (Tabla 1). En base a la revisión de Macaulay Library, existe un registro adicional de la especie (70 km al sur de nuestro reporte) en el barrio Natentza, parroquia Triunfo-Dorado, cantón Centinela del Cóndor, provincia de Zamora Chinchipe (Ávila, 2022c), mientras que en dirección norte el registro más cercano se ubica a 156 km, a orillas del río Yuquipa, provincia Morona Santiago. Los datos aquí presentados permiten corroborar que la especie habita la parte norte de la provincia de Zamora Chinchipe.

Bare-necked Fruitcrow - *Gymnoderus foetidus* (IUCN: LC; Ecuador: LC).

Es una especie poco común de dosel en bosques de terra firme y várzea, orillas de ríos e islas ribereñas de las bajas del este del Ecuador, principalmente en las provincias de Napo, Orellana, Pastaza y Sucumbíos hasta los 400 m s.n.m. (Freile & Restall, 2018). Un macho adulto de la especie fue fotografiado el 31 de enero de 2022 (Figura 2K), mientras perchaba a 20 m de altura sobre un árbol que conformaba un arbolado dentro de un área de pastizales, cercano a una laguna natural en el sector Las Brisas, parroquia Guayzimi, cantón Nangaritza, provincia de Zamora Chinchipe (Tabla 1).

Según la información revisada y disponible online, no existen registros previos de la especie dentro de la provincia de Zamora Chinchipe. Este registro constituye la primera evidencia de la presencia de *G. foetidus* en el extremo sureste de Ecuador, y se localiza a 840 m s.n.m. incrementando 540 m el rango altitudinal de presencia de la especie respecto de la información previamente publicada para el país (Freile & Restall, 2018). Según Ridgely & Greenfield, (2001b) esta especie es propensa a divagar, nuestro registro, indicaría su capacidad para desplazarse por corredores biológicos na-

turales como los ríos de la región (Freile et al., 2022), tema que ya ha sido documentado para varias especies de aves del neotrópico (Hayes & Sewlal, 2004).

Fork-tailed Flycatcher - *Tyrannus savana* (IUCN: LC; Ecuador: NE)

Es una especie migratoria austral (febrero-septiembre) poco común en las tierras bajas del este en los bordes e interior de los bosques y áreas abiertas, con registros andinos y occidentales dispersos, su distribución principalmente por debajo de los 400 m s.n.m (Freile & Restall, 2018). Algunos registros históricos en el país situaban a la especie en los andes noroccidentales (Chapman, 1926); sin embargo, recientemente se han observado individuos en las provincias de El Oro y Azuay (Ridgely & Greenfield, 2001b). Un individuo juvenil de *T. savana* fue fotografiado el 15 de octubre de 2021 (Figura 2L), en un jardín del campamento Mirador dentro del complejo minero de la empresa ECSA, parroquia Tundayme, cantón El Pangui, provincia de Zamora Chinchipe (Tabla 1).

La revisión en Macaulay Library permitió corroborar que los registros más cercanos de esta especie se ubican a 96 km al oeste en la ciudad de Cuenca, provincia del Azuay (Carrasco, 2019); y, a 117 km al sur en la parroquia Vilcabamba, provincia de Loja (Paladines, 2016). Al no existir registros previos de la especie dentro de la provincia de Zamora Chinchipe, este registro constituye la primera evidencia documental de la presencia de *T. savanna* en el extremo sureste del país.

Tropical Screech Owl - *Megascops choliba* (IUCN: LC; Ecuador: LC).

Es una especie común de la Amazonía norte de Ecuador, asociada a bosques ribereños y áreas abiertas, su distribución abarca principalmente las provincias de Sucumbíos, Orellana, Pastaza, la parte baja de Napo y el centro norte de la provincia Morona Santiago, principalmente por debajo de los 700 m s.n.m. (Freile & Restall, 2018).

El 24 de diciembre del 2019, se observó a un individuo adulto de la especie y grabó su canto (XC513866) (Ordóñez-Delgado, 2019) en el sector de Los Encuentros, cantón Yantzaza, Zamora Chinchipe (Tabla 1). Y, posteriormente se obtuvo un registro fotográfico de un juvenil de la especie en enero del 2023 en la parroquia Tundayme, cantón El Pangui, Zamora Chinchipe (Figura 2M, Figura 2N).

Existen pocos registros adicionales publicados para esta especie en Macaulay Library para Zamora Chinchipe, estos corresponden a un individuo fotografiado en el sector Santa Rita, cantón El Pangui (Mangash, 2022) y otro en la parroquia Paquisha, cantón Paquisha (Castillo, 2022c). Todos estos registros permiten corroborar la presencia de esta especie en la provincia de Zamora Chinchipe en donde previamente no había sido documentada. La distribución previa de este autillo establecía que su distribución sur se correspondía con la presencia del río Santiago en la provincia Morona Santiago (Freile & Restall, 2018). Los datos aquí presentados permiten proponer la ampliación de la distribución de esta especie al menos 100 km hacia el sur este de Ecuador.

Anhinga - *Anhinga anhinga* (IUCN: LC; Ecuador: LC).

Es una especie poco común y localista a lo largo de cuerpos de agua dulce como ríos, lagunas y estanques, al este y oeste, en las tierras bajas del país, por debajo de los 400 m s.n.m (Freile et al., 2017). Se fotografió un individuo adulto de la especie el 14 de febrero de 2022 (Figura 2O), mientras

perchaba sobre un tronco en la rivera noroccidental de una de las piscinas de sedimentación de ECSA, parroquia Tundayme, cantón El Pangui, provincia de Zamora Chinchipe (Tabla 1).

La revisión en Macaulay Library confirmó el registro de *A. anhinga* en los alrededores del río Nangaritzza, parroquia Paquisha, provincia de Zamora Chinchipe (Castillo, 2018a, 2019, 2020), y en el barrio Natentza, parroquia Triunfo-Dorado, cantón Centinela del Cóndor, provincia de Zamora Chinchipe (Ávila, 2022a). Los registros descritos están localizados al sur de nuestra localidad de registro con una distancia aproximada de 45 km (alrededores del río Nangaritzza) y 80 km, en Centinela del Cóndor (ver Tabla 1).

DISCUSIÓN

La toma de decisiones acertadas respecto de la conservación de especies debe fundamentarse en el conocimiento adecuado de él o los objetos de interés, siendo uno de los puntos de partida fundamentales para esto el conocer de forma fidedigna su distribución geográfica (Ordóñez-Delgado et al., 2018). Este documento propone la actualización de la distribución geográfica para 13 especies de aves de la Amazonía norte de Ecuador. Estas especies, previamente sin registros documentados en el sureste del país, complementan una serie de reportes similares para esta región (Freile et al., 2014; Krabbe & Ahlman, 2009; Ordóñez-Delgado et al., 2017a, 2017b, 2018; Ordóñez-Delgado & González, 2016).

El análisis de los registros aquí presentados permite evidenciar que más de la mitad de las especies (*Spatula discors*, *Charadrius collaris*, *Calidris minutilla*, *Tringa melanoleuca*, *Chloroceryle aenea*, *Porphyrion martinica*, *Heliornis fulica*, *Gymnoderus foetidus* y *Anhinga anhinga*) están fuertemente relacionadas a cuerpos de agua o ecosistemas rivereños (Freile & Restall, 2018; Ridgely & Greenfield, 2006). Investigaciones previas han definido que los ríos funcionan como corredores biológicos de dispersión (Aronson et al., 2017; Rinaldo et al., 2018). Así, el río Zamora, Bombuscaro, Nangaritzza y otros ríos locales de la provincia de Zamora Chinchipe están cumpliendo este rol y facilitando la movilidad de estas especies, tal como se ha reportado en otras localidades del país (Jahn et al., 2010; Ordóñez-Delgado et al., 2016, 2017; Santander et al., 2011), Perú (García Solsol et al., 2020, 2021; Hernández Mora et al., 2022) y el neotrópico en general (Hayes & Sewlal, 2004). Otro ejemplo claro de la influencia de los ríos como corredores lo evidencian también los nuevos registros de distribución de aves en los bosques de arena blanca (hábitats relacionados a los ríos Tigre y Marañón) en el noreste de Perú. Estos han permitido extender el rango de distribución de varias especies de aves de manera importante (300–700 km) (Alonso & Whitney, 2003), siendo evidente que para dichos registros en Perú, los ríos desempeñan un rol clave en la movilidad de las aves (ver mapa en Alonso & Whitney, 2003).

El resto de las especies (*Vanellus chilensis*, *Claravis talpacoti*, *Tyrannus savana* y *Megascops choliba*) se consideran aves que habitan o tienen predilección por sitios abiertos o bordes de bosques (Ridgely & Greenfield, 2001b), similar al caso de algunas especies locales que han incrementado el territorio que habitan, siendo uno de los ejemplos más evidentes de expansión territorial en esta región el de *Coryphospin-*

cuscollatus (Ordóñez-Delgado & González, 2016). Aunque esto no es exclusivo de nuestro país, similar situación se ha observado por ejemplo con la especie *Thraupis episcopus* en México, en donde la especie se ha dispersado hacia nuevas localidades costeras y no costeras ampliando significativamente su distribución geográfica (Blancas-Calva et al., 2017; Rodríguez-Ruíz et al., 2011). Este fenómeno se atribuye a la facilidad y afinidad que presentan ciertas especies de ambientes abiertos, dietas generalistas y poca especificidad de hábitat para expandir los territorios que ocupan (Arendt, 1988). Además, esto también se refleja en el estatus de conservación de las especies presentadas en este estudio. Todas ellas están catalogadas en la categoría de preocupación menor, tanto a nivel nacional (Freile et al., 2019) como internacional (IUCN, 2023). Esta categoría se asigna principalmente a especies que no están experimentando declives poblacionales y que poseen distribuciones amplias, con poca afinidad por hábitats particulares (IUCN, 2023).

Se encuentra bien documentado que la abundancia de las especies de aves está íntimamente relacionada con la complejidad estructural de la cobertura vegetal de los ecosistemas que habitan (Cruz-Angón & Greenberg, 2005), de ahí que la pérdida y degradación de hábitats, causadas por factores, naturales o antrópicos, afecten su permanencia a largo plazo (IUCN, 2023). La provincia de Zamora Chinchipe es una de las regiones con los niveles más altos de cambio de uso del suelo como resultado de la deforestación en Ecuador (Ministerio del Ambiente de Ecuador, 2012; Sierra et al., 2021), proceso que facilita la expansión en la distribución de ciertas especies, pero también pone en riesgo la presencia de las especies que requieren de áreas boscosas para subsistir. Existen varios ejemplos documentados en la Amazonía peruana, en donde la modificación del paisaje ha permitido la colonización de especies adaptadas a zonas abiertas, por ejemplo, *Zonotrichia capensis* (Ugarte & Lavalle, 2018), *Vanellus chilensis* (Ruiz-Ramos et al., 2017) y *Sicalis flaveola* (García Solsol et al., 2021).

Además, existe la posibilidad de que varios de estos nuevos patrones de dispersión de especies estén influenciados por el cambio climático. Se conoce que los efectos del cambio climático son importantes para varios grupos de fauna, entre estos las aves neotropicales (Uribe-Botero, 2015) principalmente en lo que se refiere a cambios en su distribución geográfica y altitudinal (Freeman et al., 2018; Meza Mori et al., 2022; Rosselli et al., 2017; Varela, 2019; Velásquez-Tibatá et al., 2013; Winton, 2021). Lamentablemente, a nivel local, no se cuenta con evidencia sólida y de largo plazo que permita sostener esto de forma fidedigna, datos como los presentes aportan información valiosa para actualizar nuestro conocimiento sobre la expansión de algunas especies, pero se requieren estudios más detallados de diversos patrones estacionales, altitudinales y de ecología de las comunidades de aves locales para comprender mejor la respuesta que este grupo faunístico está mostrando frente al cambio climático.

La expansión de la frontera agrícola es la principal causa de la deforestación en la región amazónica, sin embargo, a este proceso se suman temas relacionados a la minería legal e ilegal, nuevos asentamientos humanos, infraestructura turística y desarrollo vial (Kleemann et al., 2022; Sanchez, 2015). Varias de estas actividades se desarrollan en el borde de ríos y quebradas, afectando así a la vegetación riparia,

Tabla 1: Localidades de registro de especies. Código: ECSA: Ecuacorriente S.A.

Especies	Estatus de Distribución	Fechas	Lugar de observación	Coordenadas	Elevación (m s.n.m.)
<i>Spatula discors</i>	Migratoria Boreal	17/1/2024	Campamento ECSA, parroquia Tundayme	3°34'34.64"S, 78°28'36.83"O	780
<i>Charadrius collaris</i>	Residente	19/11/2021	Campamento ECSA, parroquia Tundayme	3°34'44.55"S, 78°28'39.32"O	782
<i>Vanellus chilensis</i>	Residente	12/05/2022	Campus Universidad Estatal Amazónica, parroquia El Pangui	3°37'27.77"S, 78°35'16.61"O	819
<i>Calidris minutilla</i>	Migratoria Boreal	10/2/2024	Río Quimi, Morona Santiago	3°34'32.79"S, 78°28'51.41"O	774
<i>Tringa melanoleuca</i>	Migratoria Boreal	12/2/2024	Río Quimi, Morona Santiago	3°34'33.82"S, 78°28'53.50"O	774
<i>Claravis talpacoti</i>	Residente	2/03/2022	Zona urbana, parroquia Zamora	4°04'02.05"S, 78°56'55.57"O	896
<i>Chloroceryle aenea</i>	Residente	09/02/2023	Río Quimi, Morona Santiago	3°33'21.69"S, 78°27'44.43"O	813
<i>Porphyrio martinica</i>	Residente	31/01/2022	Laguna cercana al Río Nangaritzza, parroquia Guayzimi	4°03'23.82"S, 78°38'55.32"O	840
<i>Heliornis fulica</i>	Residente	24/08/2021	Campamento ECSA, parroquia Tundayme	3°34'35.61"S, 78°28'43.54"O	775
<i>Gubernetes yetapa</i>	Residente	31/01/2022	Laguna cercana al Río Nangaritzza	4°03'19.45"S, 78°39'09.61"O	840
<i>Tyrannus savana</i>	Migratoria Austral	15/10/2021	Campamento ECSA, parroquia Tundayme	3°33'52.95"S, 78°27'42.62"O	825
<i>Megascops choliba</i>	Residente	24/12/2019	Los Encuentros, Zamora Chinchipe	3°45'37.08"S, 78°38'39.76"O	795
<i>Megascops choliba</i>	Residente	17/01/2023	Campamento SIMAR, parroquia Tundayme	3°34'51.03"S, 78°30'55.60"O	758
<i>Anhinga anhinga</i>	Residente	14/02/2022	Campamento ECSA, parroquia Tundayme	3°34'30.11"S, 78°28'1.63"O	809

la cual es un elemento paisajístico clave para la movilidad y funcionalidad de los cuerpos de agua de todo tamaño (Riis et al., 2020). Por ello, se constituye en un tema prioritario a nivel local promover su protección mediante la declaratoria de áreas de conservación comunitarias, de los gobiernos autónomos descentralizados, u otra figura acorde a la realidad de cada sitio.

Es fundamental continuar documentando la movilidad y colonización de las aves en esta región, esto permitirá fortalecer los procesos de planificación territorial y conservación locales. Las aves constituyen parte del patrimonio natural de cada nación, proveen diferentes servicios ambientales y son componentes claves de los ecosistemas, actualizar el conocimiento sobre su distribución es un paso fundamental para su conservación futura.

CONCLUSIONES

La toma de decisiones acertadas en materia de conservación de especies requiere de un profundo y sólido entendimiento de sus características e historia natural, siendo un punto de partida clave el definir de forma fidedigna su distribución geográfica. Este documento permite actualizar la distribución de 13 especies de aves de la Amazonía de Ecuador, resaltando la importancia de los ecosistemas ribereños como corredores biológicos de dispersión para su movilidad. Es crucial continuar con la documentación, sistematización

y presentación de este tipo de registros en medios científicos, especialmente en el contexto del cambio climático y la presión de actividades humanas que se encuentran en franco incremento. Solamente así se podrán tomar decisiones adecuadas en cuanto a la gestión y conservación de los ecosistemas y las especies que los componen.

AGRADECIMIENTOS

Al Departamento de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad Técnica Particular de Loja, por el apoyo y respaldo institucional en el desarrollo del presente documento. A Ibeth Alarcón por compartimos su registro de *Anhinga anhinga*. CCR agradece a Karina Méndez por su apoyo y motivación en el ámbito de la investigación. LOD agradece a Leonardo y Alejandra Ordóñez-Jaramillo por su invaluable y continuo apoyo en la ejecución de su trabajo de campo.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Conceptualización: LOD, JCG y CCR; metodología: LOD y CCR; análisis formal: CCR, JCG y MAV; investigación: CCR, JCG y LOD; redacción - preparación del borrador original: CCR, JCG y LOD; redacción - revisión y edición: todos los autores. Todos los autores han leído y aceptado la versión final del manuscrito. Claudio Crespo-Ramírez: CCR. Jorge Córdova-González: JCG. Miguel Alcoser-Villagómez:

MAV. Leonardo Ordoñez-Delgado: LOD.

REFERENCIAS

- Ahlman, R. (2020). Purple Gallinule *Porphyrio martinica* - photography. ML209183171. The Cornell Lab of Ornithology - Macaulay Library. <https://macaulaylibrary.org/asset/209183171>
- Alonso, J. A., Whitney, B. M. (2003). New Distributional Records of Birds From White-Sand Forests of the Northern Peruvian Amazon, With Implications for Biogeography of Northern South America. *The Condor*, 105(3), 552–566. <https://doi.org/10.1093/condor/105.3.552>
- Angulo, P. (2022). Southern Lapwing *Vanellus chilensis* - photography. ML461991161. The Cornell Lab of Ornithology - Macaulay Library. <https://macaulaylibrary.org/asset/461991161>
- Arendt, W. J. (1988). Range Expansion of the Cattle Egret (*Bubulcus ibis*) in the Greater Caribbean Basin. *Colonial Waterbirds*, 11(2), 252. <https://doi.org/10.2307/1521007>
- Aronson, M. F. J., Patel, M. V., O'Neill, K. M., Ehrenfeld, J. G. (2017). Urban riparian systems function as corridors for both native and invasive plant species. *Biological Invasions*, 19(12), 3645–3657. <https://doi.org/10.1007/s10530-017-1583-1>
- Athanas, N., Greenfield, P. (2016). *Birds of western Ecuador: A photographic guide*. Princeton University Press.
- Ávila, D. (2022a). Anhinga Anhinga anhinga - photography. ML492738431. The Cornell Lab of Ornithology - Macaulay Library. <https://macaulaylibrary.org/asset/492738431>
- Ávila, D. (2022b). Purple Gallinule *Porphyrio martinica* - photography. ML514809661. The Cornell Lab of Ornithology - Macaulay Library. <https://macaulaylibrary.org/asset/514809661>
- Ávila, D. (2022c). Sungrebe *Heliornis fulica* - photography. ML481409341. The Cornell Lab of Ornithology - Macaulay Library. <https://macaulaylibrary.org/asset/481409341>
- Blancas-Calva, E., Blancas-Hernández, J. C., Castro-Torreblanca, M., Cano-Nava, G. A. (2017). La tángara azul gris (*Thraupis episcopus*) en el estado de Guerrero, México. *Huitzil Revista Mexicana de Ornitología*, 18(2). <https://doi.org/10.28947/hrmo.2017.18.2.283>
- Buitrón-Jurado, G., Freile, J. (2006). Registros inusuales de aves migratorias y de bosques subtropicales en Quito, Ecuador. *Cotinga*, 26, 54–56.
- Carrasco, A. (2019). Fork-tailed Flycatcher *Tyrannus savana* - photography. ML179410671. The Cornell Lab of Ornithology - Macaulay Library. <https://macaulaylibrary.org/asset/179410671>
- Castillo, F. (2017). Ruddy Ground Dove *Columbina talpacoti* - photography. ML94989391. The Cornell Lab of Ornithology - Macaulay Library. <https://macaulaylibrary.org/asset/94989391>
- Castillo, F. (2018a). Anhinga Anhinga anhinga - photography. ML94926261. The Cornell Lab of Ornithology - Macaulay Library. <https://macaulaylibrary.org/asset/94926261>
- Castillo, F. (2018b). Ruddy Ground Dove *Columbina talpacoti* - photography. ML100824751. The Cornell Lab of Ornithology - Macaulay Library. <https://macaulaylibrary.org/asset/100824751>
- Castillo, F. (2019). Anhinga Anhinga anhinga - photography. ML153559901. The Cornell Lab of Ornithology - Macaulay Library. <https://macaulaylibrary.org/asset/153559901>
- Castillo, F. (2020). Anhinga Anhinga anhinga - photography. ML225976011. The Cornell Lab of Ornithology - Macaulay Library. <https://macaulaylibrary.org/asset/225976011>
- Castillo, F. (2021a). Purple Gallinule *Porphyrio martinica* - photography. ML325631841. The Cornell Lab of Ornithology - Macaulay Library. <https://macaulaylibrary.org/asset/325631841>
- Castillo, F. (2021b). Purple Gallinule *Porphyrio martinica* - photography. ML331714841. The Cornell Lab of Ornithology - Macaulay Library. <https://macaulaylibrary.org/asset/331714841>
- Castillo, F. (2021c). Southern Lapwing *Vanellus chilensis* - photography. ML296010491. The Cornell Lab of Ornithology - Macaulay Library. <https://macaulaylibrary.org/asset/296010491>
- Castillo, F. (2022a). Purple Gallinule *Porphyrio martinica* - photography. ML408604431. The Cornell Lab of Ornithology - Macaulay Library. (linkunavailable)
- Castillo, F. (2022b). Ruddy Ground Dove *Columbina talpacoti* - photography. ML500785581. The Cornell Lab of Ornithology - Macaulay Library.
- Castillo, F. (2022c). Tropical Screech-Owl *Megascops choliba* - photography. ML407531791. The Cornell Lab of Ornithology - Macaulay Library. <https://macaulaylibrary.org/asset/407531791>
- Chapman, F. (1926). The distribution of bird-life in Ecuador. A contribution to a study of the origin of Andean bird-life. Volume LV. *Bulletin of The American Museum of Natural History*. <https://macaulaylibrary.org/asset/407531791>
- Cisneros-Heredia, D. F. (2006). Aves, *Podilymbus podiceps*, *Ardea alba*, *Egretta thula*, *Nycticorax nycticorax*, *Ixobrychus exilis*, *Porzana carolina*, *Porphyrola martinica*, *Gallinula chloropus*, *Phalaropus tricolor*, *Vanellus resplendens*: Distribution extensions, filling gaps, historical occur. *Check List*, 2(1), 27. <https://digitallibrary.amnh.org/handle/2246/1244>

- Cordonnier, M., Gibert, C., Bellec, A., Kaufmann, B., Escarguel, G. (2019). Multi-scale impacts of urbanization on species distribution within the genus *Tetramorium*. *Landscape Ecology*, 34(8), 1937–1948. <https://doi.org/10.1007/s10980-019-00842-7>
- Córdova-González, J., Platt, M., Ordóñez-Delgado, L. (2023). Guía Fotográfica de las aves de la Hoya de Loja, Andes sur de Ecuador (Fieldguide No 1563). The Field Museum, 28. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.10307.07206>
- Correia, L. (2020). Ruddy Ground Dove *Columbina talpacoti* - photography. ML380193011. The Cornell Lab of Ornithology - Macaulay Library. <https://doi.org/10.4067/S0717-66432006000100006>
- Crisci, J. V. (2006). Espejos de nuestra época: Biodiversidad, sistemática y educación. *Gayana. Botánica*, 63(1). <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2004.00983.x>
- Cruz-Angón, A., Greenberg, R. (2005). Are epiphytes important for birds in coffee plantations? An experimental assessment. *Journal of Applied Ecology*, 42(1), 150–159. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2022.01.001>
- de Meyer, A. P. R. R., Ortega-Andrade, H. M., Moullet, G. M. (2022). Assessing the conservation of eastern Ecuadorian cloud forests in climate change scenarios. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 20(2), 159–167. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2022.01.001>
- Feldman, M. J., Imbeau, L., Marchand, P., Mazerolle, M. J., Darveau, M., Fenton, N. J. (2021). Trends and gaps in the use of citizen science derived data as input for species distribution models: A quantitative review. *PLOS ONE*, 16(3), e0234587. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0234587>
- Freeman, B. G., Scholer, M. N., Ruiz-Gutierrez, V., Fitzpatrick, J. W. (2018). Climate change causes upslope shifts and mountaintop extirpations in a tropical bird community. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(47), 11982–11987. <https://doi.org/10.1073/pnas.1804224115>
- Freile, J. F., Restall, R. (2018). *Birds of Ecuador*. Helm Field Guides, Bloomsbury Publishing. Edición de Kindle.
- Freile, J. F., Santander, T., Carrasco, L., Cisneros-Heredia, D. F., Guevara, E., Sánchez-Nivicela, M., Tinoco, B. (2019). Lista roja de las aves del Ecuador continental. Ministerio del Ambiente, Aves y Conservación, Comité Ecuatoriano de Registros Ornitológicos, Universidad del Azuay, Red Aves Ecuador y Universidad San Francisco de Quito.
- Freile, J. F., Ron, K., Paredes, T., Onofa, A., Pardo-González, A., Ordóñez-Delgado, L. (2022). Guía para conocer e implementar corredores de conectividad en Ecuador. ProAmazonía, Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, Universidad Técnica Particular de Loja. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.23733.86248>
- Freile, J. F., Greeney, H. F., & Bonaccorso, E. (2014). Current Neotropical ornithology: Research progress 1996–2011. *The Condor*, 116(1), 84–96. <https://doi.org/10.1650/CONDOR-12-152-R1.1>
- Freile, J. F., Krabbe, N., Piedrahita, P., Buitrón-Jurado, G., Rodríguez-Saltos, C. A., Ahlman, F., Brinkhuizen, D. M., & Bonaccorso, E. (2014). Birds, Nangaritza River Valley, Zamora Chinchipe Province, southeast Ecuador: update and revision. *Check List*, 10(1), 54. <https://doi.org/10.15560/10.1.54>
- Freile, J. F., Piedrahita, P., Buitrón-Jurado, G., Rodríguez, C. A., & Bonaccorso, E. (2013). Aves de los Tepuyes de la Cuenca Alta del Río Nangaritza, Cordillera del Cóndor. In J. M. Guayasamin & E. Bonaccorso (Eds.), *Evaluación Ecológica Rápida de la Biodiversidad de los Tepuyes de la Cuenca Alta del Río Nangaritza, Cordillera del Cóndor, Ecuador*. RAP Boletín de Evaluación Ecológica Rápida 58. (pp. 63–75). Conservación Internacional. <https://doi.org/10.1896/054.058.0108>
- Freile, J. F., Solano-Ugalde, A., Brinkhuizen, D. M., Greenfield, P. J., Lysinger, M., Nilsson, J., Navarrete, L., & Ridgely, R. S. (2017). Rare Birds in Ecuador: Third report of the Committee for Ecuadorian Records in Ornithology (CERO). *Revista Ecuatoriana de Ornitología*, 1, 8–27. <https://doi.org/10.18272/reo.v0i1.446>
- García Solsol, L. A., Tuesta Cometivos, G. A., Ferreyra Vela, F. R., Bernuy Pinedo, L. A., Díaz Alván, J., García, L., Tuesta, G., Ferreyra, F., Bernuy, L., & Díaz, J. (2021). Registros documentados del Chirigüe Azafranado (*Sicalis flaveola* Linnaeus, 1766; Aves: Thraupidae) en Loreto, Perú. *Ciencia Amazónica (Iquitos)*, 9(1), 123–131. <https://doi.org/10.22386/ca.v9i1.325>
- García Solsol, L. A., Tuesta Cometivos, G. A., Ramírez Arévalo, F. F., Giardenelli, A., & Díaz Alván, J. (2020). Primer registro documentado de la Cigueña Maguari (*Ciconia maguari* Gmelin, 1789; Aves: Ciconiidae) en Loreto, Perú. *Ciencia Amazónica (Iquitos)*, 8(2), 265–272. <https://doi.org/10.22386/ca.v8i2.302>
- Gradstein, S., Homeier, J., & Gansert, D. (2008). *The Tropical Mountain Forest: Patterns and Processes in a Biodiversity Hotspot*. (S. Gradstein, J. Homeier, & D. Gansert (eds.)). Universitätsverlag Göttingen.
- Hayes, F. E., & Sewlal, J. N. (2004). The Amazon River as a dispersal barrier to passerine birds: effects of river width, habitat and taxonomy. *Journal of Biogeography*, 31(11), 1809–1818. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2004.01139.x>
- Hernández Mora, G., Vásquez Mora, W. L., Fong Rengifo, E., Rojas Zamora, R. R., & Acosta Díaz, A. (2022). Registros documentados de la Tórtola Orejuda (*Zenaidura macroura* Des Murs, 1847; Aves: Columbidae) en Loreto – Perú. *Ciencia Amazónica (Iquitos)*, 10(1–2), 127–132. <https://doi.org/10.22386/ca.v10i1-2.365>
- IUCN. (2023). *The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2023-1*. <https://www.iucnredlist.org>

- Jahn, O., Cosgrove, P., Cosgrove, C., Mueses, T., & Santander, T. (2010). First record of Brown Pelican *Pelecanus occidentalis* from the Ecuadorian highlands. *Cotinga*, 32, 108.
- Kleemann, J., Zamora, C., Villacis-Chiluisa, A. B., Cuenca, P., Koo, H., Noh, J. K., Fürst, C., & Thiel, M. (2022). Deforestation in Continental Ecuador with a Focus on Protected Areas. *Land*, 11(2), 268. <https://doi.org/10.3390/land11020268>
- Krabbe, N., & Ahlman, F. L. (2009). Royal Sunangel *Helianthangelus regalis* at Yankuam Lodge, Ecuador. *Cotinga*, 31, 132.
- Larsen, F. W., Bladt, J., Balmford, A., & Rahbek, C. (2012). Birds as biodiversity surrogates: will supplementing birds with other taxa improve effectiveness? *Journal of Applied Ecology*, 49(2), 349–356. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2011.02094.x>
- López-Lanús, B., & Gastezzi, P. (2000). An inventory of the birds of Segua Marsh, Manabí, Ecuador. *Cotinga*, 13, 59–64.
- Maldonado, N. (2002). Clima y vegetación de la región sur del Ecuador. In Z. Aguirre, J. M. Madsen, E. Cotton, & H. Balslev (Eds.), *Botánica Austroecuatoriana - Estudios sobre los Recursos Vegetales en las Provincias de El Oro, Loja y Zamora-Chinchipe*. (pp. 1–28). Ediciones ABYA YALA.
- Mangash, J. (2021). Ruddy Ground Dove *Columbina talpacoti* - photography. ML382619301. The Cornell Lab of Ornithology - Macaulay Library. <https://macaulaylibrary.org/asset/382619301>
- Mangash, J. (2022). Tropical Screech-Owl *Megascops choliba* - photography. ML459308321. The Cornell Lab of Ornithology - Macaulay Library. <https://macaulaylibrary.org/asset/459308321>
- Martínez-Curci, N. S., Pretelli, M. G., Cavalli, M., Isacch, J. P., & Loredo, M. Á. (2018). First record of Least Sandpiper *Calidris minutilla* for Buenos Aires province and review of its status in Argentina. *Wader Study*, 125(1). <https://doi.org/10.18194/ws.00095>
- McMullan, M., & Navarrete, L. (2013). *Fieldbook of the birds of Ecuador: including the Galápagos Islands*. Fundación de Conservación Jocotoco. <https://www.nhbs.com/title/194879/fieldbook-of-the-birds-of-ecuador>
- Mejia, E. (2023). Blue-winged Teal *Spatula discors* - ML612954018. The Cornell Lab of Ornithology - Macaulay Library. <https://macaulaylibrary.org/asset/612954018>
- Meza Mori, G., Rojas-Briceño, N. B., Cotrina Sánchez, A., Oliva-Cruz, M., Olivera Tarifeño, C. M., Hoyos Cerna, M. Y., Ramos Sandoval, J. D., & Torres Guzmán, C. (2022). Potential Current and Future Distribution of the Long-Whiskered Owllet (*Xenoglaux loweryi*) in Amazonas and San Martín, NW Peru. *Animals*, 12(14), 1794. <https://doi.org/10.3390/ani12141794>
- Ministerio del Ambiente de Ecuador. (2012). Línea de base de deforestación del Ecuador continental. Ministerio del Ambiente y Programa Socio Bosque.
- Mischler, T. (2012). Status, abundance, seasonality, breeding evidence and an updated list of the birds of Cerro Blanco, Guayaquil, Ecuador. *Cotinga*, 34, 60–72.
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., da Fonseca, G. A. B., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(6772), 853–858. <https://doi.org/10.1038/35002501>
- Nebel, S., & Cooper, J. M. (2020). Least Sandpiper (*Calidris minutilla*). In A. F. Poole (Ed.), *Birds of the World*. Cornell Lab of Ornithology. <https://doi.org/10.2173/bow.leasan.01>
- Nilsson, J., Freile, J. F., Ahlman, R., Brinkhuizen, D. M., Greenfield, P. J., & Solano-Ugalde, A. (2014). Aves exóticas en Ecuador: Segundo informe anual del Comité Ecuatoriano de Registros Ornitológicos (CERO). *ACI Avances En Ciencias e Ingenierías*, 6(2). <https://doi.org/10.18272/aci.v6i2.178>
- Ocaña, E. (2019). Ruddy Ground Dove *Columbina talpacoti* - photography ML248793861. The Cornell Lab of Ornithology - Macaulay Library. <https://macaulaylibrary.org/asset/248793861>
- Ordóñez-Delgado, L., González, I., Armijos-Ojeda, D., & Orihuela-Torres, A. (2017). Primer registro de *Ardea cocoi* (Pelecaniformes: Ardeidae) en la región Andina del sur de Ecuador. *CEDAMAZ*, 7(1), 10–15. <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/cedamaz/article/view/368>
- Ordóñez-Delgado, L., López, F., & Reyes-Bueno, F. (2017). Primer registro de Tinamú Serrano *Nothocercus bonapartei* (Tinamiformes: Tinamidae) en la Cordillera del Cóndor, sureste de Ecuador. *Revista Ecuatoriana de Ornitología*, 1, 28–33. <https://doi.org/10.18272/reo.v0i1.487>
- Ordóñez-Delgado, L., Reyes-Bueno, F., Orihuela-Torres, A., & Armijos-Ojeda, D. (2016). Registros inusuales de aves en la hoya de Loja, Andes sur del Ecuador. *ACI Avances En Ciencias e Ingenierías*, 8(1), 26–36. <https://doi.org/10.18272/aci.v8i1.276>
- Ordóñez-Delgado, L., Valle, D., Veintimilla, D., & López, F. (2013). Seminario de Fin de Titulación: Técnicas de muestreo de vertebrados terrestres (Texto Guía). Ediloja Cía. Ltda. Universidad Técnica Particular de Loja.
- Ordóñez-Delgado, L., Vits, C., González, I., & Valle, D. (2018). Registro altitudinal inusual de Zorro Andino *Pseudalopex culpaeus* (Carnívora: Canidae) en el sureste de Ecuador. *ACI Avances En Ciencias e Ingenierías*, 10(1). <https://doi.org/10.18272/aci.v10i1.862>
- Ordóñez-Delgado, L. (2019). Tropical Screech Owl *Megascops choliba* - XC513866. Xeno-Canto Foundation. <https://xeno-canto.org/513866>

- Ordóñez-Delgado, L., Erazo, S., González, I., Armijos-Ojeda, D., & Rosado, D. (2018). *Pyroderus scutatus masoni* (Shaw, 1792) (Aves, Cotingidae): A subspecies of red-ruffed fruitcrow newly confirmed for Ecuador. *Check List*, 14(1). <https://doi.org/10.15560/14.1.281>
- Ordóñez-Delgado, L., & González, I. (2016). Nuevos registros y revisión de la distribución de *Coryphospingus cucullatus* (Thraupidae) en Ecuador: New records and review of the distribution of *Coryphospingus cucullatus* (Thraupidae) in Ecuador. *Ornitología Colombiana*, 2016(15).
- Ordóñez-Delgado, L., González, I., & Cisneros, R. (2017). First record of *Mitu salvini* in Nangaritza watershed, Cordillera del Cóndor, southeast of Ecuador. *Ornitología Colombiana*, 2017(16).
- Ordóñez-Delgado, L., Ramón-Vivanco, C., & Ortiz-Chalan, V. (2019). Revisión Sistemática del Estado del conocimiento de los Vertebrados del Parque Nacional Podocarpus. *La Granja*, 30(2), 7–18. <https://doi.org/10.17163/lgr.n30.2019.01>
- Orihuela-Torres, A., Tinoco, B., Ordóñez-Delgado, L., & Espinosa, C. I. (2020). Knowledge Gaps or Change of Distribution Ranges? Explaining New Records of Birds in the Ecuadorian Tumbesian Region of Endemism. *Diversity*, 12(2), 66. <https://doi.org/10.3390/d12020066>
- Paladines, R. (2016). Fork-tailed Flycatcher *Tyrannus savana* - photography. ML68923101. The Cornell Lab of Ornithology - Macaulay Library. <https://macaulaylibrary.org/asset/68923101>
- Petersson, L. (2013). Collared Plover *Charadrius collaris* - photography. ML205910621. The Cornell Lab of Ornithology - Macaulay Library. <https://macaulaylibrary.org/asset/205910621>
- Posadas, P., Crisci, J., & Katinas, L. (2011). Sistemática y biogeografía en la conservación de la biodiversidad: ejemplos de América del sur austral. In J. Simonetti & R. Dirzo (Eds.), *Conservación Biológica: Perspectivas desde América Latina* (Primera, pp. 109–125). Editorial Universitaria S.A.
- Primack, R., Rozzi, R., Feinsinger, P., Dirzo, R., & Mascardo, F. (2001). *Fundamentos de Conservación Biológica: Perspectivas latinoamericanas*. Fondo de Cultura Económica. México, DF.
- Ramos, S. (2019). Southern Lapwing *Vanellus chilensis* - photography. ML191159401. The Cornell Lab of Ornithology - Macaulay Library. <https://macaulaylibrary.org/asset/191159401>
- Remsen, J. V., Areta, J. I., Bonaccorso, E., Claramunt, S., Del-Río, G., Jaramillo, A., Lane, D. F., Robbins, M. B., Stiles, F. G., & Zimmer, K. J. (2024). A classification of the bird species of South America. American Ornithological Society. Version [January 2024]. <http://www.museum.lsu.edu/~Remsen/SACCBaseline.htm>
- Ridgely, R., & Greenfield, P. (2001). *The Birds of Ecuador. Volume II: Field Guide*. Cornell University Press.
- Ridgely, R., & Greenfield, P. (2006). *Aves del Ecuador: Guía de Campo - Volumen II*. Fundación de Conservación Jocotoco.
- Ridgely, R. S., & Greenfield, P. J. (2001a). *The birds of Ecuador: Status, Distribution and Taxonomy*. Cornell University Press.
- Ridgely, R. S., & Greenfield, P. J. (2001b). *The Birds of Ecuador. Volume II: Field Guide*. Cornell University Press.
- Riis, T., Kelly-Quinn, M., Aguiar, F. C., Manolaki, P., Bruno, D., Bejarano, M. D., Clerici, N., Fernandes, M. R., Franco, J. C., Pettit, N., Portela, A. P., Tammeorg, O., Tammeorg, P., Rodríguez-González, P. M., & Dufour, S. (2020). Global Overview of Ecosystem Services Provided by Riparian Vegetation. *BioScience*, 70(6), 501–514. <https://doi.org/10.1093/biosci/biaa041>
- Rinaldo, A., Gatto, M., & Rodríguez-Iturbe, I. (2018). River networks as ecological corridors: A coherent ecohydrological perspective. *Advances in Water Resources*, 112, 27–58. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2017.10.005>
- Rodríguez-Ruíz, E. R., Garza-Torres, H. A., Ríos-Muñoz, C. A., & Navarro-Sigüenza, A. G. (2011). La distribución geográfica de la tångara azul-gris (*Thraupis episcopus*) en hábitats modificados antropogénicamente en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82(3). <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2011.3.767>
- Rollenbeck, R., & Bendix, J. (2011). Rainfall distribution in the Andes of southern Ecuador derived from blending weather radar data and meteorological field observations. *Atmospheric Research*, 99(2), 277–289. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2010.10.018>
- Romero, C. (2022). Collared Plover *Charadrius collaris* - photography. ML441489881. The Cornell Lab of Ornithology - Macaulay Library. <https://macaulaylibrary.org/asset/441489881>
- Rosselli, L., Stiles, F. G., & Camargo, P. A. (2017). Changes in the avifauna in a high Andean cloud forest in Colombia over a 24-year period. *Journal of Field Ornithology*, 88(3), 211–228. <https://doi.org/10.1111/jfofo.12204>
- Ruiz-Ramos, S., Alegría-Torres, B., Ayapi-Da-Silva, J., & Díaz-Alván, J. (2017). Registro documentado del Avefría Tero (*Vanellus chilensis*) en selva norte del Perú. *Boletín de La Unión de Ornitólogos Del Perú (UNOP)*, 12(1), 15–18.
- Sanchez, M. (2015). Ecuador: Revisión a las principales características del recurso forestal y de la deforestación. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 3(1), 41–54. <https://doi.org/10.26423/rctu.v3i1.70>
- Sangster, G. (2018). Integrative Taxonomy of Birds: The Nature and Delimitation of Species (pp. 9–37). https://doi.org/10.1007/978-3-319-91689-7_2
- Santander, T., Terán, K., Mueces, T., Lara, A., Lluquiñga, C., & Guevara, E. (2011). Registros inusuales de aves costeras en lagunas Altoandinas de Ecuador. *Cotinga*, 33, 105–107.

Sierra, M. (1999). Propuesta preliminar de un sistema de clasificación de vegetación para el Ecuador continental. Proyecto INEFAN/GEF-BIRF, EcoCiencia.

Sierra, R., Calva, O., & Guevara, A. (2021). La Deforestación en el Ecuador, 1990-2018. Factores promotores y tendencias recientes. Ministerio de Ambiente y Agua del Ecuador, Ministerio de Agricultura del Ecuador, en el marco de la implementación del Programa Integral Amazónico de Conservación de Bosques y Producción Sostenible. Quito, Ecuador.

Diseño de un molino de bolas con la finalidad de realizar pruebas de molienda del material mineralizado proveniente de la región sur del Ecuador

Designing a ball mill with the purpose of conducting grinding tests on the mineralized material from the southern region of Ecuador

Hernan Luis Castillo García^{1,*}, Stive Cajas¹, Julio Romero Sigcho¹ y Oscar Estrella Lima¹

¹ Carrera de Ingeniería en Minas, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador

* Autor para correspondencia: hernancastil@yahoo.es

Fecha de recepción del manuscrito: 29/04/2024 Fecha de aceptación del manuscrito: 15/04/2024 Fecha de publicación: 30/06/2024

Resumen—Los objetivos del proyecto comprenden la definición de variables y parámetros pertinentes, la construcción del molino conforme a estos criterios y la validación de su funcionamiento mediante pruebas con muestras reales. Para la validación del equipo, se llevaron a cabo pruebas en el laboratorio de la Universidad Nacional de Loja, utilizando tres muestras provenientes de distintas localidades (Chinapinza, Torata, Santa Isabel), que fueron caracterizadas y se delimitaron sus propiedades índices. Posteriormente, las muestras fueron sometidas a trituración con un tamaño de partícula final (P80) de 3328 micras para realizar pruebas de molienda. En el inicio del proceso de molienda, se pesó el material y se introdujo en el molino de bolas junto con un gradiente determinado y un porcentaje de agua específico (relación 1 material / 1 agua). Se establecieron diferentes tiempos de molienda para realizar el análisis de distribución de tamaños mediante el método de Rosin-Rammler, que proporcionó una información donde el P80 era 80 % de material molido pasante. Además, se llevó a cabo un ensayo de medición de ruido, que reveló que el equipo debe ubicarse en un cuarto cerrado o en un lugar aislado debido a la contaminación acústica que genera, y se recomienda el uso de tapones para los oídos y una mascarilla como Equipo de Protección Personal (EPP). Los resultados obtenidos muestran que el molino logra una eficiencia de molienda satisfactoria en un tiempo de 2 horas. Sin embargo, para mejorar aún más el proceso de molienda y garantizar la calidad de los resultados, se sugiere implementar un gradiente de tamaño de bolas más amplio y establecer procedimientos rigurosos de control de calidad. Estas medidas contribuirán a mejorar la durabilidad, eficacia y consistencia del proceso de molienda, lo que impactará positivamente en el laboratorio de la universidad y en el desarrollo económico y profesional en el área minera.

Palabras clave—Diseño de molino de bolas, Molienda, Material mineralizado, Región sur del Ecuador, Validación del modelo, Medición de ruido, Eficiencia de molienda.

Abstract—The project objectives include defining relevant variables and parameters, constructing the mill according to these criteria, and validating its operation through tests with real samples. For equipment validation, tests were carried out in the UNL university laboratory using three samples from different locations (Chinapinza, Torata, Santa Isabel), which were characterized, and their index properties were delimited. Subsequently, the samples were subjected to crushing with a final particle size (P₈₀) of 3328 microns for grinding tests. At the beginning of the grinding process, the material was weighed and introduced into the ball mill along with a determined gradient and a specific percentage of water (1 material / 1 water ratio). Different grinding times were established to perform the size distribution analysis using the Rosin-Rammler method, which provided information where P₈₀ was 80 % of the passing ground material. Additionally, a noise measurement test was conducted, revealing that the equipment should be located in a closed room or an isolated place due to the acoustic pollution it generates, and the use of earplugs and a mask as Personal Protective Equipment (PPE) is recommended. The results obtained show that the mill achieves satisfactory grinding efficiency in a time of 2 hours. However, to further improve the grinding process and ensure the quality of the results, it is suggested to implement a wider ball size gradient and establish rigorous quality control procedures. These measures will contribute to improving the durability, efficiency, and consistency of the grinding process, positively impacting the university laboratory and the economic and professional development in the mining area.

Keywords—Ball mill design, Grinding, Mineralized material, Southern region of Ecuador, Model validation, Noise measurement, Grinding efficiency.

INTRODUCCIÓN

La industria minera depende en gran medida de la eficacia y precisión de los procesos de conminución y

molienda de minerales, fundamentales para la extracción y procesamiento de minerales valiosos, contribuyendo significativamente al desarrollo económico y social de la región.

Sin embargo, la diversidad de materiales mineralizados en esta área geográfica plantea desafíos únicos en el diseño y operación de equipos.

Reconociendo la conminución como un proceso esencial en la minería, que implica la reducción del tamaño de partículas a través de trituración y/o molienda, este estudio aborda la necesidad de un molino de bolas adaptado a las características específicas del laboratorio para probar materiales mineralizados del sur de Ecuador. El objetivo es desarrollar un diseño de molino de bolas considerando variables, parámetros y condiciones inherentes a los materiales de la región. Esto requiere diversas etapas de investigación y desarrollo, cada una abordando aspectos específicos de diseño, construcción, pruebas y validación.

El presente artículo presentará la identificación y análisis de las condiciones de operación requeridas para la molienda eficiente, ya que servirán como base para definir las variables, parámetros y características que influirán en el diseño y en la construcción del molino de bolas. Además, realizaremos un análisis de las pruebas piloto con muestras representativas. Como última etapa, con toda la información recopilada en el laboratorio en base a las pruebas realizadas aseguramos la validación del equipo ya que cumple con altos estándares de calidad y eficiencia en el laboratorio.

Los objetivos que permitirán el diseño, construcción y validación del molino de bolas para realizar pruebas de molienda del material mineralizado se describen a continuación: **Objetivo General:** Elaborar el diseño del molino de bolas sobre la base de las variables, parámetros y condiciones inherentes a los materiales mineralizados de la región sur del país. **Objetivos Específicos:** Definir las variables, parámetros y características que influyen en la construcción del diseño del molino de bolas en el laboratorio de la carrera de minas, construir el molino de bolas a partir de las variables y parámetros deseados y validación del modelo tomando como base los materiales mineralizados de la región sur del país.

MATERIALES Y MÉTODOS

Con el propósito de diseñar el molino de bolas para realizar pruebas de molienda del material mineralizado proveniente de la región sur del Ecuador, este proyecto plantea tres objetivos específicos. Estos objetivos, mediante las acciones de trabajo detalladas a continuación, han permitido determinar las variables, parámetros y características necesarios para su diseño, construcción y validación, siguiendo el criterio técnico-minero. Se empleó un enfoque metodológico descriptivo y cuantitativo, que abarcó diversas etapas, incluyendo trabajo de campo, laboratorio y análisis de datos en la oficina. Estas actividades sistemáticas se ejecutaron conforme al avance del proyecto, culminando con éxito en el logro de los objetivos planteados.

Recolección de información, variables y características

En la fase inicial, se llevó a cabo una exhaustiva búsqueda y selección de fuentes especializadas relacionadas con molinos en general y molinos de compartimientos múltiples. Se recopilaron artículos científicos, libros y publicaciones técnicas relevantes que aborden aspectos específicos de cada tipo

de molino antes mencionado, con el objetivo de obtener una base sólida de conocimiento para el diseño del equipo.

La revisión bibliográfica ayudó también a seleccionar fuentes especializadas que contengan ecuaciones y modelos matemáticos relacionados con los molinos antes mencionados y ciertas funciones mecánicas. Mediante el análisis de estas ecuaciones y modelos, se determinaron variables y parámetros claves que influyen en el rendimiento y diseño del molino de bolas.

Esta etapa es fundamental, ya que la identificación de variables y parámetros clave para comprender las características únicas de cada tipo de molino que influyen en el diseño y construcción del molino de bolas son:

- Relaciones geométricas
- La velocidad de rotación del molino
- Tipo y tamaño de material a moler
- Sistema de accionamiento
- Sistema de carga y descarga.

Determinación de las variables y parámetros claves

La evaluación permitió determinar las variables y parámetros clave que influyen significativamente en el rendimiento y diseño de los molinos, tales como la velocidad de rotación (N), el diámetro del tambor (Dm) y la carga de bolas (Cb).

Además, se consideraron parámetros relacionados con la eficiencia de molienda, la capacidad de carga, el consumo de energía y la durabilidad del molino. Para lo cual, en la identificación de variables y parámetros para el diseño tenemos:

- Variables: Diámetro del molino (D), longitud del molino (L), carga de bolas (C), tamaño máximo de alimentación (d_{max}), transmisión óptima, entre otros.
- Variables físicas: Velocidad de rotación (N), diámetro del tambor (Dm), carga de bolas (Cb), eficiencia de molienda (E_m), y potencia requerida para la operación (P_{requerida}).
- Parámetros: Potencia requerida (P), capacidad de molienda (Q), tamaño de partícula final deseado (d₅₀ o P₅₀), eficiencia de molienda (E), carga circulante (CC).

Cabe recalcar que se destacarán aspectos como la eficiencia energética, la capacidad de molienda, la distribución de tamaños de partículas resultante, su sistema de carga y descarga, su capacidad y otras cualidades que puedan aportar al diseño del molino de bolas.

Selección de materiales

En la selección adecuada de los materiales y componentes que se consideraron para la construcción del molino de bolas implicó tener en cuenta durabilidad, rigidez y otras propiedades relevantes de los componentes, como su sistema de accionamiento.

Para ello se tuvo en cuenta lo siguiente:

- Materiales adecuados para los componentes clave del molino de bolas, como material del cilindro y las bolas de molienda.

Tabla 1: Fórmulas de variables y parámetros de molienda

✓ Potencia teórica necesaria $P_t = 12.5 * H$	✓ Potencia real necesaria $P = P_t + 20\% * P_t$	✓ Velocidad crítica $V_c = \frac{42.3}{\sqrt{D(m)}}$
✓ Grado de llenado (húmedo) Grado de Llenado = (Volumen de bolas dentro del molino) (Volumen total del molino)	✓ Grado de llenado $J = 1.13 - 1.22 \left(\frac{H}{D}\right) \%$	✓ Energía de bond $E_b = 10 * w_i \left(\frac{1}{\sqrt{F_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{F_{200}}}\right)$
✓ Potencia absorbida y útil $P_a = EB * Q$	✓ Diámetro de las tapas $D_t = D + 2f$	✓ Dimensiones de las tapas del tambor $D_t = D + 2f$
✓ Volumen real del tambor $V_{rm} = \frac{\pi s D^2 * L}{4}$	✓ Velocidad crítica por transmisión $m \cdot \frac{V^2}{R} = m \cdot g \cdot \cos(\alpha)$	✓ Comprobación de la Velocidad crítica $\frac{\varphi_{p1}}{\varphi_{p2}} = \frac{\varphi_{p1}}{\varphi_{p2}}$
✓ Torque efectuado en el eje del cilindro $\tau_s = \frac{P_{ot p1} \cdot \eta^2}{\omega_A}$	✓ Volumen que ocupa las Bolas y el Mineral $V_r = 0.5 \cdot V_c = 0.5 \cdot \pi \cdot r_c^2 \cdot l$	✓ Peso que ejerce el Material Ingresado al Cilindro $F_T = V_M \cdot V_T + V_B + V_A \cdot V_A$
✓ Torque máximo que se va a aprovechar $\tau_A = F_T \cdot r_G$	✓ Potencia máxima que se va a aprovechar $P_{ot p2} = \frac{\tau_A \cdot \omega_A \cdot F_S^2}{\eta^2}$	✓ Número de correas o bandas $z_{c1} = \frac{P_{ot p2}}{P_{ot c1}}$

Fuente: Tomado de (Amores Balseca & Maldonado Bernabé, 2019)

- Materiales para la construcción del molino de bolas: Se seleccionaron materiales adecuados que pueden incluir acero inoxidable, acero al carbono, acero al manganeso, material de oleoducto, cerámica, polímeros y otros.

nera eficiente y efectiva, evitando retrasos y asegurando la calidad del resultado final.

Tabla 2: Lista de componentes

Elemento	Cantidad	Nº de pieza
1	1	Base de la máquina
2	1	Base del motor
3	1	Pasador de base motor
4	2	SKF SY 1.1/2 FM
5	1	Correa A53
6	2	SKF SY 1 TR
7	1	Correa A47
8	1	Motor S6 right
9	1	Regulación del motor
10	1	Eje medio
11	1	Polea escalonada
12	3	Poleas
13	2	Chaveta eje medio
14	1	Tornillo de sujeción
15	1	Caucho tapa del cilindro
16	1	Polea 1.1.

Diseño y dimensionamiento del molino de bolas

En la fase de selección de características para el diseño del molino de bolas, se llevó a cabo un análisis exhaustivo de las ecuaciones y modelos matemáticos generales asociados a distintos tipos de molinos.

Posteriormente, se emplearon métodos matemáticos para determinar las dimensiones y especificaciones óptimas del equipo con la intención de maximizar la capacidad de molienda (Q) y la eficiencia del molino de bolas, asegurando un diseño eficiente y seguro. En este proceso, considerando factores como la velocidad de rotación (N), el diámetro del tambor (D) y la carga de bolas (Cb).

Para llevar a cabo el diseño, se emplearon herramientas CAD que facilitaron la creación de modelos en 3D, planos técnicos y simulaciones como son: AUTOCAD, Inventor y Solidworks.

Cálculo modelado de parámetros y variables

Se utilizó ecuaciones y modelos matemáticos para diámetro del tambor, volumen del tambor, velocidad de rotación, transmisión óptima, entre otros. Estos cálculos proporcionarán datos fundamentales para el análisis de comportamiento y rendimiento del molino de bolas.

Para la obtención de las variables y parámetros se deben aplicar fórmulas, las cuales tenemos en la Tabla 1.

Selección y lista de componentes para la construcción

Durante esta fase, se realizó un proceso detallado para identificar y elegir los componentes necesarios para la construcción del molino de bolas. Esto implicó una evaluación exhaustiva de los requisitos del diseño y las especificaciones técnicas, así como la investigación y selección de los componentes adecuados, una vez seleccionados, se elaboró una lista detallada de todos los componentes necesarios, lo que sirvió como guía durante la fase de construcción.

Este proceso garantizó que se dispusiera de todos los elementos necesarios para llevar a cabo la construcción de ma-

Organización y verificación de componentes

Los componentes del molino de bolas se organizaron de acuerdo con los subconjuntos y etapas de ensamblaje previamente definidas en los planos técnicos. Cada componente fue minuciosamente verificado en términos de calidad y especificaciones, utilizando medidas precisas para asegurar la compatibilidad y la alineación correcta.

Montaje, integración y calibración

Con los componentes previamente verificados, se procedió al montaje y la integración en una secuencia planificada. Se prestó especial atención a la correcta disposición y conexión de sistemas interdependientes, como los mecanismos de transmisión y rodamientos. Mediante mediciones precisas y comparaciones con los valores teóricos, se aseguró que cada elemento estuviera optimizado para lograr un rendimiento óptimo, además la conformidad con los planos técnicos y las especificaciones fue rigurosamente evaluada, y se tomaron medidas adicionales para asegurar la precisión de las uniones.

Caracterización de las muestras provenientes de la región sur

Para llevar a cabo esta validación, se obtuvieron muestras representativas de los materiales mineralizados de la región. Estas muestras se sometieron a ensayos de laboratorio para conocer sus propiedades índices.

- Contenido de humedad:

$$CH = \frac{W - W_{SECO}}{W_{SECO}} \times 100$$

- Porosidad eficaz:

$$n_e = \frac{W_{sat} - W_{SECO}}{W_{sat} - W_{sumergido}}$$

- Peso específico aparente:

$$p_a = \frac{W_{SECO}}{W_{sat} - W_{sumergido}} \times p_w$$

- Peso específico real:

$$p_r = \frac{W_{pulverizada}}{W_2 - W_{pulverizada} - W_1} \times p_w$$

- Porosidad:

$$n = \left(1 - \frac{p_a}{p_r}\right) \times 100$$

- Porosidad cerrada:

$$n_c = n - n_e$$

- Coeficiente de absorción:

$$C_{abs} = \frac{W_{sat} - W_{SECO}}{W_{SECO}} \times 100$$

- Módulo de saturación:

$$M_{sat} = \frac{n_e}{n} \times 100$$

Preparación de las muestras para las pruebas de molienda

Para la etapa de preparación de muestras, se emplearon muestras de material mineralizado provenientes de la región sur del país, con un total aproximado de 4 a 6 kg por cada muestra de mineral. Las muestras de mineral seleccionadas se sometieron a operaciones mecánicas de reducción de tamaño con el fin de obtener el tamaño adecuado para la alimentación del molino de bolas. También se realizó el análisis y caracterización de la distribución del tamaño de las partículas, para lo cual se usó el método Rosin-Rammler con las siguientes fórmulas (ver Tabla 3.):

Preparación para las pruebas de molienda

- **Paso 1: Preparación del molino de bolas**

Se verificó que el molino estuviera ensamblado correctamente y que los componentes estuvieran en óptimas condiciones. El molino de bolas se preparó con todos los accesorios y complementos necesarios para los ensayos, teniendo en cuenta la tensión de las bandas y la lubricación de los rodamientos para garantizar un funcionamiento óptimo del equipo.

Tabla 3: Rosin-Rammler

✓ Retenido %	✓ Retenido Acumulado
$Ret \% = \frac{Masa\ retenida\ tamiz}{Peso\ total} \times 100$	$Ret\ acumulado \% = Ret\ acumulado + Ret\ \%$
✓ %AC (%) F(d) F(d)AC = 100 - Ret acumulado	1/(1-f(d)/100)
✓ Y lnln(...) lnln(...)=Y · lnln($\frac{1}{1-f(d)/100}$)	X ln(d) =ln(tamaño en micras del tamiz)
$\%F(d) = \left(1 - \exp\left(-\left(\frac{Tamaño\ en\ micras}{d^*}\right)^M\right)\right) \times 100$	

- **Paso 2: Establecimiento del Procedimiento**

Se desarrolló un procedimiento operativo estándar (SOP, por sus siglas en inglés) exhaustivo y detallado para estandarizar la ejecución de los ensayos cuantitativos. Este protocolo incluyó la descripción precisa de cada paso a seguir, la identificación de los instrumentos y equipos necesarios, así como los criterios de evaluación y los estándares de calidad exigidos para la validación de los resultados.

- **Paso 3: Ejecución de los Ensayos**

Bajo las directrices previamente definidas en el protocolo y asegurando la coherencia y la fiabilidad de los datos obtenidos a lo largo del proceso experimental de desarrollo este paso. Se incluyó resultados de medición, tiempo de molienda, velocidad de rotación y otras variables relevantes. A continuación, se presenta el listado de los ensayos que se realizaron para la validación del molino de bolas:

- Ensayo de eficiencia de molienda
- Ensayo de distribución de tamaños
- Medición del ruido

Descripción de los ensayos realizados

- **Ensayo 1: Ensayo de eficiencia de molienda**

Este ensayo se realizó para medir la eficiencia del molino en la reducción del tamaño del material de prueba. Se registraron con precisión los tiempos de molienda requeridos para alcanzar un tamaño de partícula específico, calculando la eficiencia en función del tiempo y la energía consumida durante el proceso de molienda

Pasos seguidos para la realización del ensayo:

- Establecimiento de condiciones experimentales:** Se definieron las condiciones experimentales para el ensayo, incluyendo la carga de bolas, la velocidad de rotación del molino, el tiempo de molienda y el tamaño de alimentación del material. Estas condiciones se seleccionaron cuidadosamente para simular las condiciones operativas reales del molino construido en un entorno de laboratorio controlado.
- Preparación de la muestra:** Se preparó una muestra del material a moler con una granulometría específica. La granulometría de alimentación pudo haber tenido un impacto significativo en la eficiencia de molienda.

- C. **Pesado de la muestra:** Se pesó la cantidad deseada de material a moler con la balanza analítica.
- D. **Carga del molino:** Se introdujo la muestra y las bolas de molienda en el molino de bolas.
- E. **Inicio de molienda y tiempo de molienda:** Se encendió el molino de bolas y se definió un tiempo de molienda adecuado para el material a evaluar. El tiempo de molienda fue de 2 horas donde se hicieron intervalos de medición cada 15 minutos, esto podría variar según la dureza del material y la finura deseada.
- F. **Descarga del material molido:** Se detuvo el molino en los intervalos establecidos y se descargó parte del material molido.
- G. **Tamizado:** Se tamizó el material molido utilizando tamices de diferentes aberturas para clasificar las partículas según su tamaño y tiempo de molienda.
- H. **Pesado de las fracciones:** Se pesaron las fracciones de material retenidas en cada tamiz.
- I. **Cálculo de la eficiencia de molienda:** Se utilizó el método de Índice de Bond para calcular la eficiencia de molienda.
- J. **Análisis estadístico:** Se realizó un análisis estadístico de los resultados para determinar si existe una diferencia significativa en la eficiencia de molienda con los intervalos de tiempo.
- E. **Secado del material:** Como el material molido presentaba humedad, se debió secar en un horno a una temperatura adecuada hasta alcanzar un peso constante.
- F. **Selección de tamices:** Se seleccionó una serie de tamices con aberturas que cubrieran el rango de tamaños de partículas de interés para el análisis, siendo el último tamiz de malla 200.
- G. **Pesado de la muestra:** Se pesó una cantidad precisa de material molido con la balanza analítica.
- H. **Tamizado y pesado de las fracciones:** Se colocó la muestra de material molido sobre la serie de tamices previamente seleccionados y se agitó manualmente o con un tamizador mecánico durante un tiempo determinado. Se pesaron las fracciones de material retenidas en cada tamiz.
- I. **Cálculo de la distribución granulométrica:** Se calculó el porcentaje de material retenido en cada tamiz y se graficó la distribución granulométrica.

Ensayo 2: Ensayo de Distribución de Tamaños

Se realizó un ensayo para medir la distribución de tamaños de partículas del material molido utilizando la técnica de análisis granulométrico. Se determinó con precisión el porcentaje de material contenido en diferentes rangos de tamaño, lo que proporcionó información crucial sobre la uniformidad y la consistencia del producto final obtenido.

Pasos seguidos para la realización del ensayo:

- A. **Selección del material de prueba:** Se seleccionó una cantidad de muestra representativa del material mineralizado proveniente de la región sur del Ecuador (3 kg).
- B. **Carga del molino:** Se cargó el molino de bolas con la cantidad de muestra de material mineralizado previamente señalada y un número determinado de bolas de molienda. La proporción entre el material y las bolas, así como la carga total del molino, se determinaron de acuerdo con las dimensiones del diseño establecido.
- C. **Establecimiento de condiciones experimentales:** Se definieron las condiciones experimentales para el análisis granulométrico, incluyendo la velocidad de rotación del molino, el tiempo de molienda y el tamaño de alimentación del material. Estas condiciones se seleccionaron cuidadosamente para simular las condiciones operativas reales del molino en un entorno de laboratorio controlado.
- D. **Extracción y análisis de la muestra:** Una vez completado el tiempo de molienda especificado, se detuvo el molino y se extrajo una muestra del material molido.

Ensayo 3: Medición nivel de ruido

- A. **Selección y Calibración del Equipamiento:** Se seleccionó el sonómetro del laboratorio de la universidad (Extech 407750) que cumple con las especificaciones y normativas pertinentes. Antes de las mediciones, se calibró el sonómetro utilizando un calibrador acústico certificado para asegurar su precisión.
- B. **Ubicación Estratégica:** Se seleccionó la ubicación de medición de acuerdo con los objetivos del estudio. Se consideraron la distancia a la fuente de ruido, la geometría del entorno y la posible presencia de obstáculos que pudieran influir en la propagación del sonido.
- C. **Medición del Nivel de Ruido:** Se llevó a cabo la medición del nivel de ruido en decibeles (dB) en dos partes: la primera cuando inicia la molienda y la otra cuando termina la molienda, en intervalos de 3 minutos, luego se registraron tanto el nivel máximo como el mínimo de ruido.
- D. **Análisis y Procesamiento de Datos:** Una vez completadas las mediciones, se procedió al análisis de los datos recopilados. Esto incluyó el cálculo promedio de los niveles tanto máximos como mínimos del nivel de ruido.
- E. **Interpretación de Resultados:** Se evaluó si los niveles de ruido y se identificaron posibles acciones correctivas o medidas de mitigación si era necesario.

RESULTADOS

Cálculos de las variables, parámetros y características

Tambor

Se inició con la parte más importante de la máquina el cual es el tambor, este fue pensado y diseñado como se indica en la Figura 1 para moler una cantidad de material mayor a 3 kg, el material del tambor es un tubo de vapor para oleoductos

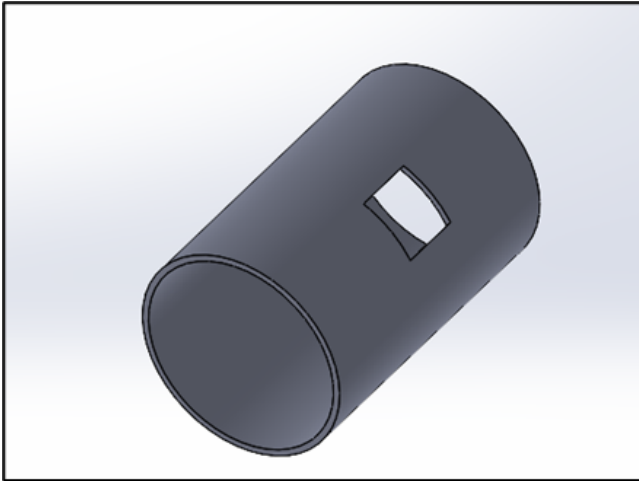


Fig. 1: Depresión como rasgo por género
Nota: Elaborado por el autor.

conocido como API 5L X52 (los tubos de vapor para oleoductos suelen estar fabricados con acero al carbono o aleaciones de acero con ciertas características para resistir altas temperaturas y presiones), el cual es una aleación de acero al carbono con una composición química:

- Carbono (C): 0.16 % - 0.45 %
- Manganeso (Mn): 1.40 % - 1.65 %
- Fósforo (P): máximo 0.025 %
- Azufre (S): máximo 0.015 %
- Silicio (Si): 0.40 % - 0.60 %

Además, pueden existir trazas de otros elementos como vanadio (V), niobio (Nb), titanio (Ti) u otros para mejorar propiedades específicas.

Espesor del tambor

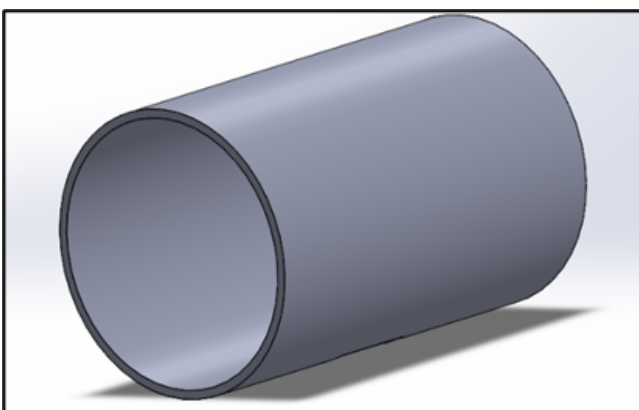


Fig. 2: Vista en alzado del tambor para evidenciar el espesor
Nota: Elaborado por el autor.

La necesidad de determinar el grosor del tambor se fundamentó en su capacidad para resistir las fuerzas generadas durante el proceso de molienda. Tras un análisis exhaustivo, se estableció que un grosor de 12 mm resultaba óptimo desde una perspectiva económica y técnica debido a que proporciona la resistencia mecánica necesaria para soportar las cargas

generadas durante la operación del tambor sin deformaciones excesivas ni fallos estructurales. Además, este grosor ayuda a distribuir de manera uniforme los esfuerzos, minimizando los puntos de tensión concentrada y reduciendo el riesgo de fracturas o fisuras, conociendo todo ello se puede realizar su diseño como se indica en la Figura 2.

Volumen real del tambor

$$V_m = \frac{\pi \times D^2 \times L}{4}$$

Donde:

- V_m : Volumen en metros cúbicos (m^3)
- D : Diámetro en metros (m)
- L : Longitud en metros (m)

$$V_m = \frac{\pi \times (0,32)^2 \times 0,52}{4}$$

$$V_m = 0,041 m^3$$

Dimensionamiento de las tapas del tambor

Tapa de tambor

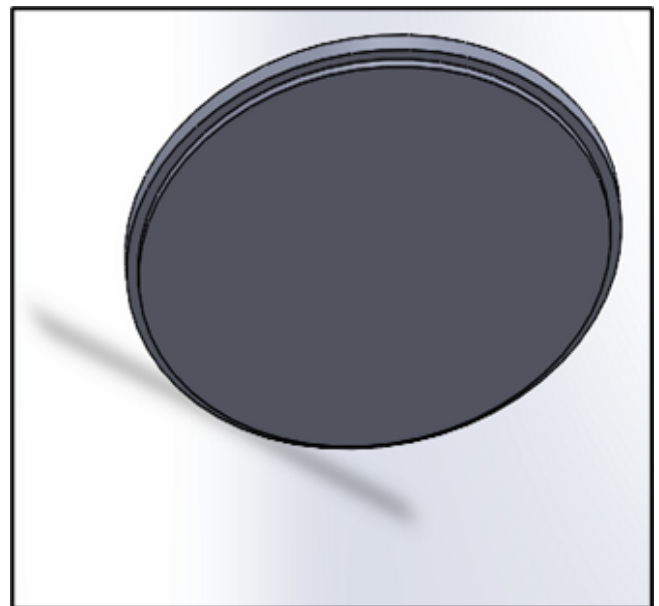


Fig. 3: Vista en alzado del tambor para evidenciar el espesor
Nota: Elaborado por el autor.

Para el diámetro de las tapas del tambor se utilizó la siguiente fórmula:

$$D_t = D + 2f$$

Donde:

- D_t : diámetro de las tapas del tambor en cm
- D : diámetro interior del tambor en cm
- f : espesor en m

$$D_t = 0,29 + 2 \times 0,015D_t = 0,32 m = 32 cm$$

Grado de llenado

Dado que el grado de llenado fluctúa entre 0,20 y 0,45, es fundamental seleccionar un porcentaje óptimo de llenado, para lo cual nos vamos a guiar de la siguiente forma:

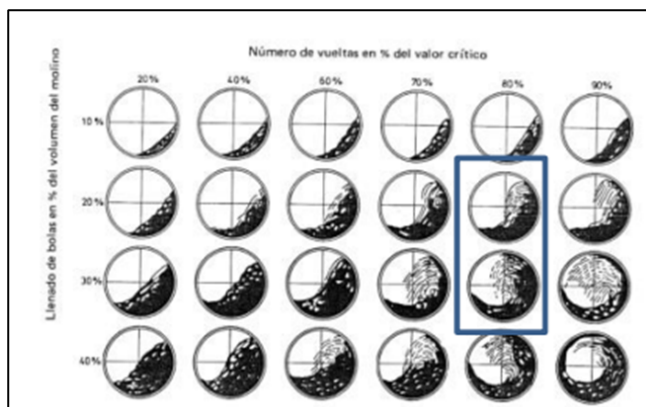


Fig. 4: Determinación del grado de llenado
Fuente: (Cevallos Villavicencio & Caiza López, 2019)

En teoría, se busca generar un sistema de cascada dentro del molino, por eso se elige una velocidad crítica del 80 % y un grado de llenado del 0,25-0,26 como se indica en la figura 4. Esta combinación según pruebas parece ofrecer una capacidad de respuesta óptima para lograr el sistema deseado.

Datos generales del molino Los datos generales del molino diseñado se los a recopilado en la Tabla 4.

Tabla 4: Datos Generales del Molino

Parámetro	Valor
Largo	32 cm
Diámetro	52 cm
Volumen real	0.041 cm ³
Velocidad Crítica	73.125 rpm
DK	26%
%C de llenado	30%
Mb masa de bolas	0.061 tn (60.657 kg)
Volumen del cilindro	44475.53 cm ³
Área de las bases	855.30 cm ²
Radio	16.5 cm

Nota: Elaborado por el autor

Gradiente de molienda

Visualizar la Tabla 5.

Tabla 5: Gradiente calculada del Molino

Gradiente	Bola (in)	Tamaño Intermedio	%DB	% Retenido
Tamaño de bola óptimo (Xo)	3.5	1.87	8.03	91.97
Tamaño de bola final (Xf)	0.68	1.22	1.36	6.67
Masa de bolas (kg)	60.66	0.82	0.17	1.19
	0.68	0.00	0.17	
TOTAL				99.83

Nota. Elaborado por el autor

Potencia teórica necesaria

Los molinos con el grado de llenado y velocidad crítica adecuados, se puede determinar mediante la siguiente for-

mula:

$$Pt = 12,5H$$

Dónde:

P_t : potencia teórica necesaria en CV

H : peso neto total de la carga [ton]

$$Pt = 12,5 \times 0,0475 \text{ ton}$$

$$Pt = 0,60 \text{ CV}$$

$$Pt \approx 0,59 \text{ HP}$$

Potencia real necesaria Los molinos de bolas necesitan una potencia adicional del 15 % al 20 %. Esto significa que, dependiendo de los grados de llenado, el molino requerirá entre un 6 % y un 11 % más de la potencia teórica real para su funcionamiento

$$P = P_t + 20 \% \cdot P_t$$

$$P = 0,59 + 0,118$$

$$P = 0,708 \text{ HP}$$

Como en el mercado no se encuentran motores de 0.708 HP se procede a escoger un motor bajo norma el cual es de 3/4 HP. Siendo seleccionado un motor monofásico eléctrico con entrada de 110 y 220 V.

Selección de la transmisión

La elección entre bandas o cadenas como sistemas de transmisión para este tipo de molino implica tener en cuenta que las bandas tienden a presentar una eficiencia que disminuye de alrededor del 98 % a un 93 %, además de que su implementación es más barata comparado con el de cadena. Llegando a la conclusión en base a sus características, se va a utilizar una transmisión por banda que funcionará con tres poleas usadas de la siguiente manera:

- Una polea escalonada de 2, 3 y 4 pulgadas, la cual va unida al segundo eje junto a otra polea más grande
- Una polea de 3 ½ pulgadas, la cual va unida directamente al motor
- Una polea de 12 pulgadas unida directamente a un eje junto a una polea escalonada
- Una polea de 14 pulgadas unida directamente al eje.

Análisis de la transmisión

Se analizaron los datos necesarios en la máquina molino de bolas para comprobar si la misma tenía la cantidad de correas necesarias y si las relaciones de transmisión eran las más óptimas para la transmisión de la potencia final necesaria

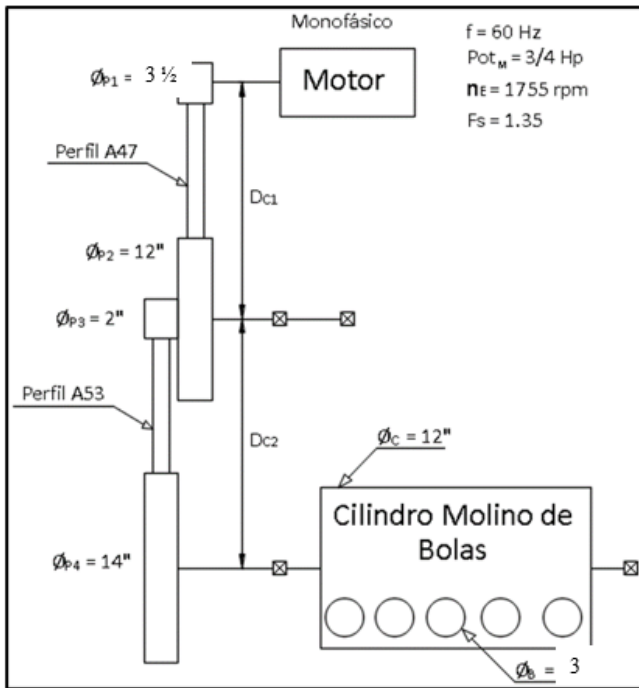


Fig. 5: Análisis de transmisión del molino de bolas
Nota: Elaborado por el autor

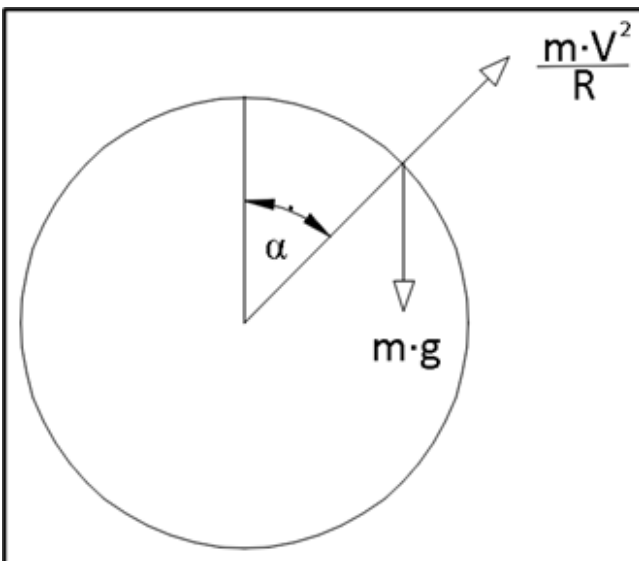


Fig. 6: Diagrama cinemático de velocidad crítica del molino. indica las fuerzas a las que están sometidas las bolas de acero dentro del cilindro
Nota: Elaborado por el autor

Determinación de la Velocidad Crítica del Molino de Bolas

Mediante el siguiente esquema cinemático se procedió a determinar la velocidad crítica:

Primero: Se determinó la velocidad crítica del molino de bolas para, a través de esto, obtener el punto de máximo rendimiento en la obtención del material

$$\frac{m \cdot v^2}{R} = m \cdot g \cdot \cos(x)$$

$$V = n_c \cdot R \cdot \frac{30}{\pi}$$

$$\frac{n_c \cdot R/30^2}{R} = g; \quad R = \frac{Q_c - Q_b}{2}$$

$$n_c = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{2g}{Q_c - Q_b}} = 30 \left(\frac{2 \cdot 32,174 \text{ ft/s}^2}{\pi \cdot (1 \text{ ft} - \frac{1}{3} \text{ ft})} \right)^{1/2} = 93,8176 \text{ rpm}$$

Atendiendo a la recomendación que señala Victor Piqueyas Yepes en base a Wills y Napier-Munn (2006), “El molino deberá trabajar entre un 50 % y un 90 % de su velocidad crítica, dependiendo de factores económicos. No obstante, el punto de máximo rendimiento, medido por la potencia necesaria para accionar el molino, está en torno al 75 %, y se suele utilizar velocidades de rotación de 70-80 % para los molinos de bolas”

Comprobación de la Velocidad Crítica en la Máquina Diseñada

Se calculó la relación de transmisión de potencia total en la máquina con la siguiente fórmula:

$$\frac{\Phi_{p1}}{\Phi_{p2}} \cdot \frac{\Phi_{p1}}{\Phi_{p1}} = \frac{12''}{3''} \cdot \frac{14''}{2''} = 24$$

Posterior a ello, se realizó el cálculo de la velocidad en la salida en rpm que correspondería al cilindro de bolas.

$$n_s = \frac{n_g}{i_r} = \frac{1755 \text{ rpm}}{24} = 73,125 \text{ rpm}$$

Comprobación de que el Torque en el Cilindro es el Adecuado para que Gire

- Potencia y Torque que entrega el Motor a la Máquina

Se procedió a calcular la potencia que se transmite al cilindro Pot_D considerando las pérdidas de las correas trapecoidales η_C en la segunda transmisión de potencia. Según Dobrovolski, V. (1980) sugiere que “Las pérdidas ... en una transmisión por correa trapecoidal, 4 %” (p. 202).

$$P_{ot_n} = P_{ot_v} - F_s = 0,75 \text{ Hp} - 1,35 = -1,0125 \text{ Hp}$$

$$= -755,0213 \text{ W}$$

Mediante la anterior ecuación se calculó el torque efectuado en el eje del cilindro

$$T_s = \frac{P_{ot} \cdot \eta_c}{\omega_4} = \frac{753,0213 \text{ W} \cdot 0,96}{6,5637 \text{ rad/s}} = 106,0117 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Volumen que ocupa las Bolas y el Mineral a Triturar

De acuerdo a Bravo Galvéz, A. C. (2003), “El porcentaje de sólidos para una operación eficiente no debería pasar de 40 %”.

$$V_T = 0,5 \cdot V_C = 0,5 \cdot \pi \cdot r_c^2 \cdot l$$

$$V_T = 0,5 \cdot \pi \cdot (6 - 0,0254 \text{ m})^2 - (0,52 \text{ m})^2 = 0,019 \text{ m}^3$$

Se conoce que el molino de bolas trabaja con 10 bolas de tamaño máximo, por ende, tenemos un volumen total ocupado por las bolas de inercia en el interior del cilindro V_B igual a la siguiente ecuación.

$$V_B = \frac{4}{3}\pi(r_B)^3 = \frac{4}{3}\pi(2 \cdot 0,0254 \text{ m})^3 = 0,0055 \text{ m}^3$$

Calculamos el volumen máximo que debería tener la pulpa V_P , mediante la siguiente ecuación

$$V_P = V_T - V_B = 0,019 \text{ m}^3 - 0,0055 \text{ m}^3 = 0,0135 \text{ m}^3$$

De acuerdo a 911Metallurgist (s.f.), “El porcentaje de sólidos en la pulpa es usualmente mantenido de 60 a 75 por ciento, el principio es mantener el volumen porcentual de sólidos tan alto como sea posible sin pérdida de movilidad del cargo. La proporción correcta de agua dependerá del tipo de mineral, los tipos de minerales lamosos en general requieren una dilución superior que minerales que tienen un bajo contenido de lamas.”. Proponemos un porcentaje de sólidos del 70 % y un porcentaje de agua del 30 % en la pulpa.

Determinación del Peso que ejerce el Material Ingresado al Cilindro

El material con el que están construidas las bolas que destruyen el material rocoso es de acero al manganeso o acero Hadfield que según (Hadfield, R. A., 1888, p. 94), “The specific gravity of manganese steel was approximately the same as ordinary cast steel” [el peso específico del acero al manganeso era aproximadamente el mismo que el del acero fundido ordinario], por ende, sabemos que el peso específico de la mayoría de los aceros es de 7860 kgf/m^3 (Beer, F. P., Johnston, E. R., DeWolf, J. T. y Mazurek, D. F., 2020, ap. 12). Cornejo Aguiar (2016) afirma que “El Ecuador dispone de variados recursos de RMI o minerales no metalíferos, siendo los más importantes la caliza, mármol, arcillas, yeso, piedra pómez, baritina y la bentonita.”. Mediante esta afirmación obtenemos que en Loja el peso específico más alto de los materiales rocosos antes mencionados lo tiene el granito γ_B con 2770 kgf/m^3 según (Dana, J. D., Hurlbut, C. S. y Klein C., 1981, p. 556). Y el peso específico del agua es de 9810 N/m^3 .

$$F_T = (\gamma_m \cdot V_m + \gamma_B \cdot V_B + \gamma_A \cdot V_A)$$

$$F_T = (27173 \text{ N/m}^3 \cdot 0,0094 \text{ m}^3 + 7106 \text{ N/m}^3 \cdot 0,0055 \text{ m}^3 + 9810 \text{ N/m}^3 \cdot 0,0031 \text{ m}^3)$$

$$F_T = 977,851 \text{ N}$$

Potencia y Torque máximo aprovechado por la Máquina

Calculé el radio de giro de la masa total dentro del cilindro r_G para calcular el torque máximo aprovechado.

$$r_G = \frac{4r}{3\pi} = \frac{4(6'')}{3\pi} = 2,5465''$$

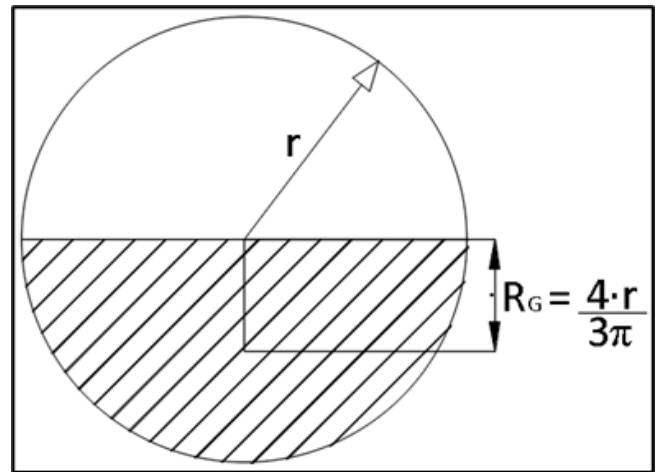


Fig. 7: Diagrama para cálculo del torque máximo del molino
Nota: Elaborado por el autor

Diagrama para cálculo del torque máximo

Mediante este resultado se procedió a calcular el torque máximo que se va a aprovechar A con respecto al molido de bolas.

$$\tau_A = F_T \cdot r_G = (977,851 \text{ N})(2,5465'' \cdot 0,0254 \text{ m}) = 63,2485 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Nota. El factor de servicio seleccionado para la máquina trituradora tipo molino de bolas con motor de corriente alterna asíncrono es de 1.5. Por último, se obtuvo la potencia máxima que se va a aprovechar en el molino de rocas es la potencia diseño (Pot)_{D2} con la que se va a comprobar si el número de correas por cada transmisión de potencia está bien diseñado.

$$Pot_{D2} = \frac{T_a \cdot \omega_4}{\frac{1}{2}n_c^2} =$$

$$Pot_{D2} = \frac{63,2485 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot 6,5537 \text{ rad/s}}{0,96^2} = 1,5 = 0,9061 \text{ Hp}$$

Diseño y construcción del molino de bolas

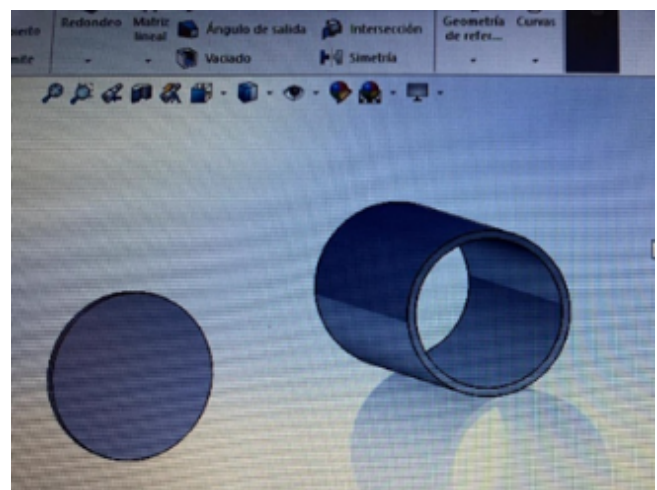


Fig. 8: Proceso de diseño del molino de bolas
Nota: Elaborado por el autor

Se comenzó con la obtención de un tubo de vapor oleoducto para obtener el cilindro o la cámara de molienda y las tapas del cilindro. Una vez obtenido, se procedió a llevarlo al torno para cortar e igualar ambos lados con un largo de 50 cm y un diámetro de 33 cm. Las tapas del cilindro tuvieron dos diámetros, un diámetro mayor de 33 cm con 1 cm de espesor y un diámetro menor de 30 cm con un espesor de 0.5 cm. En el cilindro se realizó una apertura en el centro de 10 cm x 10 cm, la cual servirá como boca de entrada del molino. Por último, se procedió a soldar todas las partes mencionadas anteriormente con suelta autógena dándonos como resultado un cilindro con tapas de medidas 52 cm de largo y 33 cm de diámetro.



Fig. 9: Ejes del cilindro
Nota: Elaborado por el autor

Para el cilindro se utilizaron dos ejes de acero, uno más grande de 25 cm y otro más pequeño de 15 cm, ambos con un diámetro de 4 cm. El motivo de ello fue que el eje más largo se destinó para la colocación de las poleas necesarias para la transmisión mencionada anteriormente. Durante la colocación de los ejes, las tapas se montaron en el torno por separado para permitir la realización de una pequeña hendidura en la mitad, con un grosor de 0.25 cm. Esto se hizo con el fin de asegurar y alinear correctamente el eje al soldarlo a la tapa. Al eje más largo se le redujo el diámetro a 3 cm a lo largo de 14 cm de su longitud. Finalmente, se soldó la tapa al eje mediante soldadura autógena y se reforzó con pequeños triángulos de 6 cm de largo y 5 cm de alto.

Tapa y Seguro del cilindro

Para la tapa del cilindro, se cortó un cuadrado del material del cilindro de 10 cm x 10 cm con un grosor de 1.5 cm. Esta se soldó sobre otra tapa de 15 cm x 15 cm con un ancho



Fig. 10: Ejes y cámaras de molienda
Nota: Elaborado por el autor

de 0.5 cm. En esta segunda tapa se realizó una boquilla en el centro de 3.5 cm de diámetro. Luego, se llevó a cabo el empaque con látex (caucho) de 15 cm x 15 cm con un grosor de 0.4 cm para evitar derrames. Para el seguro, se soldaron dos orejas en el tanque de 7.5 cm de alto con una apertura de 5 cm. Se soldaron a una distancia de 5 cm con respecto a la apertura del tanque.

Se cortaron dos barras de acero de 10.5 cm de largo y 2.5 cm de ancho. Ambas fueron soldadas una frente a la otra en una tuerca de 2.7 cm de diámetro. Luego, se introdujo un perno hexagonal de acero de 2.7 cm de diámetro. Por último, se colocó primero la tapa del molino. Luego, se colocó el seguro en el medio de la tapa para que quedara entre las orejas. Se procedió a girar el perno para asegurarlo y evitar que se cierre durante el proceso de molienda.

Mesa

Para la construcción de la mesa se utilizó tubo cuadrado de 5 cm x 5 cm, con las siguientes medidas:

- 4 patas de 66 cm.
- 2 tubos laterales de 72 cm.
- 1 tubo adicional de 62 cm.

Se emplearon 4 cuadrados de 10 cm x 10 cm para las bases de las patas, asegurando así la estabilidad. Se soldaron todas las partes de la mesa correspondientes a las patas, las bases y los laterales de estas. El tubo adicional se adhirió a 5 cm de la parte trasera de la mesa, asegurando su estabilidad durante el proceso de molienda.



Fig. 11: Tapa y seguro del cilindro
Nota: Elaborado por el autor



Fig. 12: Diseño de mesa cuadrada que servirá como soporte para el molino
Nota: Elaborado por el autor

Chumaceras y Polea principal del cilindro

Se utilizaron dos chumaceras P 208 diseñadas para un eje de 1-½ pulgada y se introdujeron en los ejes del cilindro. La estructura del molino se montó sobre la mesa, asegurando las chumaceras con un lateral a la mesa y otro con L de 4 cm de metal soldadas para cada pata lateral de chumacera saliente. Luego se procedió a colocar la polea principal o primera polea en el eje más largo, introduciéndola hasta que quedara a 7.5 cm de la chumacera.

Segunda polea y chumaceras

Para la colocación de la segunda polea, se obtuvo un eje de 26 cm de largo y 3 cm de diámetro, así como dos L de 17 cm de largo y 4 cm de alto. Una de las dos L se soldó de forma perpendicular al tubo cuadrado del centro de la mesa, y la otra se soldó a 13.5 cm de la L ya colocada. Se introdujo la primera polea de 12 pulgadas en el eje mediante una presión de 60 toneladas, a una distancia de 9 cm. Posteriormente, se colocó la segunda polea, escalonada de 2, 3 y 4 pulgadas, aplicando igualmente 60 toneladas de presión hasta que tocó la primera polea. A dicha estructura de poleas se le colocaron



Fig. 13: Chumacera y polea principal
Nota: Elaborado por el autor

las chumaceras P205 de 25.4 mm de diámetro del eje, y luego se colocó todo sobre las L previamente soldadas



Fig. 14: Toma de medidas para colocación de segunda polea
Nota: Elaborado por el autor

Preparación del motor

Para la preparación del motor, primero se colocó su respectiva polea escalonada de 3 ½ pulgadas. Posteriormente, se construyó una base de planta metálica con medidas de 25 cm de largo y 11 cm de ancho para montar el motor lateralmente. En esta base, se soldó una bisagra que servirá para tensar la banda de transmisión. Además, se perforó un agujero de 2 cm de diámetro para la introducción de un perno templador de 16 cm de largo.

Esta estructura se soldó en la pata de la mesa, teniendo en cuenta la alineación con respecto a la segunda polea. Para reforzar esta estructura, se soldó diagonalmente un rectángulo

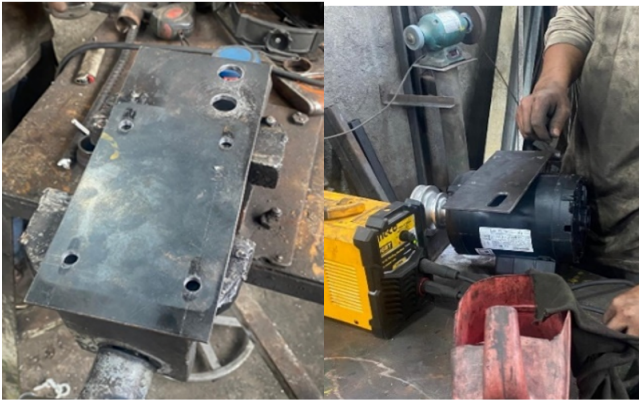


Fig. 15: Preparación de base metálica para montaje lateral del motor

Nota: Elaborado por el autor

de 25.5 cm de largo y 6 cm de ancho. También se soldó una estructura triangular con dos rectángulos de 5 cm de largo por 4 cm de ancho para poder colocar el perno templador. El motor se diseñó para conexión 220V, y se atornilló una botonera en la pata paralela al motor.



Fig. 16: Conexión de botonera

Nota: Elaborado por el autor

Bandas para la transmisión

La primera banda se extiende desde el motor hasta la segunda polea, con la polea del motor de 3 ½ pulgadas a la polea de 12 pulgadas. Esta banda es una correa clásica en V de tipo A47, con una longitud interna de 47", una longitud externa de 49", un ancho superior de 1/2τ un peso de 0.30 lb. La segunda banda se extiende desde la segunda polea hasta la polea del tanque, exactamente desde las 2 pulgadas escalonadas hasta la polea de 14 pulgadas. Esta banda es una correa clásica en V de tipo A53, con una longitud interna de 53", una longitud externa de 55", un ancho superior de 1/2τ un peso de 0.34 lb.

Tolva con Bandeja

La tolva, fabricada de lata, tiene una boca de entrada de 30 cm y una boca de salida de 20 cm. Esta tolva se soldó sobre una bandeja rectangular del mismo material, con medidas de

44.5 cm x 45 cm y una altura de 25.5 cm. Para la base de la bandeja, se soldó un tubo cuadrado largo de 61.5 cm de longitud debajo del cilindro, entre las dos patas. Luego, se sueldan dos L de 35 cm de longitud y 5 cm de altura de forma paralela, a una distancia de 47 cm entre ellas (ver Figura 17).



Fig. 17: Tolva con bandeja

Nota: Elaborado por el autor

Diseño en software Solidwoks y Molino de bolas construido

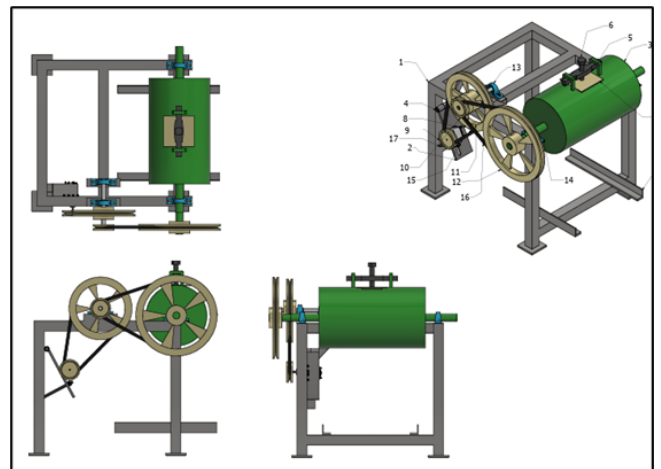


Fig. 18: Diseño en SOLIDWOKS

Nota: Elaborado por el autor

Diseño final del molino

Costo de la máquina

El costo total del molino de bolas, incluyendo la adquisición de materiales, la adaptación y el ensamblaje de sus partes, así como la compra de medios moledores, ascendió a aproximadamente 1500 dólares estadounidenses. Dentro de este presupuesto, la parte más costosa corresponde a la cámara de molienda y la obtención de los medios moledores, dado que estos deben cumplir con las características previamente mencionadas.

Para los ensayos de molienda, se recolectaron cuatro muestras de 6 kg aproximadamente procedentes de la región




Fig. 19: Diseño final del molino
Nota: Elaborado por el autor

sur del Ecuador. Estas muestras fueron sometidas previamente a un proceso de caracterización, el cual incluyó la evaluación minuciosa de sus propiedades índice.

Descripción de las muestras


Tabla 6. Datos generales Muestra 1

Muestra 1	Provincia: Zamora Chinchipe	
	Lugar: Chinapintza	
	Sociedad: El Mirador	
	Tipo de roca: Cuarzodiorita	

Nota. Elaborado por el autor

La Muestra 1 corresponde a una roca tipo cuarzodiorita que presenta un grado medio de alteración. Se observa mineralización en pirita y calcopirita, además de otros minerales como cuarzo, hornblenda, plagioclasas y biotita.

Tabla 7. Datos generales Muestra 2


Muestra 2	Provincia: El Oro	
	Lugar: Torata	
	Tipo de roca: Brecha andesítica	

Nota. Elaborado por el autor

La muestra 2 se identifica como una brecha andesítica, que se encuentra asociada a andesitas de grado medio de alteración. Exhibe una composición mineralógica caracterizada por sulfuros como pirita. Además, dentro de su composición se observan minerales como: cuarzo feldspatos y biotita.

La Muestra 3 está relacionada con una roca andesítica que muestra un grado medio de alteración. Su composición mineralógica abarca la composición en mineralización de sulfuros como pirita y calcopirita, además de minerales principales como cuarzo, biotita, plagioclasas, hornblenda y biotitas.

Tabla 8. Datos generales Muestra 3

Muestra 3	Provincia: Azuay	
	Lugar: Santa Isabel	
	Tipo de roca: Roca andesita	

Nota. Elaborado por el autor

Trabajos previos a la identificación de propiedades índice

Se procedió a seleccionar una muestra representativa de cada muestra mineralizada, las cuales fueron pesadas en una balanza analítica y se registraron los valores correspondientes. Posteriormente, las muestras fueron colocadas individualmente en recipientes y saturadas completamente para dejarlas reposar durante un período de tres días. Tras el transcurso de este lapso temporal, las muestras fueron retiradas, secadas con un paño y nuevamente pesadas. La balanza analítica fue colocada sobre una superficie elevada estable, seguido por la preparación de un recipiente lleno de agua debajo de esta. Utilizando un hilo de nailon, las muestras fueron atadas y suspendidas desde la parte inferior de la balanza, sumergiéndolas en el recipiente para obtener el peso sumergido. Las muestras fueron luego trasladadas a recipientes y sometidas a un proceso de secado en horno durante un día completo. Una vez finalizado este periodo, fueron retiradas, pesadas y trituradas para ser utilizadas en el ensayo del picnómetro. Posteriormente, las muestras trituradas fueron tamizadas a través de dos mallas #100 y #200, reservando el material pasante a través de la malla #200 en contenedores designados para cada muestra con el fin de evitar errores. Se procedió entonces a pesar 30 gramos de cada muestra pasante de la malla #200, y posterior a ello se llenó el picnómetro con agua destilada y se registró su peso.




A continuación, se extrajo parte del agua del picnómetro hasta aproximadamente la mitad de su capacidad. Utilizando un embudo y un alambre, se introdujeron los 30 gramos de muestra, asegurando que el embudo no entrara en contacto con el agua para evitar derrames. Después de introducir la muestra en el picnómetro, este se giró suavemente en círculos durante tres minutos con la ayuda de un paño. Posterior a ello, se llenó el picnómetro con agua destilada, permitiendo que esta cayera suavemente sobre las paredes para evitar la formación de burbujas de aire.

Finalmente, se registró y anotó el peso resultante. Este procedimiento se repitió para las dos muestras restantes, asegurándose de limpiar completamente el picnómetro después de cada medición y volver a llenarlo con agua destilada hasta la mitad antes de repetir el proceso. Todos los datos obtenidos durante el procedimiento fueron registrados en una hoja de cálculo Excel para facilitar el análisis mediante fórmulas matemáticas, obteniéndose los siguientes resultados.

Preparación del material previo a molienda

Con el fin de garantizar la uniformidad y la adecuación del material para su posterior sometimiento al proceso de molienda, se llevó a cabo una fase de trituración y homogeneización donde se buscó que el material tenga un P80 de 3328

Tabla 6: Propiedades índices de las muestras 1, 2 y 3.

Muestra 1: Provincia: Zamora Chinchipe	
Lugar: Chinapinza	
Contenido de humedad: 0.80	
Porosidad eficaz: 4.08	
Peso específico aparente: 1548.87	
Peso específico real: 1615.79	
Porosidad: 4.14	
Porosidad cerrada: 0.06	
Coeficiente de absorción: 1.52	
Compacidad: 95.86	
Módulo de saturación: 98.6	
Muestra 2: Provincia: El Oro	
Lugar: Torata	
Contenido de humedad: 0.60	
Porosidad eficaz: 6.48	
Peso específico aparente: 414.85	
Peso específico real: 457.83	
Porosidad: 9.39	
Porosidad cerrada: 2.91	
Coeficiente de absorción: 2.58	
Compacidad: 90.61	
Módulo de saturación: 69.1	
Muestra 3: Provincia: Azuay	
Lugar: Santa Isabel	
Contenido de humedad: 0.37	
Porosidad eficaz: 7.81	
Peso específico aparente: 1361.75	
Peso específico real: 1605.37	
Porosidad: 15.18	
Porosidad cerrada: 7.36	
Coeficiente de absorción: 3.13	
Compacidad: 84.82	
Módulo de saturación: 51.5	
<i>Nota. Elaborado por el autor</i>	

micras el cual es un valor óptimo antes de ingresar al molino. Para la trituración de las muestras, fueron enviadas al laboratorio de la Universidad Técnica Particular de Loja, con el objetivo de acondicionar las muestras por medio de la trituración. Este proceso se realizó con la finalidad adicional de homogeneizar las muestras, asegurando así una distribución uniforme de las partículas y minimizando posibles variaciones en los resultados del proceso de molienda (ver Figura 20).

Granulometría Rosin-Rammler.

Las muestras mineralizadas fueron sometidas a un proceso de cuarteo con el fin de reducir su proporción inicial y obtener partes representativas de tamaño uniforme. Posteriormente, se seleccionaron dos de las cuatro partes resultantes para llevar a cabo el análisis granulométrico. Se procedió a pesar el material y se seleccionaron tamices de tamaños específicos (3/8, 1/4, 4, 8, 10, 16, 20, 30, 40, 60, 100, 200, base) para

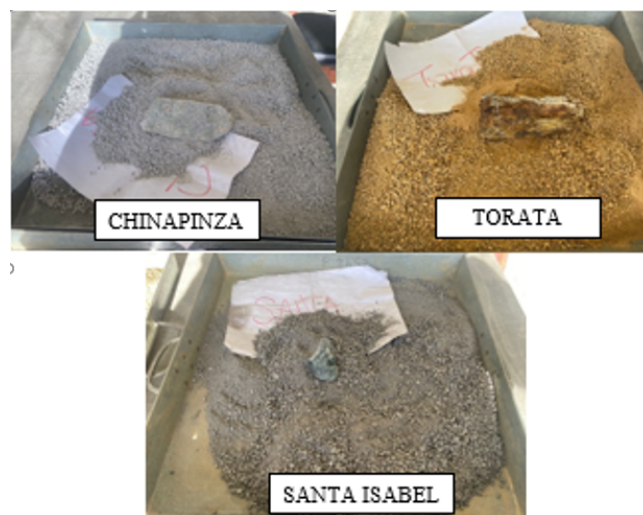


Fig. 20: Material triturado y homogeneizado
Nota: Elaborado por el autor

el tamizado. Una vez pesadas las muestras, se distribuyó la mitad de cada muestra en la serie de los tamices seleccionados, los cuales se sometieron a un proceso de tamizado mediante un tamizador eléctrico, previamente programado para una duración de 6 minutos. Luego se desmontaron los tamices y se procedió a pesar el material retenido en cada uno de ellos. Los valores obtenidos fueron registrados en una tabla de Excel para su posterior análisis y cálculos. Con los datos recopilados, se desarrollaron las fórmulas correspondientes al modelo Rosin-Rammler y se generaron las gráficas pertinentes (ver tabla 49, 50 51), permitiendo así una caracterización detallada de la distribución granulométrica de las muestras analizadas. Este procedimiento proporcionó información crucial para la comprensión de la distribución del tamaño de las partículas después de que se realizó la trituración.

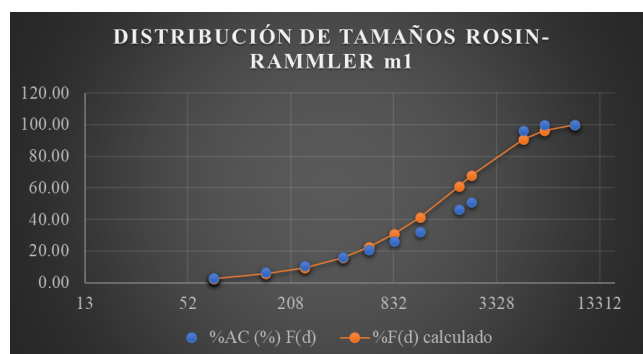


Fig. 21: Granulometría Trituración P80 de Chinapinza Rosin-Rammler
Nota: Elaborado por el autor

Nota: El análisis granulométrico realizado mediante la metodología de Rosin Rammler reveló que las muestras mineralizadas de Chinapinza, Torata y Santa Isabel exhibieron una distribución de tamaños por trituración caracterizada por un valor de P80 de 3328 micras. Este resultado indicó una granularidad adecuada para iniciar las pruebas de molienda en el entorno laboratorial. La realización del análisis se hizo con el propósito de determinar el tamaño inicial del material, denotado como F80, así como para establecer el tamaño de salida después de la molienda, representado por P80.

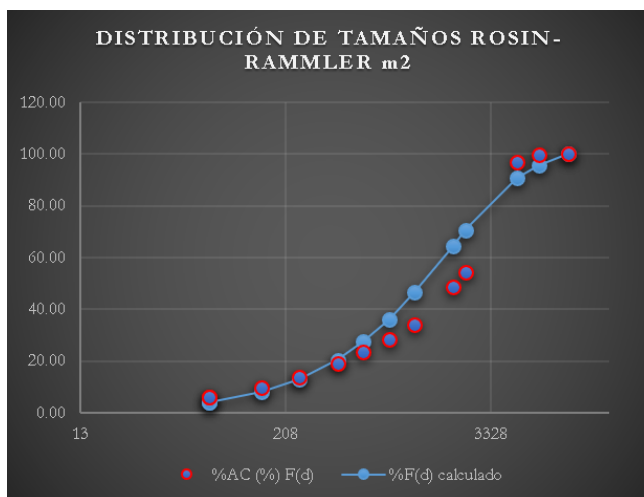


Fig. 22: Granulometría Trituración P80 de Torata Rosin-Rammler
Nota: Elaborado por el autor

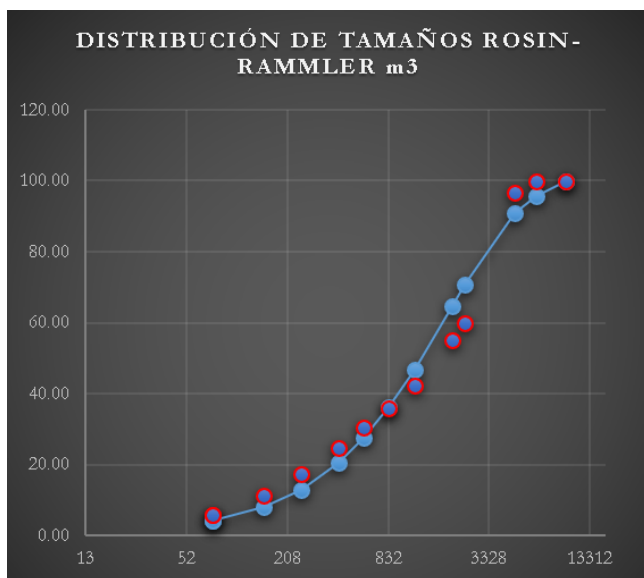


Fig. 23: Granulometría Trituración P80 de Santa Isavel Rosin-Rammler
Nota: Elaborado por el autor

Inspección y Preparación del molino.

Se comenzó por verificar la limpieza y el estado óptimo de funcionamiento del molino, asegurándome que todas sus partes estén debidamente ensambladas y en condiciones adecuadas. Durante esta fase, se llevó a cabo una inspección detallada de los siguientes componentes:

- Tensión de las bandas.
- Estado de la lubricación en las chumaceras.
- Integridad de las conexiones eléctricas del motor.
- Condición del empaque de la tapa del motor

Este proceso de inspección garantizó que el molino estuviera listo para operar de manera eficiente y segura durante los ensayos.

Inicio del proceso de molienda

1. Materiales indispensables para molienda: Entre los materiales indispensables que se utilizaron para llevar a cabo la molienda tenemos:

- La tolva que sirve para colocar el material dentro del molino y evitar derramamientos.
- Llave de tuvo que sirve para cerrar y asegurar la tapa del molino
- Brocha
- Frasco lavador
- Balde



Fig. 24: Materiales para molienda
Nota: Elaborado por el autor

2. Introducción del Material: El material, previamente pesado con precisión, fue introducido en el molino. Junto con ello, se añadieron las bolas de molienda, previamente graduadas, y se agregó agua de acuerdo con la proporción 1/1, es decir una parte de agua por cada parte de material.

Tabla 10. Pesos iniciales previo molienda

Chinapinza	6517.5 gr / 6.517 kg
Torata	6682 gr / 6.682 kg
Santa Isabel	4445 gr / 4.445 kg

Nota: Elaborado por el autor.



Fig. 25: Bolas de molienda correctamente graduadas utilizadas dentro del molino
Nota: Elaborado por el autor

3. Encendido del Molino: Una vez que el material a moler fue introducido en el molino, se cerró herméticamente y se

aseguró el empaque y tapa para prevenir cualquier pérdida de agua. Luego, se procedió a conectar el molino a la fuente de alimentación y se encendió para iniciar el proceso de molienda

4. Tiempo de Molienda: Los materiales mineralizados, fueron sometidos a diferentes tiempos de molienda que variaron entre 1 hora-Santa Isabel, 1 hora 30 minutos-Torata y 2 horas-Chinapinza, con el fin de lograr determinar la relación entre tiempo de molienda y tamaño de partícula deseado

Tabla 11. Tiempos de molienda

	Peso	Tiempo de molienda
Chinapinza	65175 gr / 65.175 kg	2 horas
Torata	6682 gr / 6.682 kg	1 hora 30 minutos
Santa Isabel	4445 gr / 4.445 kg	1 hora

Nota. Elaborado por el autor.

Ensayos de eficiencia de molienda, distribución de tamaños (granulométrico) y medición de ruido.

Condiciones experimentales de las muestras mineralizadas

Se establecieron los parámetros experimentales para los ensayos, los cuales abarcan la carga específica de bolas, la velocidad de rotación del molino, la duración del período de molienda, y las dimensiones de la alimentación del material. Estas condiciones fueron meticulosamente seleccionadas con el propósito de emular las condiciones operativas prácticas del molino diseñado en un ambiente de laboratorio bajo control riguroso.

Ensayo de eficiencia de molienda y distribución de tamaños

-Inicio y tiempo de molienda: Se encendió el molino de bolas y se definió el tiempo de molienda señalado en la tabla 22. **-Descarga del material molido:** Se detuvo el molino en los tiempos establecidos y se descargó el material molido en un valde para luego ser colocado en bandejas. **- Secado del material:** Como el material molido presentaba humedad, se debió secar en un horno a una temperatura adecuada hasta alcanzar un peso constante. **-Tamizado y pesado de las fracciones:** Una vez que el material estuvo seco, se observó que se había compactado en sus bandejas, por lo tanto, se llevó a cabo la extracción del mismo utilizando una espátula y una brocha, con el fin de facilitar el paso de una rueda metálica sobre la superficie compactada. Posteriormente, se procedió a distribuir la muestra de material molido sobre los tamices correspondientes, para luego someterla al tamizador eléctrico durante un período de 4 minutos. Finalmente, se procede a pesar las fracciones de material retenidas en cada tamiz y registrar los valores obtenidos en tablas de Excel. **Cálculo de la distribución granulométrica:** Se calculó el porcentaje de material retenido en cada tamiz y se aplicó el método del método de Rosin-Rammler para calcular la distribución granulométrica.

- Cálculo de la energía requerida en molienda: Se utilizó el método de Energía de Bond para calcular la eficiencia de mo-

lienda.

$$Eb = 10 \times wi \left(\frac{1}{\sqrt{P80}} \right) - \left(\frac{1}{\sqrt{F80}} \right)$$

- Energía de Bond de Santa Isabel:

Para calcular la energía de Bond correspondiente a la roca andesita en Santa Isabel, se empleó un índice de trabajo (Wi) de 19 kWh/tonelada obtenida de literatura especializada.

Tabla 12. Energía de Bond. Santa Isabel

EB Santa Isabel	
wi	19
F80 micras	3328
P80 micras	121.6
EB	17.21

Nota. Elaborado por el autor.

Según los resultados obtenidos del cálculo de la energía de Bond, se puede inferir que, debido a la dureza y la escasa alteración del material, así como al tamaño de partícula final de 121.6 micras, la energía de Bond resultante es de 17.56 kWh/tonelada, este valor se considera poco eficiente.

- Energía de Bond de Torata

Para calcular la energía de Bond correspondiente a la brecha andesítica en Torata, se empleó un índice de trabajo (Wi) de 12 kWh/tonelada obtenida de literatura especializada.

Tabla 13. Energía de Bond. Torata

EB Torata	
wi	12
F80 micras	3328
P80 micras	98.4
EB	12.07

Nota. Elaborado por el autor.

Según los resultados obtenidos del cálculo de la energía de Bond, se puede inferir que, debido a la dureza y la escasa alteración del material, así como al tamaño de partícula final de 98.4 micras, la energía de Bond resultante es de 12.07 kWh/tonelada, este valor se considera eficiente.

- Energía de Bond de Chinapinza

Para calcular la energía de Bond correspondiente a la roca cuarzo diorita, se empleó un índice de trabajo (Wi) de 15 kWh/tonelada obtenida de literatura especializada

Tabla 14. Energía de Bond. Chinapintza

EB Chinapintza	
wi	15
F80 micras	3328
P80 micras	72.8
EB	17.56

Nota: Elaborado por el autor

Según los resultados obtenidos del cálculo de la energía de Bond, se puede inferir que, debido a la dureza y la escasa alteración del material, así como al tamaño de partícula final de 72.8 micras, la energía de Bond resultante es de 17.56 kWh/tonelada, este valor se considera eficiente.

- Análisis estadístico: Se realizó un análisis estadístico de los resultados para determinar si existe una diferencia significativa en la eficiencia de molienda con los diferentes tiempos de molienda.

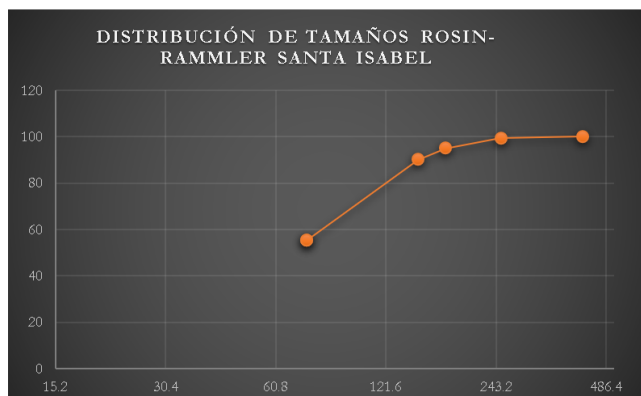


Fig. 26: Distribución de tamaños P80 121.6 micras. Santa Isabel
Nota: Elaborado por el autor

Durante el análisis granulométrico de la muestra de Santa Isabel, con el fin de evaluar el desempeño del molino de bolas a 1 hora, se constató una ineficiencia en el proceso de molienda del material. Esta deficiencia se manifestó en el porcentaje de partículas que atravesaron la malla 200, un parámetro crucial en la caracterización del proceso. De acuerdo con los estándares de la industria minera, se esperaba que este porcentaje superara el umbral del 80%; no obstante, los datos recopilados revelaron un valor de apenas el 58.23%. Además, la representación gráfica del tamaño de partícula exhibió un producto P80 de 121 micras, cifra que excedió el valor óptimo de 74 micras.

Durante el análisis granulométrico de la muestra de Torata, con el fin de evaluar el desempeño del molino de bolas a 1 hora 30 minutos, se constató una ineficiencia en el proceso de molienda del material. Esta deficiencia se manifestó en el porcentaje de partículas que atravesaron la malla 200, un parámetro crucial en la caracterización del proceso. De acuerdo con los estándares de la industria minera, se esperaba que este porcentaje superara el umbral del 80%; no obstante, los datos recopilados revelaron un valor de apenas el 71.43%. Además, la representación gráfica del tamaño de partícula exhibió un producto P80 de 98.4 micras, cifra que excedió el valor óptimo de 74 micras.

Durante el análisis granulométrico de la muestra de Chi-

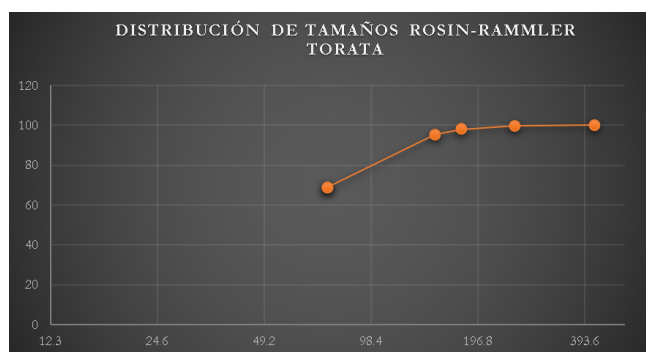


Fig. 27: Distribución de tamaños P80 98.4 micras. Torata
Nota: Elaborado por el autor

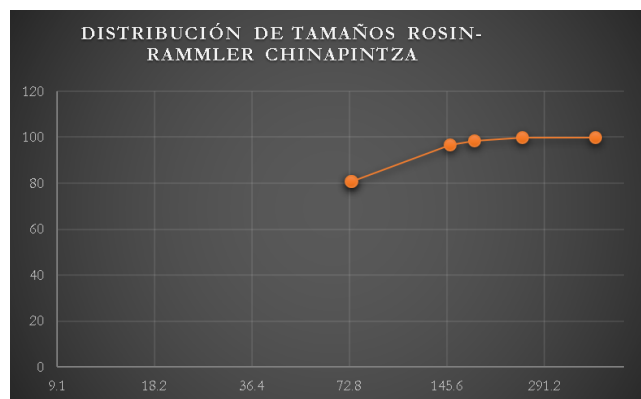


Fig. 28: Distribución de tamaños P80 98.4 micras. Chinapintza
Nota: Elaborado por el autor

napintza, con el fin de evaluar el desempeño del molino de bolas a 2 horas, se constató una eficiencia en el proceso de molienda del material. Esta eficiencia se manifestó en el porcentaje de partículas que atravesaron la malla 200, un parámetro crucial en la caracterización del proceso. De acuerdo con los estándares de la industria minera, se esperaba que este porcentaje superara el umbral del 80%; lo cual se cumplió, ya que los datos recopilados revelaron un valor de 83.01%. Además, la representación gráfica del tamaño de partícula exhibió un producto P80 de 72.8 micras, cifra que no excedió el valor óptimo de 74 micras.

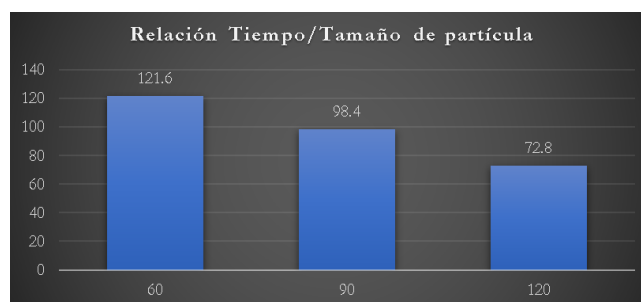


Fig. 29: Distribución Granulométrica en relación al tiempo de molienda
Nota: Elaborado por el autor

La figura 29 trata sobre la relación entre el tiempo de molienda y el tamaño de partícula resultante, esta relación se ve influenciada por diversos factores, entre ellos, la gradiente, el tamaño inicial del material, la velocidad de rotación del molino de bolas, la resistencia del material y su grado de alteración. Estos hallazgos se sustentan que el tiempo de molienda del molino en el laboratorio es de 2 horas porque se ve una mejora en la distribución del tamaño de partícula a lo largo del tiempo de molienda.

• Medición nivel de ruido

La medición del nivel del ruido se la realizó por medio del sonómetro EXTECH 407750 de la Universidad Nacional de Loja. Se siguió el siguiente procedimiento:

- El sonómetro fue colocado a una distancia de 2 metros de la fuente de ruido.
- La medición se inició con especial atención para evitar la presencia de otros generadores de ruido, dado que estos podrían influir en el resultado de la medición.

- Las mediciones se llevaron a cabo cada 2 minutos, dividiéndose en dos fases distintas: el principio y el final de la molienda, con un tiempo total de molienda de 2 horas.
- En cada fase se realizaron 5 mediciones para obtener un promedio representativo, el cual fue posteriormente graficado en un diagrama de barras que incluyó los valores máximos y mínimos.

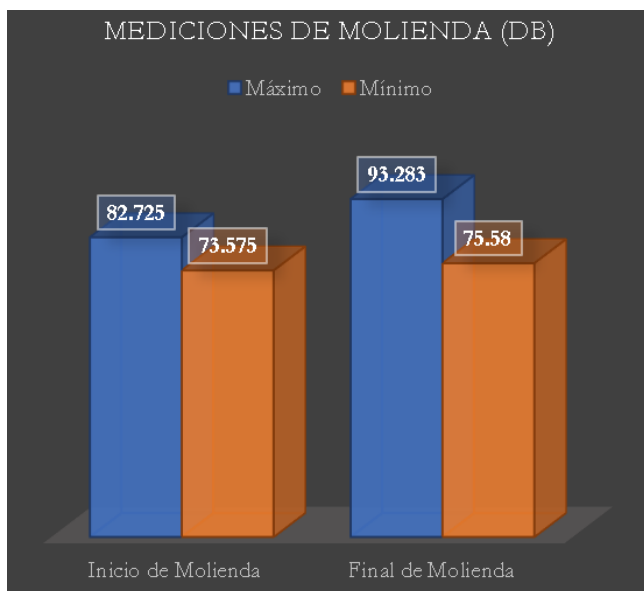


Fig. 30: Máximos y mínimos por medio del sonómetro
Nota: Elaborado por el autor

Nota: Los procesos industriales y las máquinas que generen niveles de ruido iguales o superiores a 85 decibeles, medidos en el entorno laboral, deben ser sometidos a un adecuado aislamiento para evitar la propagación del ruido hacia el exterior de las instalaciones.

DISCUSIÓN

La investigación presentada se centra en el diseño, construcción y validación de un molino de bolas destinado a realizar pruebas de molienda en materiales mineralizados de la región sur del Ecuador. Este proyecto surge de la necesidad de contar con un equipo de laboratorio adecuado que permita evaluar el rendimiento de la molienda en condiciones representativas de los minerales presentes en la zona. En este sentido, se ha realizado un análisis exhaustivo de variables y parámetros clave para asegurar el diseño del molino.

Uno de los aspectos fundamentales considerados durante el proceso de diseño fue la capacidad del molino para procesar un mínimo de cantidad de material de 3kg. Se determinó que un tamaño de tambor capaz de moler la cantidad deseada, teniendo en cuenta que la granulometría final del mineral cumpla con los estándares de eficiencia requeridos. Además, se seleccionó cuidadosamente el material del tambor, optando por un tubo de vapor para oleoductos de acero al carbono con un grosor de 1.5 cm, conocido como API 5L X52, debido a su resistencia a las condiciones de operación esperadas.

El grosor del tambor también fue objeto de análisis detallado, considerando su capacidad para resistir las fuerzas

generadas durante el proceso de molienda. Tras evaluaciones técnicas de seguridad, rendimiento, durabilidad, prevención de fallos e integridad estructural; se determinó que un grosor óptimo de 12 mm desde una perspectiva económica y estructural, proporcionando la resistencia necesaria sin comprometer la eficiencia del equipo. Asimismo, se seleccionaron bolas de molienda de acero al manganeso por su dureza y resistencia al desgaste, elementos cruciales para garantizar una molienda eficiente y duradera. Para optimizar el rendimiento del molino, se estableció una velocidad de rotación del 73.125 % de la velocidad crítica, así como un porcentaje de llenado del 23 %, equilibrando la cantidad de material a moler con el volumen del tambor y el agua a introducir dándonos como resultado una relación 1:1, es decir por cada kg de material se coloca 1L de agua.

La construcción del molino se llevó a cabo en el taller mecánico de la ciudad de Loja y la validación del modelo se la realizó con pruebas en el Laboratorio de Mecánica de Rocas y Materiales de la Universidad Nacional de Loja, siguiendo estrictamente normas técnicas y de seguridad. Una vez construido, se procedió a validar el modelo mediante pruebas de molienda con muestras de mineralizadas de la región sur del Ecuador. Los resultados obtenidos demostraron una eficiencia de molienda creciente con el tiempo, alcanzando un porcentaje pasante de la malla 200 del 82 % y un tamaño de partícula promedio de 72.8 micras después de 2 horas de operación. Sin embargo, se observaron niveles elevados de ruido durante las pruebas, lo que resalta la importancia de implementar medidas de protección auditiva para los operadores.

Adicionalmente se puede decir que la investigación realizada ha permitido desarrollar un molino de bolas eficiente y confiable para la realización de pruebas de molienda en laboratorio con materiales mineralizados de la región sur del Ecuador. Estos resultados proporcionan una base sólida para futuras investigaciones y mejoras en el procesamiento de minerales en la zona, contribuyendo al avance del conocimiento en el campo de la ingeniería de procesamiento de minerales.

Al comparar los resultados obtenidos con los de otros molinos de bolas de laboratorio en cuanto a sus características, en primer lugar, la capacidad mínima del molino, siendo de al menos 3 kg, lo sitúa en una categoría de molinos de laboratorio de tamaño medio a grande, lo que lo hace adecuado para procesar cantidades significativas de material. Este nivel de capacidad es crucial en aplicaciones mineras donde se manejan volúmenes considerables de mineral para la evaluación de procesos metalúrgicos. La ventaja de esta capacidad radica en la eficiencia del procesamiento, permitiendo realizar pruebas con muestras representativas y obtener resultados más precisos en una sola molienda, lo que ahorra tiempo y recursos.

Comparativamente, en el ámbito de sus dimensiones, el molino, con una longitud de 52 cm y un diámetro de 33 cm, exhibe una estructura más robusta en comparación con los molinos de bolas de laboratorio estándar. Por ejemplo, su tamaño se asemeja al de los molinos de bolas de laboratorio de tamaño medio utilizados en investigaciones metalúrgicas a escala reducida. La ventaja de esta robustez estructural radica en su capacidad para soportar cargas de trabajo más pesadas y prolongadas, lo que garantiza una mayor durabilidad y vida útil del equipo.

Sin embargo, la principal distinción radica en el diseño y la construcción, ya que se encuentra adaptado para soportar las demandas y rigores del procesamiento minero a gran escala. Esto implicó el uso de componentes más resistentes al desgaste y materiales de construcción específicos para resistir las condiciones adversas del entorno minero, como la abrasión y la corrosión, donde la ventaja de esta adaptación es la capacidad del molino para mantener un rendimiento óptimo incluso en condiciones operativas exigentes, garantizando una operación continua y confiable.

CONCLUSIONES

La determinación de la capacidad mínima de molienda del molino de bolas, fijada en 3 kg, se fundamentó en la necesidad de garantizar su eficacia en la manipulación de volúmenes significativos de material mineralizado. El diseño del tambor, elaborado con un tubo de vapor para oleoductos, conocido como API 5L X52, se ideó específicamente para gestionar esta carga con eficiencia. La elección de este material, debido a sus propiedades de resistencia a temperaturas y presiones elevadas, asegura la durabilidad y fiabilidad del equipo durante el proceso de molienda en el laboratorio. Además, la determinación del grosor óptimo del tambor del molino de bolas fue un paso fundamental en su diseño y construcción, en consonancia con los parámetros y variables definidos. Tras un análisis minucioso de las fuerzas generadas durante la molienda, se concluyó que un grosor de 12 mm era el más adecuado desde una perspectiva económica y técnica. El diseño meticuloso de esta parte esencial del molino garantiza su rendimiento óptimo y su capacidad para cumplir con los requisitos de procesamiento de materiales mineralizados en el laboratorio.

La validación del modelo del molino de bolas, utilizando los materiales mineralizados del sur del país como referencia, arrojó resultados prometedores. Los datos obtenidos durante las pruebas confirmaron la capacidad de este diseño para adaptarse y procesar eficazmente los materiales característicos de la región. La masa de bolas de 60.657 kg y el porcentaje de llenado del 26% se ajustaron cuidadosamente para garantizar un proceso de molienda efectivo, consistente y óptimo.

Los resultados de las pruebas de molienda revelaron una relación significativa entre el tiempo de molienda y el tamaño de partícula resultante. Este hallazgo, influenciado por factores como la gradiente, el tamaño inicial del material y la velocidad de rotación del molino de bolas, respaldó la decisión de llevar a cabo el proceso de molienda durante un tiempo específico de 2 horas en el laboratorio. Se observó una mejora en la distribución del tamaño de partícula a lo largo del tiempo de molienda, validando así la eficacia del molino diseñado con un diámetro de 33 cm, largo de 52 cm y una velocidad crítica de 73.125 rpm.

Además, se identificó la importancia de cumplir con las normativas de seguridad y salud ocupacional en entornos industriales. La NOM-011-STPS-200 regula la exposición laboral al ruido, estableciendo que los trabajadores expuestos a niveles de ruido igual o superiores a 85 dB(A) deben contar con equipo de protección personal auditiva, según lo estipulado en la NOM-017-STPS-1993, la cual es aplicable en razón de que el nivel máximo de decibeles medidos durante la

molienda alcanzó los 93.28 DB. La implementación de estas medidas en el diseño y operación del molino de bolas asegura un entorno laboral seguro y cumple con los estándares de salud y seguridad establecidos.

AGRADECIMIENTOS

Especial agradecimiento a la Universidad Nacional de Loja en la carrera de Ingeniería en Minas, en cuyos laboratorios se pudo realizar la presente investigación.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Conceptualización: HCG y SC; metodología: HCG; análisis formal: JRS; investigación: OEL; recursos: SC; curación de datos: OEL y JRS; redacción — preparación del borrador original: SC; redacción — revisión y edición: OEL, HCG, SC; visualización: JRS; supervisión: HCG y OEL; administración de proyecto: HCG; adquisición de financiamiento para la investigación: SC y JRS. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito. Hernán Castillo-García: HCG. Stive Cajas: SC. Oscar Estrella-Lima: OEL. Julio Romero-Sigcho: JRS

FINANCIAMIENTO

El presente estudio fue elaborado con fondos propios de los autores.

REFERENCIAS

- Alcántara Vallares, J. R. (2008). *Diseño práctico de un molino de bolas*. [Trabajo de grado, Ingeniería Mecánica]. Instituto Politécnico Nacional Escuela Superior de. Obtenido de Repositorio studocu <https://n9.cl/hxnro>
- Amores Balseca, E., & Maldonado Bernabé, C. (2019). *Diseño y construcción de un molino de bolas planetario para el laboratorio de materiales de la carrera de ingeniería mecánica*. [Trabajo de grado, Ingeniería Mecánica]. Universidad Técnica de Ambato, Ambato. Obtenido de Repositorio Institucional Universidad Técnica de Ambato. URL: <https://n9.cl/rbkav>
- Blanco, E. A. (2014). *BLOQUE II-CAPÍTULO 8. MOLIENDA*. [Archivo PDF]. Obtenido de URL: <https://n9.cl/uw4yk>
- Bravo Galvéz, A. C. (2003). *Empresa minera Yauliyacu S.A. planta concentradora: Manúal de molienda y clasificación*. Casapalca, Perú.
- C. Mora, M. (29 de Julio de 2022). Obtenido de http://www.mecapedia.uji.es/pages/correa_rapezoidal.html
- Cabezas Casco, E. A. (2017). *Diseño y construcción de un molino de bolas para aplicaciones de pulvimetalurgia en los laboratorios de ingeniería mecánica de la facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato*. [Trabajo de grado, Ingeniería Mecánica]. Universidad Técnica de Ambato, Ambato. Obtenido de Repositorio Institucional Universidad Técnica de Ambato. URL: <https://n9.cl/qa6iw>

- Cevallos Villavicencio, C. R., & Caiza López, D. P. (2019). *Diseño y construcción de un molino de bolas, a escala de laboratorio, para la pulverización de arcillas utilizadas en trabajos de cerámica*. [Trabajo de grado, Ingeniería Electromecánica]. Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga. Obtenido de Repositorio de la Universidad Técnica del Cotopaxi: <https://n9.cl/31dgy>
- Collection, G. (2015). *Molino de bolas para moler grandes rocas de mineral de cobre, erdenet Mining Corporation emc, erdenet, mina de cobre erdenet, Mongolia*. [Fotografía]. Alamy. Obtenido de <https://n9.cl/g61ps>
- Cornejo Aguiar, P. I. (2016). *Depósitos minerales no metálicos del Ecuador*. Quito, Ecuador. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/317613312>
- Dana, J. D., Hurlbut, C. S., & Klein, C. (1981). *Manual de mineralogía* (Segunda ed.). Buenos Aires, Barcelona.
- David. (28 de Junio de 2016). *Molienda*. Obtenido de 911 Metallurgist: <https://n9.cl/iuscz>
- Dobrovolski, V. (1980). *Elementos de máquinas* (Tercera ed.). (Mir, Ed., & J. Puig Torres, Trad.) Moscú, Rusia: Mir.
- E. Montes, D. (23 de Junio de 2023). Scribd. Obtenido de *Curva de Rosin-Rammler*: <https://es.scribd.com/document/621413723/Curva-de-Rosin-Rammler-1612971386>
- Energosteel. (05 de diciembre de 2022). Obtenido de *Conceptos generales de Molienda*: <https://n9.cl/l0z6v>
- Espinosa de Leon, L., & Lopez Aburto, V. (s.f). *Teoría y Practicas de trituración y molienda*. (D. d. tierra., Ed.) Obtenido de <https://n9.cl/euokh>
- Facebook. (s.f). *Partes principales de un molino de bolas*. [Página de Facebook]. Facebook, recuperado el 11 de junio de 2020. Obtenido de <https://n9.cl/oku6n>
- Falcon Chura, J. D. (14 de abril de 2021). *Molino de bolas*. Obtenido de FLIPHTML5: <https://n9.cl/tea30>
- Huaman Calzada, P. (2015). *Evaluación de parámetros para el diseño de un molino de bolas en la empresa administradora Cerro S.A.C - Pasco - 2015*. [Trabajo de grado, Ingeniería en Metalurgia]. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Obtenido de Repositorio Scrib. URL: <https://n9.cl/90f2>
- Luisa. (28 de Junio de 2020). *Fundamentos de la Conminución*. Obtenido de SCRIB: <https://n9.cl/nztox>
- Méndez Andrade, J., & Orellana Chiriboga, A. (2018). *Diseño y construcción de un molino de martillos triturador de 15 qq/h de mineral pétreo para producir biofertilizantes*. [Trabajo de grado, Ingeniería Mecánica]. Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca. Obtenido de Repositorio Institucional Universidad Politécnica Salesiana. URL: <https://n9.cl/bm49s>
- Ochoa, Y. (7 de Julio de 2020). *Teorías clásicas de la conminución*. Obtenido de SCRIB: <https://n9.cl/yon9s>
- Ortiz Ríos, C. E. (2020). *Molienda de bolas en húmedo y en seco con eje excéntrico externo*. [Trabajo de grado, Ingeniería en Minas y Metalurgia]. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México. Obtenido de Repositorio Institucional Universidad Nacional Autónoma de México. URL: <https://n9.cl/if5cd>
- Parra Sumba, P., & Tapia Ruilova, I. (2022). *Análisis de la cinética de molienda entre molino chileno, molino de bolas de la planta de tratamiento FIRSTMETAL y molino SAG a escala de laboratorio, variando el porcentaje de humedad*. [Trabajo de grado, Ingeniería en Minas]. Universidad del Azuay, Cuenca. Obtenido de Repositorio Institucional Universidad del Azuay. URL: <https://n9.cl/frcqm>
- Piqueras Yepes, V. (2023). *Velocidad crítica de giro de un molino de bolas*. Obtenido de <https://victoryepes.blogs.upv.es/2023/01/27/velocidad-critica-de-giro-de-un-molino-de-bolas/>
- Rodríguez, Y., & Almonte Gómez, E. (2021). *Diseño y construcción de un molino de bolas para el Laboratorio de Operaciones Unitarias II de la Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña*. [Trabajo de grado, Ingeniería Química]. Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña. Obtenido de Repositorio Institucional Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña. URL: <https://n9.cl/xjafq>
- Rojas Heredia, D., & Coro Serrano, A. (2018). *Evaluación de desgaste de medios molidores de acero en un molino de bolas de laboratorio*. [Trabajo de grado, Ingeniería Mecánica]. Universidad Politécnica Salesiana. Obtenido de Repositorio Institucional Universidad Politécnica Salesiana. URL: <https://n9.cl/p1d3k>
- Sandoval Pozo, E. (2019). *Diseño y construcción de un molino de bolas a pequeña escala para la obtención de finos de mineral a partir de un desecho industrial*. [Trabajo de grado, Ingeniería Mecánica]. Universidad Técnica de Machala. Obtenido de Repositorio Institucional Universidad Técnica de Machala. URL: <https://n9.cl/zutmm>
- Sheffield, R. (25 de Octubre de 2021). *Maintenance And Troubleshooting Of Horizontal Ball Mills: Industrial Revolution And Hamming Mill*. Obtenido de <https://n9.cl/x4m9p>
- Steiner, P. (19 de Septiembre de 2012). *What is a ball mill used for?* Obtenido de Hunker: <https://n9.cl/10vn3>
- Tapia, S. A. (2015). *Molinos De Bolas*. [Trabajo de grado]. Universidad de Chile. Obtenido de <https://n9.cl/9eih3>
- Valero Peña, C., & García, C. A. (2017). *Efecto del tiempo de molienda en la distribución de tamaño de partícula en mezclas de Cu-Ni obtenidas por aleación mecánica*. [Trabajo de grado]. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México. Obtenido de <https://n9.cl/9zxb7>
- Vallejo Granados, F., & Sarmiento Sánchez, C. (2022). *Diseño y construcción de un molino de bolas para pulverizar muestras geológicas en el laboratorio de minería de la Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental, periodo 2021-2022*. [Trabajo de grado, Ingeniería en Minas]. Universidad Central del Ecuador, Quito. Obtenido de <https://n9.cl/qnsae>

Impacto de la carga lenta de vehículos eléctricos en la calidad de energía de la red de distribución: Una prospección literaria

Impact of slow charging of electric vehicles on energy quality in the distribution network: a literature prospection

Paúl Morejón-Monteros¹, Daniel Banegas-Arias¹ y Danny Ochoa-Correa^{2,*}

¹ Facultad de Ingeniería, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador; paul.morejonm@ucuenca.edu.ec, daniels.banegas@ucuenca.edu.ec

² Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, Facultad de Ingeniería, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador; danny.ochoac@ucuenca.edu.ec

* Autor para correspondencia: danny.ochoac@ucuenca.edu.ec

Fecha de recepción del manuscrito: 17/04/2024 Fecha de aceptación del manuscrito: 31/05/2024 Fecha de publicación: 30/06/2024

Resumen—La introducción de vehículos eléctricos (VE) se destaca como una estrategia fundamental para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y avanzar en la descarbonización del transporte. No obstante, este cambio plantea desafíos considerables en las redes eléctricas. La adopción generalizada de VE puede generar fluctuaciones en la demanda, picos de carga y afectar la estabilidad de la red eléctrica y la calidad de la energía. En respuesta a estos desafíos, este artículo presenta una revisión sistemática de la literatura utilizando el método PRISMA para evaluar los impactos de la carga lenta de VE en la calidad de la energía de las redes de distribución. Los resultados destacan la tecnología de vehicle-to-grid (V2G) como una solución eficaz al permitir que los VE funcionen como fuentes de generación distribuida. Se mencionan enfoques como algoritmos de distribución de carga, estrategias de carga inteligente y modelos de optimización. A pesar de estos avances, se subraya la limitación de datos reales y estudios locales en América Latina, evidenciándose la necesidad de investigaciones contextualizadas en la región para abordar adecuadamente los desafíos específicos de la integración de VE en las redes eléctricas en un contexto local.

Palabras clave—Calidad de energía, Carga lenta de VE, Redes de distribución, V2G, Vehículos eléctricos.

Abstract—Introducing electric vehicles (EV) is a key strategy for reducing greenhouse gas emissions and advancing transportation decarbonization. However, this transition poses significant challenges in electrical grids. The widespread adoption of EV can lead to demand fluctuations, load peaks, and affect grid stability and power quality. In response to these challenges, this article presents a systematic literature review using the PRISMA method to assess the impacts of slow charging of EV on the power quality of distribution networks. The results highlight vehicle-to-grid (V2G) technology as a practical solution that allows EV to function as distributed generation sources. Approaches like load distribution algorithms, smart charging strategies, and optimization models are mentioned. Despite these advancements, the limitation of actual data and local studies in Latin America is emphasized, underscoring the need for context-specific research in the region to adequately address the specific challenges of integrating EVs into local electrical grids.

Keywords— Power quality, EV slow charging, Distribution networks, V2G, Electrical vehicles.

INTRODUCCIÓN

Historicamente, el aprovechamiento de los combustibles de origen fósil para cubrir las necesidades humanas ha sido el pilar fundamental que ha impulsado el crecimiento económico, la expansión urbana y el progreso tecnológico. Sin embargo, esta dependencia ha tenido serias consecuencias para el medio ambiente, la salud pública y la estabilidad climática del planeta, pues la quema intensa de estos combustibles ha liberado cantidades masivas de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera, exacerbando el cambio climático y sus impactos asociados (Ka-

runathilake y Witharana, 2023).

El sector del transporte es uno de los mayores contribuyentes a las emisiones de GEI, representando aproximadamente el 20% del dióxido de carbono (CO_2) emitido a nivel global, y siendo el transporte terrestre la principal fuente de estas emisiones (Albuquerque *et al.*, 2020). Especialmente en áreas urbanas, donde la congestión del tráfico implica velocidades reducidas y una frecuente detención y arranque, los automóviles convencionales contribuyen significativamente a la contaminación, incluso si los vehículos modernos están equipados con motores de baja emisión de contaminantes (Golovanov y Marinescu, 2019).

En Gómez-Ramírez *et al.* (2023) se menciona que el transporte por carretera ha sido catalogado como el principal emisor de GEI. Por este motivo, se han optado por la implementación de vehículos eléctricos (VE) en reemplazo a los vehículos convencionales. Esta decisión se debe a dos razones principales: preocupaciones ambientales e iniciativas gubernamentales. Los vehículos eléctricos son apreciados por ser amigables con el medio ambiente, lo cual conlleva a bajas emisiones de gases, independencia de combustible y disminución de la contaminación acústica.

En varias zonas del mundo se han propuesto diversas soluciones para la reducción de GEI. Investigadores en Mudaheeranwa *et al.* (2023) mencionan que la tercera Declaración de Comunicación Nacional al Plan de Acción de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, el Ministerio de Medio Ambiente de Ruanda presentó varias soluciones, entre las cuales se destaca la implementación de VE y sistemas eficientes basados en combustibles fósiles.

En Ecuador, la electromovilidad se presenta como una alternativa ambientalmente amigable para el transporte, destacada por iniciativas lideradas por instituciones como la Universidad de Cuenca a través de proyectos emblemáticos como "Mover-U" (UCUENCA, 2023). La implementación de políticas conducentes a la adopción de la electromovilidad ha sido promovida en distintos contextos alrededor del mundo, reflejando una tendencia global hacia la reducción de la huella de carbono y la mejora de la calidad de vida. Por ejemplo, en Bogotá, Colombia, se ha implementado el sistema de autobuses eléctricos TransMilenio (TransMilenio, 2013), mientras que, en Santiago, Chile, se ha expandido la flota de taxis eléctricos y se ha desarrollado una amplia red de estaciones de carga, además de la utilización de trenes eléctricos en el metro (González, 2023). En Montevideo, Uruguay, se promueve la movilidad sostenible mediante el sistema de bicicletas eléctricas compartidas "Movete en Bici" (*Programa Movete en Bici*, s.f.). Por su parte, Shenzhen, China, ha convertido toda su flota de autobuses a eléctricos y fomenta el uso de VE entre sus ciudadanos. Ámsterdam, en los Países Bajos, invierte significativamente en infraestructura de carga y alienta el uso de bicicletas y scooters eléctricos (Pérez *et al.*, 2019).

Es por ello que, en los últimos años, la demanda de los VE en el mundo ha ido en aumento. En 2012, se vendieron cerca de 120,000 VE a nivel mundial. Para 2021, esta cifra ascendió a la cantidad de 6.6 millones, representando así el 10 % de las ventas globales de automóviles y, en el primer trimestre de 2022 las ventas aumentaron un 75 % en comparación con el 2021 (Gómez-Ramírez *et al.*, 2023).

A diferencia de los vehículos tradicionales, los VE requieren hacer uso de la energía eléctrica de la red para la recarga de su baterías. La inserción de los VE es motivo de preocupación para las empresas distribuidoras, debido al impacto potencial en la demanda, la cargabilidad de las redes eléctricas de distribución, el deterioro de la calidad de la energía de la red y el aumento de las pérdidas de energía (Abid *et al.*, 2023).

Prem *et al.* (2020) investigó los efectos en la calidad de la energía procediendo a medir ciertos indicadores de calidad, y observando que la naturaleza no lineal de la carga de los VE, influenciada por su electrónica de potencia, es la principal causa de la degradación de la calidad de la energía medida en

términos del factor de potencia, la distorsión armónica total (THD, por sus siglas en inglés) y la variabilidad del nivel de tensión cuando los VE se conectan a la red. El artículo Bragatto *et al.* (2023) menciona que la carga de los VE puede ocasionar un aumento significativo de la demanda de energía, lo que puede resultar en sobrecargas en los transformadores y alimentadores de las redes de baja tensión y desequilibrios de tensión causados por los cargadores monofásicos y bifásicos de los VE ocasionando graves perjuicios técnicos y operativos del sistema. Los investigadores Wei *et al.* (2022) corroboran esta conclusión al destacar que el proceso de carga de los VE puede llegar a agravar la diferencia pico-valle de carga en la red de distribución y causar problemas como superación de límites de operación del sistema. Por último, Diahovchenko *et al.* (2022) indica que el aumento de la demanda que pueden llegar a experimentar los transformadores de distribución, que alimentan hogares residenciales equipados con estaciones de carga lenta, y que manejan potencias de aproximadamente 10 kW y probablemente se carguen en horas pico, pueden llegar a sobrecargar los transformadores, aumentando su temperatura y acelerando el envejecimiento de los mismos.

Ante tales problemas que ha revelado esta revisión preliminar del estado del arte, se ha verificado en la literatura que en los últimos años se han invertido grandes esfuerzos por mitigar estos impactos negativos. El estudio Gómez-Ramírez *et al.* (2023) señala que los sistemas de distribución en Costa Rica presentan pérdidas energéticas del 11.6 %, con una tendencia a aumentar en el futuro. Para abordar este desafío, el estudio propone una solución a corto plazo que involucra la integración de generación distribuida con energías renovables en las redes de distribución. El objetivo de esta propuesta es satisfacer la demanda en puntos específicos y así reducir las sobrecargas de las líneas de distribución eléctrica. El estudio de Diahovchenko *et al.* (2022) presenta una solución metodológica basada en lógica difusa con la finalidad de reducir el envejecimiento de los transformadores debido a la inserción de VE. El escenario más favorable fue cuando el sistema de distribución de energía se equipó adicionalmente con almacenamiento de energía controlada, instalaciones de paneles fotovoltaicos (PV) y bancos de condensadores en derivación, lo cual redujo hasta más de siete veces el impacto en los transformadores a comparación del caso base.

Adicional a las soluciones aquí reseñadas, se encuentran en desarrollo alternativas como estaciones de carga de VE que incorporan la tecnología vehicle-to-grid (V2G), cuya capacidad de flujo energético bidireccional permite que los VE eventualmente inyecten energía activa y reactiva a la red con el fin de minimizar los efectos adversos de la integración de los VE (Essiet y Sun, 2021). Para avanzar hacia un modelo de transporte más sostenible, especialmente en el contexto de la electromovilidad, es fundamental comprender el estado actual de las estaciones de carga de vehículos eléctricos y evaluar sus posibles impactos en la red de distribución. Además, es esencial estar al tanto de las soluciones tecnológicas disponibles para facilitar una integración amigable de los VE a la red.

En este sentido, este artículo presenta los hallazgos de una revisión exhaustiva de la literatura sobre este tópico de interés actual. Para el efecto, se utiliza la metodología PRISMA, la cual, permitió identificar obras relevantes y actualizadas

en prestigiosos catálogos digitales. La búsqueda bibliográfica arrojó un total de 30 resultados, de los cuales, se seleccionaron 20 obras pertinentes para llevar a cabo un análisis sistemático de la literatura. Este enfoque metodológico ofrece una visión completa y actualizada de los desafíos y oportunidades asociados con la integración de los VE en la red de distribución eléctrica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Crterios de selección de estudios

La recopilación de información se realizó mediante la búsqueda de artículos científicos en las siguientes bases de datos: Scopus, Science Direct, IEEE Xplore y SciELO, utilizando los términos de búsqueda “electric vehicle” AND “slow charging” AND “power quality” y filtrando la búsqueda para el periodo comprendido entre el 2019 y 2024. En la base digital SciELO, los términos de búsqueda fueron ingresados en español: “vehículo eléctrico” AND “carga lenta” AND “calidad de energía”.

Se excluyeron todas las formas de publicación que no fueran consideradas artículos científicos, lo que implicó la exclusión de revisiones, cartas al editor, artículos de opinión, resúmenes de conferencias, discusiones, enciclopedias y libros. Esta selección se realizó mediante la aplicación del filtro “Document type: Article” en Scopus, “Article type: Research Article” en Science Direct y el filtro “Journals” en IEEE Xplore. En el caso de SciELO, no fue necesario aplicar este filtro, ya que únicamente contiene artículos científicos. Además, se restringió la búsqueda a artículos de acceso libre en cada base de datos.

Proceso de búsqueda y selección de estudios

La revisión de artículos se llevó a cabo, siguiendo la metodología PRISMA. Esta metodología garantiza la realización rigurosa y transparente de revisiones sistemáticas y meta-análisis, contribuyendo así a fortalecer la confianza en los resultados y conclusiones presentadas (Page *et al.*, 2021). Cada etapa de este proceso de revisión sistemática se detalla en el diagrama de flujo de la Figura 1.

Las obras relevantes fueron identificadas y seleccionadas en cada base de datos conforme a los criterios de inclusión y exclusión establecidos en la sección anterior. Este procedimiento condujo a la identificación inicial de 30 artículos. Es fundamental destacar que los resultados se obtuvieron exclusivamente en Scopus y Science Direct; en las otras dos bases de datos, no se encontraron artículos que cumplieran con los términos de búsqueda establecidos. Las publicaciones científicas referentes al impacto de los VE en la calidad de energía de redes de baja tensión ha experimentado un notorio crecimiento en los últimos seis años (Figura 2). Se observa una tendencia al alza en el número de publicaciones cada año. A partir de 2021, el interés académico experimentó un aumento notable, alcanzando su punto máximo en 2023. En lo que respecta al 2024, el número de publicaciones es alto, pese a que la fecha de corte de la búsqueda corresponde al mes de mayo del mismo año. Los resultados muestran que esta tendencia creciente se mantendrá durante los próximos años.

Adicionalmente, en las Figuras 3 y 4 se presenta la distribución del número de publicaciones por país y continen-

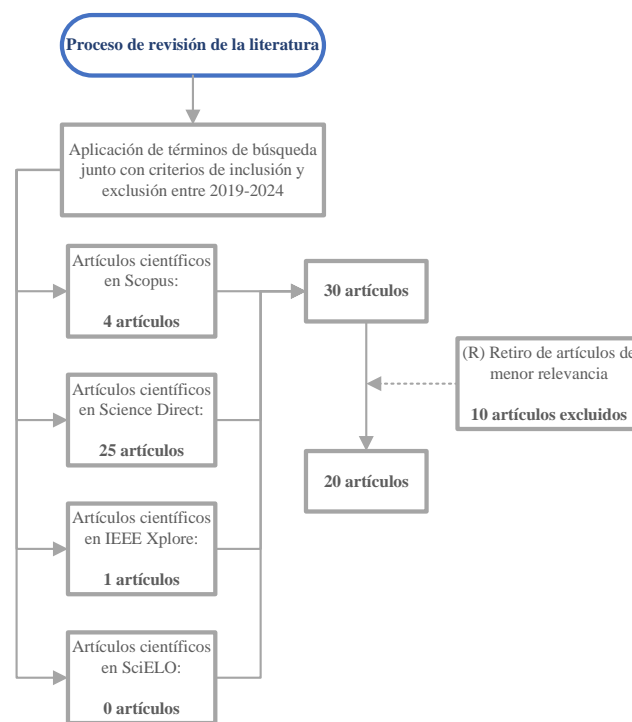


Fig. 1: Diagrama de flujo del proceso de revisión de la literatura.

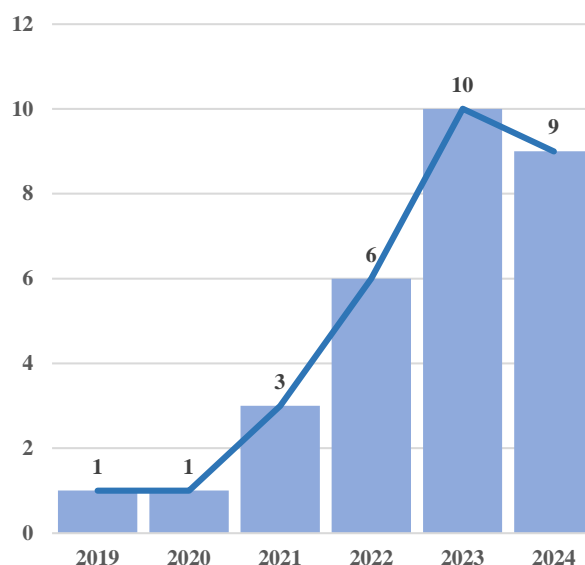


Fig. 2: Tendencia anual de publicaciones.

te, respectivamente. Resulta evidente en esta búsqueda que, Europa y Asia lideran tales investigaciones en términos de cantidad de publicaciones. Se espera que en los años venideros, los demás continentes muestren un creciente interés en investigaciones relacionadas con VE, contribuyendo así hacia una transición efectiva hacia esta solución de movilidad en países en vías de desarrollo.

Los metadatos de cada artículo fueron exportados a archivos con extensión (.ris) y gestionados en Zotero para eliminar posibles duplicidades. Aunque existen herramientas especializadas y robustas para estudios bibliométricos, como R: library(bibliometrix), VOSviewer y CiteSpace, en esta investigación se optó por utilizar Zotero y Microsoft Excel para el análisis de metadatos dado el tamaño de la muestra primaria del estudio. Estas dos herramientas permitieron una

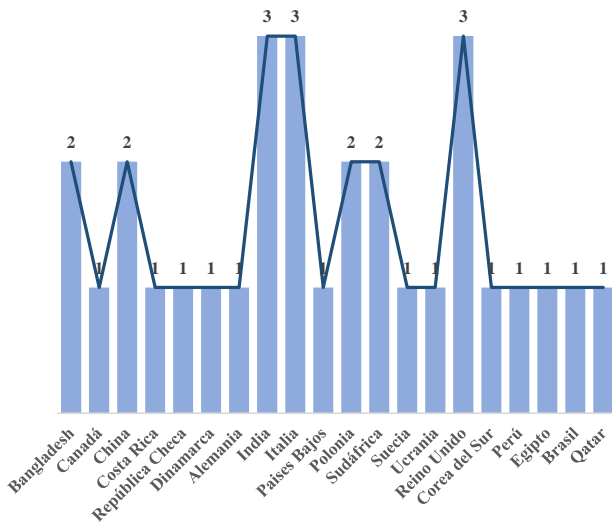


Fig. 3: Número de publicaciones por país.

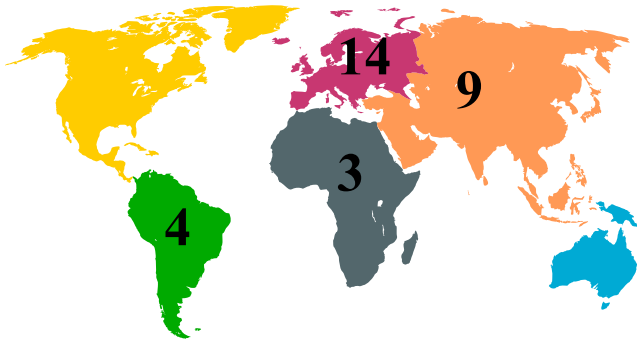


Fig. 4: Número de publicaciones por continente.

gestión eficiente y precisa de los 30 artículos seleccionados, facilitando la aplicación de criterios de exclusión y el análisis detallado de los datos. Posteriormente, se llevó a cabo una lectura analítica de los artículos con el objetivo de descartar aquellos documentos científicos que no aportaran información sustancial sobre el impacto de la carga lenta de VE en la calidad de energía de las redes de baja tensión. Esta fase, se identificó como (R) “Retiro de artículos de menor relevancia”.

Concluida esta revisión, la base de datos de interés se vio reducida a un conjunto final de 20 artículos indexados. Los detalles de esta última etapa del proceso se resumen en la Tabla 1, la cual recoge de manera integral todos los criterios de inclusión y exclusión aplicados.

RESULTADOS

Impacto de los vehículos eléctricos en la red eléctrica

Se destaca en Chudy y Mazurek (2019) la necesidad de una infraestructura de carga inteligente; la gestión eficiente de la carga tiene el potencial de minimizar la presión sobre la red eléctrica, mejorando su estabilidad y por ende su eficiencia. Por otra parte, en Manimaran y Ranihemamalini (2023) se centra el análisis en la ubicación estratégica de estaciones de carga lenta a lo largo de la topología del sistema de distribución. Tal estudio muestra que una distribución adecuada y planificada puede influir positivamente en la cargabilidad de la red eléctrica, reduciendo la congestión y mejorando la

distribución de la carga de los VE.

Respecto a los modos de carga de los VE, en Muttaqi *et al.* (2024) se ofrece un análisis detallado de las fluctuaciones de tensión causadas por la recarga de baterías de los VE, lo que en última instancia repercute en la estabilidad y confiabilidad de la red. Además, en este trabajo junto con Muttaqi *et al.* (2024); Hu *et al.* (2021) se exponen las variaciones en corriente y potencia que aparecen durante la carga de VE. Tales registros proporcionan una perspectiva amplia sobre cómo estas variaciones impactan en la calidad de energía y enfatizan en la importancia de un monitoreo continuo de dichos parámetros eléctricos.

En los artículos Manimaran y Ranihemamalini (2023); Kuwałek y Wiczyński (2022) se propone un modelo híbrido de estado de carga para VE que participen en servicios V2G. En esta interacción bidireccional entre el VE y la red eléctrica se busca un compromiso entre la gestión energética responsable de la batería del vehículo, por parte de la red y la efectividad en la provisión de servicios complementarios a la red de distribución en el punto de conexión.

El trabajo documentado por (Varone *et al.*, 2024) destaca que la carga simultánea de VE en estacionamientos solares puede generar picos de demanda de energía, sobrecargando las redes existentes. Propone estrategias como la gestión de la demanda y la implementación de sistemas de almacenamiento de energía para mitigar estos impactos.

Un modelo dinámico para analizar el comportamiento de los VE en redes de distribución, abordando problemas como la regulación de voltaje, la calidad de la energía y la congestión se presenta en (Tian *et al.*, 2024). En este trabajo se enfatiza la necesidad de ajustar adecuadamente los parámetros de control de los cargadores de VE para mantener la estabilidad de la red.

Por otro lado, la investigación conducida por (Pretorius *et al.*, 2024) analiza la electrificación de taxis tipo minibús en África subsahariana, destacando la importancia de modelos de simulación realistas para predecir el impacto en una red eléctrica frágil y encontrar un equilibrio entre movilidad y demanda energética.

Finalmente, una técnica de predicción de las demandas de carga de VE en redes urbanas utilizando modelos de simulación basados en datos reales de viajes y tráfico se introduce en (Mahmoudi *et al.*, 2024). Este estudio resalta la importancia de planificar eficientemente las estaciones de carga para evitar sobrecargas en la red eléctrica

Efectos en la calidad de la energía en redes de baja tensión

En Essiet y Sun (2021) se analiza que la carga masiva de VE puede tener un impacto significativo en la red de distribución de baja tensión. La variabilidad en la demanda y los picos de carga pueden afectar la estabilidad de la red y la calidad de la energía suministrada a los usuarios, como aparición de armónicos o fluctuaciones del nivel de tensión. Además, puede llegar a producir sobrecargas en los transformadores, afectando a la vida útil de los mismos. Por lo tanto, el artículo propone un modelo híbrido de estado de carga para VE con capacidad a la red, además de que mejora el rendimiento de las baterías, también ayuda a aumentar la capacidad de la red durante horas pico o de emergencia, mejorando así la

Tabla 1: Resumen de los criterios de selección de los artículos científicos.

Concepto	Tipo de criterio	Criterio
Indexación de artículos	Inclusión	Artículos indexados en Scopus, Science Direct, IEEE Xplore y SciELO.
	Exclusión	Otros.
Lenguaje de la publicación	Inclusión	Español e inglés.
Fecha de publicación	Inclusión	Estudios publicados entre los años 2019 y 2024.
Disponibilidad	Inclusión	Acceso libre.
Tema principal del artículo	Inclusión	Todos los artículos debían incluir en su título, resumen o palabras clave los siguientes términos de búsqueda en inglés: power quality, electric vehicle, slow charging; o su traducción al español: vehículo eléctrico, carga lenta, calidad de energía.
Tipo de publicación	Exclusión	Se excluyeron todas las publicaciones distintas a artículos científicos. No se incluyeron artículos de revisión, cartas al editor, artículos de opinión, resúmenes de congresos, discusiones, enciclopedias ni libros, entre otros.
Información no relevante	Exclusión	Se excluyeron todos los artículos que no abordaran de manera exhaustiva, o simplemente no abordaran en absoluto, el impacto de los VE en la calidad de energía en redes de bajo voltaje.

estabilidad de la misma. Por otro lado, Muttaqi *et al.* (2024) menciona que existen problemas de calidad de energía, como armónicos, transitorios y sobretensiones, impactan la estabilidad y confiabilidad de las redes eléctricas. La naturaleza no lineal de la carga de los VE es la razón principal de su impacto en la calidad de la energía de la red. También se estudiaron las variaciones en el factor de potencia y THD al conectar VE al sistema de energía, provocando daños en ciertos equipos e interrupciones de servicio. Investigadores en Chaudry *et al.* (2022) indican que el aumento proyectado en la demanda eléctrica y la necesidad de descarbonización plantean desafíos para la red eléctrica del Reino Unido. Por ello, se presentan soluciones como implementación de sistemas de gestión de carga inteligente para equilibrar la demanda de VE y reducir picos de carga, uso de tecnologías de almacenamiento de energía, como baterías, para estabilizar la red y disminuir la variabilidad de la demanda.

Adicionalmente, el artículo (Paucara *et al.*, 2024) aborda cómo los cargadores bidireccionales de VE pueden mejorar la calidad de la energía en redes de baja tensión mediante el soporte de inercia virtual, soporte de frecuencia-voltaje y compensación de armónicos, mitigando así los problemas derivados de la integración de energías renovables. Finalmente,

en (Jain y Bhullar, 2024) se resaltan los desafíos de la integración de VE en la red eléctrica, como los altos costos de las baterías y los largos tiempos de carga, y propone soluciones como el uso de energía solar fotovoltaica para reducir la demanda en la red y mejorar la calidad de la energía.

Integración de energías renovables y vehículos eléctricos

En Essiet y Sun (2021); Chaudry *et al.* (2022) se determina que los VE tienen la capacidad de actuar como sistemas de almacenamiento energético. Esta capacidad se presenta como una estrategia crucial mitigar la variabilidad inherente de las fuentes de energía renovables, abordando así los desafíos asociados a su intermitencia. Además de que la gestión óptima de carga de vehículos y su participación en servicios V2G contribuyen a la estabilidad de la red, también genera beneficios económicos. Estos beneficios incluyen ahorros en generación de energía a gas y la reducción de emisiones de GEI.

En Essiet y Sun (2021) se propone, además, que la optimización de modelos de baterías puede maximizar los beneficios tanto para los operadores de la red eléctrica como

para los propietarios de VE. Mediante un enfoque multiobjetivo se optimizan los parámetros y se garantiza la salud de las baterías para operaciones V2G y, en sentido inverso, el concepto grid-to-vehicle (G2V).

La adopción masiva de VE se percibe como un componente crucial en la transición hacia emisiones netas cero, ya que estos no emiten gases de escape y, por lo tanto, pueden ayudar a reducir significativamente las emisiones GEI del sector del transporte. Además, la prohibición de la venta de vehículos de gasolina y diésel es una medida que algunos países están considerando para acelerar la adopción de VE y alcanzar los objetivos de emisiones netas cero. Por ejemplo, el Reino Unido ha anunciado que prohibirá la venta de vehículos nuevos de gasolina y diésel a partir de 2030, y otros países, como Francia y Noruega, también han establecido objetivos similares (Chaudry *et al.*, 2022).

Se presenta en (Varone *et al.*, 2024) una plataforma IoT para la gestión inteligente de estacionamientos solares, optimizando la carga de VE con energía fotovoltaica y almacenamiento de energía para minimizar la dependencia de la red eléctrica.

Por otro lado, el artículo (Jain y Bhullar, 2024) discute los beneficios de integrar energía solar fotovoltaica en los sistemas de carga de VE, como la reducción de costos y la menor demanda en la red eléctrica, destacando la importancia de la investigación en algoritmos de control avanzados y la optimización de la interfaz de red. A su vez, en (Nafeh *et al.*, 2024) se propone la combinación de sistemas fotovoltaicos con almacenamiento de baterías para gestionar la variabilidad de la generación solar y garantizar un suministro estable de energía para la carga de VE, aliviando así la presión sobre la red durante los picos de demanda.

Desafíos y soluciones en la descarbonización del transporte

Los desafíos en la descarbonización del sector del transporte son ampliamente abordados en Manimaran y Ranihemalini (2023); Wei *et al.* (2022); Bragatto *et al.* (2023); Chaudry *et al.* (2022). Estos estudios resaltan que si bien la electrificación de vehículos es un paso fundamental, por sí sola no es suficiente para alcanzar los objetivos de descarbonización, subrayando la necesidad de enfoques complementarios. En particular, investigaciones como las de Wei *et al.* (2022); Mudaheranwa *et al.* (2023); Chaudry *et al.* (2022) hacen hincapié en la importancia de políticas de incentivos y la eliminación de barreras para acelerar la adopción de VE. Estos enfoques pueden incluir subsidios, infraestructura de carga accesible y programas de concienciación destinados a superar la resistencia del consumidor hacia la eco-movilidad.

En los artículos Chaudry *et al.* (2022); Essiet y Sun (2021) se discute acerca de la sostenibilidad económica de la transición hacia VE y la necesidad de equilibrar costos y beneficios a largo plazo. Se señala que, aunque los VE tienen un costo inicial más alto en comparación con los vehículos de combustión interna, los costos de mantenimiento son significativamente más bajos. Además, la infraestructura de carga es un factor importante a considerar en la transición hacia VE. También se discute la capacidad de la red eléctrica para manejar la carga masiva de los mismos y se sugieren soluciones para abordar este desafío, como la implementación de

tecnologías de carga inteligente y la integración de energías renovables en la red eléctrica. Además, es crucial considerar el impacto económico a largo plazo de la reducción de las emisiones de GEI y la dependencia de los combustibles fósiles, así como los beneficios potenciales en términos de salud pública y sostenibilidad ambiental.

La coordinación efectiva entre los sectores de energía y transporte es esencial para lograr la descarbonización y garantizar una transición sostenible hacia los VE. La planificación integrada y la colaboración entre gobiernos nacionales y locales son fundamentales para garantizar que se aborden los desafíos y oportunidades de manera efectiva y se maximicen los beneficios para la sociedad en general (Chaudry *et al.*, 2022).

Un modelo de negocio integral para el ecosistema de carga de VE, en el cual se abordan los desafíos de la infraestructura de carga y se promueven soluciones innovadoras y sostenibles para facilitar la adopción de VE se propone en (Sabyasachi *et al.*, 2024). Luego, en el estudio (Pretorius *et al.*, 2024) se subraya la complejidad de electrificar taxis tipo minibús en África subsahariana debido a la fragilidad de la red eléctrica y se proponen estrategias como el uso de modelos de simulación específicos y algoritmos de asignación de recursos para optimizar la relación entre movilidad y demanda energética.

Finalmente, la investigación conducida por (Nafeh *et al.*, 2024) discute cómo la integración de sistemas fotovoltaicos y almacenamiento de baterías puede mitigar los impactos negativos de la carga de VE en la red eléctrica, promoviendo una solución sostenible para la descarbonización del transporte.

Mitigación de los impactos negativos en las redes eléctricas

En lo que concierne a la mitigación de los impactos negativos en las redes eléctricas, la revisión de literatura reveló que la investigación reportada en Muttaqi *et al.* (2024) propone el uso de un algoritmo de distribución de problemas de carga basado en teorías juegos. Este algoritmo introduce un perfil de carga de forma rectangular que representa la demanda asociada a los VE. Esta metodología ofrece una alternativa robusta a los métodos convencionales existentes, ya que permite equilibrar las pérdidas de energía y reducir el envejecimiento de los transformadores. A pesar de las ventajas mencionadas, existen pérdidas de optimibilidad y convergencia.

Otro método abordado en el artículo Muttaqi *et al.* (2024) es la carga inteligente para la mejora de la calidad de la energía en las redes eléctricas. Este método se basa en un algoritmo de carga inteligente basado en un controlador de caída, el cual se centra en mitigar aspectos claves de la calidad de tensión, como caídas de tensión. Experimentos realizados han demostrado ventajas significativas en la mejora de la calidad de energía, incluso en redes altamente desequilibradas.

Además, el estudio menciona el uso de un método de flujo de potencia con alta tasa de convergencia y un algoritmo genético para optimización. Este enfoque se centró en la asignación óptima de estacionamientos y la incorporación de un sistema PV. Se destaca que la programación inteligente de cargas de VE durante la noche, combinada con sistemas PV,

podría reducir las pérdidas del sistema y mejorar el perfil de tensión.

En el artículo (Varone *et al.*, 2024) se proponen estrategias como la gestión inteligente de la carga y el uso de sistemas de almacenamiento de energía para minimizar los picos de demanda y optimizar el uso de energía renovable, reduciendo así la presión sobre la red eléctrica. Además, autores en (Tian *et al.*, 2024) proponen un modelo equivalente dinámico para simular el comportamiento de VE en redes de distribución, destacando la importancia de ajustar los parámetros de control de los cargadores para evitar problemas de congestión y mantener la estabilidad de la red. Por último, en (Paucara *et al.*, 2024), se introduce una estrategia para gestionar un sistema de almacenamiento de energía híbrido mediante cargadores bidireccionales de VE, proporcionando soporte de inercia virtual y mejorando la estabilidad de la red eléctrica.

Gestión inteligente de la carga y vehicle-to-grid (V2G)

La tecnología (V2G) es una de las mayores ventajas de los VE. Esta tecnología ofrece varias ventajas, como la posibilidad de utilizar las baterías de los vehículos como una fuente de almacenamiento de energía temporal para gestionar la carga durante períodos de alta demanda o para proporcionar servicios auxiliares a la red, como la regulación de frecuencia o la reserva de capacidad. El V2G también puede contribuir a la estabilización de la red eléctrica, a la integración de energías renovables intermitentes y a la reducción de los costos operativos de las redes eléctricas. Sin embargo, su implementación plena enfrenta desafíos técnicos, regulatorios y de infraestructura que deben ser abordados para aprovechar todo su potencial.

Essiet y Sun (2021) presenta un modelo híbrido de estado de carga para vehículos con capacidad de V2G. Este modelo consiste en la optimización de la carga de la batería y en mantener la estabilidad de la red en horas de alto consumo.

Los hallazgos del estudio concluyen que la tecnología V2G posee el potencial de mejorar significativamente la estabilidad de la red, aumentando su capacidad y maximizando la eficiencia energética al permitir que los vehículos actúen como fuentes de generación de energía distribuida.

Asimismo, se destaca la importancia de optimizar la carga de las baterías de los VE para maximizar los beneficios de la tecnología V2G, tanto para los usuarios finales como para los operadores de la red. Además, la inclusión de los parámetros del modelo de batería en la función objetivo del modelo del agregador de VE puede mejorar aún más la estabilidad de la red eléctrica y maximizar los beneficios financieros tanto para los consumidores como para las empresas distribuidoras.

En el artículo (Varone *et al.*, 2024) se destaca la implementación de una plataforma IoT para la gestión inteligente de la carga de flotas de VE en estacionamientos solares, optimizando el uso de energía renovable y permitiendo la participación en el mercado eléctrico mediante estrategias V2G. Adicionalmente, en (Paucara *et al.*, 2024) se propone la gestión de un sistema de almacenamiento de energía híbrido a través de cargadores bidireccionales de VE para proporcionar soporte de inercia virtual y estabilidad de voltaje, mejorando la gestión de la carga y la integración de VE en la red eléctrica.

Finalmente, en (Jain y Bhullar, 2024) se ofrece una intere-

sante discusión respecto la implementación de sistemas de carga inteligente y la integración de fuentes de energía renovable para optimizar la carga de VE y reducir la presión sobre la red eléctrica, promoviendo una gestión eficiente de la carga y la adopción de tecnologías V2G.

La Figura 5 presenta un cuadro sinóptico que resume los principales hallazgos de la presente revisión de literatura.

DISCUSIÓN

La revisión de la literatura realizada sobre la evaluación del impacto de la carga lenta de VE en la calidad de energía en una red de distribución de baja tensión proporciona una idea del panorama actual y hacia dónde las investigaciones pretenden llegar. Existe un consenso de que la mejor alternativa para la reducción de emisiones de GEI es la transición de los vehículos convencionales a VE, por ello, en varios países existen políticas con el objetivo de acelerar este proceso. Con esta medida se busca conseguir una reducción considerable de la dependencia de los combustibles fósiles provenientes del sector del transporte.

Pero este importante cambio conlleva repercusiones significativas, como es el caso de la afección a la infraestructura eléctrica. Por ello, la revisión realizada indica el impacto de la inserción de los VE en los sistemas de distribución causado por la instalación de estaciones de carga lenta de los VE, cuya proliferación puede afectar a la calidad de la energía, provocar un aumento de la demanda, la aparición de fluctuaciones de tensión o perjudicar la estabilidad en el sistema. Se ha encontrado que las investigaciones concentran sus esfuerzos para encontrar formas de reducir estos efectos, las cuales incluyen modelos de optimización de carga que ayuden a la reducción de la demanda en horas pico. También mediante la implementación de nuevas tecnológicas como es el caso de V2G que coadyuva a la estabilización del sistema.

Sin embargo, la revisión expone que existen ciertas limitaciones, como es el caso de los bajos niveles de penetración de VE en entornos urbanos, imposibilitando un estudio real y a una escala significativa. Este hecho ha obligado a que la mayoría de estudios sean realizados en base a métodos probabilísticos y muy ajustados hacia determinados sitios, impidiendo un escenario de estudio real preciso y generalizable.

En Ecuador, aunque existen estudios interesantes y útiles aún no se disponen de investigaciones con resultados concluyentes. Esto resalta la urgencia de emprender investigaciones específicas sobre los efectos derivados de la masificación de VE en el contexto local. El presente artículo de revisión pretende servir como punto de partida para iniciar estos estudios en un contexto propio, siendo fundamental para que las empresas distribuidoras ecuatorianas puedan anticiparse, tomar precauciones y ejecutar acciones preventivas de manera estratégica.

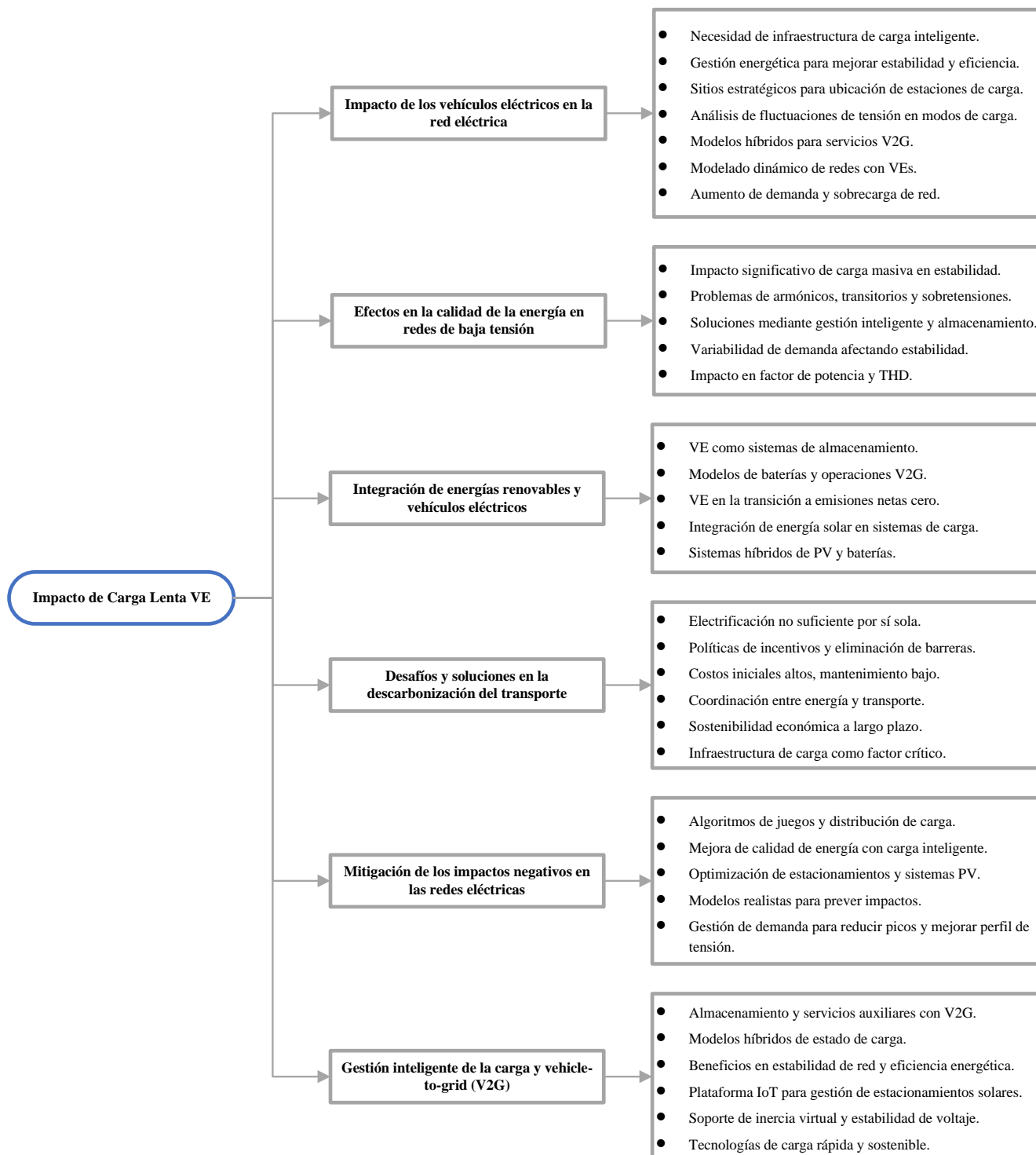


Fig. 5: Resumen de los principales hallazgos de la revisión de literatura.

CONCLUSIONES

La exhaustiva revisión de la literatura documentada en este artículo ofrece una visión precisa de los efectos de la carga lenta de VE en la calidad de la energía en redes de baja tensión en diversos países. La metodología PRISMA ha proporcionado una estructura detallada para llevar a cabo la revisión de manera sistemática, garantizando así la exhaustividad y transparencia del proceso. Este enfoque facilita la replicación del proceso de revisión por parte de otros investigadores, lo que contribuye a la verificación de los resultados con el menor sesgo posible. Al examinar detenidamente los análisis de los artículos, se hizo evidente la escasa investigación en esta rama de la electromovilidad, la cual ha experimentando un crecimiento significativo a partir del año 2021. Europa y Asia destacan como los continentes líderes en la realización de estudios en este tópico.

Una estrategia clave para la reducción de emisiones GEI y la descarbonización del sector del transporte es la transición hacia los VE. Sin embargo, esta transición trae consigo diversos cambios tanto a nivel de consumidor como de red. La inserción masiva de VE en la red eléctrica plantea desafíos significativos en la distribución de baja tensión. La carga de VE puede generar variabilidad en la demanda y picos de carga, afectando la estabilidad y calidad de la energía. Además, la recarga de baterías de VE puede causar fluctuaciones de tensión, afectando el equilibrio y confiabilidad de la red. Es por ello que los hallazgos de la revisión de literatura proporcionan estrategias y enfoques destinados al control y/o mitigación de impactos negativos en los sistemas de distribución por la transición a VE.

La tecnología V2G, al permitir que los VE actúen eventualmente como fuentes de generación distribuida, se presenta como una solución eficaz para mejorar la estabilidad de la red. Complementando esta perspectiva, estudios proponen la aplicación de modelos de optimización que abarcan la carga, ubicación de estacionamientos y asignación de recursos. Asimismo, la implementación de algoritmos de distribución de carga y estrategias de carga inteligente basadas en teorías de juegos y controladores específicos se sugiere para mitigar problemas como caídas de tensión y mejorar la calidad de la energía. En este contexto, las investigaciones consultadas destacan la importancia del monitoreo continuo de parámetros eléctricos durante la carga como una medida esencial para garantizar la calidad de la energía suministrada.

Finalmente, se resalta la necesidad de desarrollar e implementar una infraestructura de carga inteligente, ubicación estratégica de estaciones de carga lenta y la coordinación efectiva entre el sector consumidor y distribuidor para abordar los desafíos. Electrificar los medios de propulsión de vehículos es fundamental, pero la existencia de barreras, tales como altos costos iniciales en comparación con vehículos de combustión interna y la falta de incentivos logísticos y económicos pueden frenar su adopción masiva. Su estudio representa actualmente un problema en el ámbito académico e investigativo por la escasez de datos reales en un entorno local, el cual obliga a recurrir a modelos probabilísticos. Esta limitación obstaculiza el progreso en la comprensión del tema, especialmente en naciones de América Latina, como es el caso de Ecuador.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad de Cuenca por facilitar el acceso al Laboratorio de Micro-Red del Centro Científico, Tecnológico y de Investigación Balzay (CTTI-B), en cuyas instalaciones fue realizada la presente investigación. Este trabajo forma parte de las actividades investigativas del proyecto titulado «Promoviendo la sostenibilidad energética: Transferencia de conocimientos en generación solar y micro-movilidad eléctrica dirigida a la población infantil y adolescente de la parroquia Cumbe», ganador de la XI Convocatoria de proyectos de servicio a la comunidad organizado por la Dirección de Vinculación con la Sociedad de la Universidad de Cuenca, Ecuador, bajo la dirección del autor Danny Ochoa-Correa.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Conceptualización: P.M.-M., D.B.-A. y D.O.-C.; metodología: P.M.-M., D.B.-A. y D.O.-C.; análisis formal: D.O.-C.; investigación: P.M.-M. y D.B.-A.; recursos: D.O.-C.; curación de datos: P.M.-M. y D.B.-A.; redacción — preparación del borrador original: P.M.-M. y D.B.-A.; redacción — revisión y edición: D.O.-C.; visualización: P.M.-M. y D.B.-A.; supervisión: D.O.-C.; administración de proyecto: D.O.-C. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

FINANCIAMIENTO

No aplica. Esta investigación no recibe financiación alguna.

REFERENCIAS

- Abid, M. S., Apon, H. J., Alavi, A., Hossain, M. A., y Abid, F. (2023, febrero). Mitigating the Effect of Electric Vehicle integration in Distribution Grid using Slime Mould Algorithm. *Alexandria Engineering Journal*, 64, 785–800. Descargado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110016822006160> doi: 10.1016/j.aej.2022.09.022
- Albuquerque, F. D., Maraqa, M. A., Chowdhury, R., Mauga, T., y Alzard, M. (2020). Greenhouse gas emissions associated with road transport projects: current status, benchmarking, and assessment tools. *Transportation Research Procedia*, 48, 2018–2030.
- Bragatto, T., Carere, F., Cresta, M., Gatta, F., Geri, A., Maccioni, M., y Paulucci, M. (2023, agosto). Developing a public EV charging infrastructure in a DSO's perspective: Hosting capacity assessment and grid reinforcements on a real case study. *Electric Power Systems Research*, 221, 109463. Descargado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378779623003528> doi: 10.1016/j.epsr.2023.109463
- Chaudry, M., Jayasuriya, L., Blainey, S., Lovric, M., Hall, J. W., Russell, T., ... Wu, J. (2022, enero). The implications of ambitious decarbonisation of heat and road transport for Britain's net zero carbon energy systems. *Applied Energy*, 305, 117905. Descargado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261921012186> doi: 10.1016/j.apenergy.2021.117905
- Chudy, A., y Mazurek, P. (2019, noviembre). Electromobility – the Importance of Power Quality and

- Environmental Sustainability. *Journal of Ecological Engineering*, 20(10), 15–23. Descargado 2023-12-18, de <http://www.journalssystem.com/jeeng/Electromobility-the-Importance-of-Power-Quality-and-Environmental-Sustainability,112713,0,2.html> doi: 10.12911/22998993/112713
- Diahovchenko, I., Petrichenko, R., Petrichenko, L., Mahnitko, A., Korzh, P., Kolcun, M., y Čonka, Z. (2022, septiembre). Mitigation of transformers' loss of life in power distribution networks with high penetration of electric vehicles. *Results in Engineering*, 15, 100592. Descargado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590123022002626> doi: 10.1016/j.rineng.2022.100592
- Essiet, I. O., y Sun, Y. (2021, noviembre). Optimal open-circuit voltage (OCV) model for improved electric vehicle battery state-of-charge in V2G services. *Energy Reports*, 7, 4348–4359. Descargado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484721004947> doi: 10.1016/j.egyr.2021.07.029
- Golovanov, N., y Marinescu, A. (2019). Electromobility and climate change. En *2019 8th international conference on modern power systems (mps)* (pp. 1–5).
- González, J. (2023, octubre). *Chile: “Mi Taxi Eléctrico” entra en su segunda etapa*. Descargado 2024-05-23, de <https://latamobility.com/chile-mi-taxi-electrico-entra-en-su-segunda-etapa/>
- Gómez-Ramírez, G. A., Solis-Ortega, R., y Ross-Lépiz, L. A. (2023, noviembre). Impact of electric vehicles on power transmission grids. *Heliyon*, 9(11), e22253. Descargado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844023094616> doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e22253
- Hu, J., Zhou, H., Zhou, Y., Zhang, H., Nordströmd, L., y Yang, G. (2021, agosto). Flexibility Prediction of Aggregated Electric Vehicles and Domestic Hot Water Systems in Smart Grids. *Engineering*, 7(8), 1101–1114. Descargado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095809921002605> doi: 10.1016/j.eng.2021.06.008
- Jain, A., y Bhullar, S. (2024, junio). Operating modes of grid integrated PV-solar based electric vehicle charging system- a comprehensive review. *e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, 8, 100519. Descargado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772671124001013> doi: 10.1016/j.prime.2024.100519
- Karunathilake, H., y Witharana, S. (2023). Fossil fuels and global energy economics. En *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences* (p. B9780323939409000505). Elsevier. Descargado 2024-05-31, de <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780323939409000505> doi: 10.1016/B978-0-323-93940-9.00050-5
- Kuwałek, P., y Wiczyński, G. (2022, diciembre). Monitoring Single-Phase LV Charging of Electric Vehicles. *Sensors*, 23(1), 141. Descargado 2023-12-18, de <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/1/141> doi: 10.3390/s23010141
- Mahmoudi, E., Santos Barros, T. A. d., y Filho, E. R. (2024, junio). Forecasting urban electric vehicle charging power demand based on travel trajectory simulation in the realistic urban street network. *Energy Reports*, 11, 4254–4276. Descargado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484724002105> doi: 10.1016/j.egyr.2024.04.005
- Manimaran, B., y Ranihemamalini, R. (2023, febrero). Antlion-based sliding mode control of vienna rectifier for internet of electric vehicle. *Measurement: Sensors*, 25, 100651. Descargado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2665917422002859> doi: 10.1016/j.measen.2022.100651
- Mudaheranwa, E., Sonder, H. B., Cipcigan, L., y Ugalde-Loo, C. E. (2023, julio). Feasibility study and impacts mitigation with the integration of Electric Vehicles into Rwanda's power grid. *Electric Power Systems Research*, 220, 109341. Descargado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378779623002304> doi: 10.1016/j.epsr.2023.109341
- Muttaqi, K. M., Isac, E., Mandal, A., Sutanto, D., y Akter, S. (2024, enero). Fast and random charging of electric vehicles and its impacts: State-of-the-art technologies and case studies. *Electric Power Systems Research*, 226, 109899. Descargado 2023-12-18, de <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378779623007873> doi: 10.1016/j.epsr.2023.109899
- Nafeh, A. E.-S. A., Omran, A. E.-F. A., Elkholly, A., y Yousef, H. (2024, marzo). Optimal economical sizing of a PV-battery grid-connected system for fast charging station of electric vehicles using modified snake optimization algorithm. *Results in Engineering*, 21, 101965. Descargado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590123024002184> doi: 10.1016/j.rineng.2024.101965
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., ... Alonso-Fernández, S. (2021, septiembre). Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Revista Española de Cardiología*, 74(9), 790–799. Descargado 2024-05-23, de <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0300893221002748> doi: 10.1016/j.recesp.2021.06.016
- Paucara, J. D., Peña, J. C. U., y Sal Y Rosas, D. (2024). HESS Management for Virtual Inertia, Frequency, and Voltage Support Through Off-Board EV Bidirectional Chargers. *IEEE Open Journal of the Industrial Electronics Society*, 5, 376–385. Descargado 2024-05-20, de <https://ieeexplore.ieee.org/document/10508895/> doi: 10.1109/OJIES.2024.3394290
- Prem, P., Sivaraman, P., Sakthi Suriya Raj, J. S., Jagabar Sathik, M., y Almakhles, D. (2020, octubre). Fast charging converter and control algorithm for solar PV battery and electrical grid integrated electric vehicle charging station. *Automatika*, 61(4), 614–625. Descargado 2023-12-18, de <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00051144.2020.1810506> doi: 10.1080/00051144.2020.1810506
- Pretorius, B., Strauss, J., y Booysen, M. (2024, abril). Grid and mobility interdependence in the eventual electrification of operational minibuses in cities in sub-Saharan Africa. *Energy for Sustainable Development*, 79, 101411. Descargado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0973082624000371> doi: 10.1016/j.esd.2024.101411
- Programa Movete en Bici*. (s.f.). Descargado 2024-05-23, de <http://fcg.uader.edu.ar/index.php/programa-movete-en-bici.html>

- Pérez, D., Gutiérrez, M. C., y Mix Vidal, R. (2019, abril). *Electromovilidad: Panorama actual en América Latina y el Caribe: Versión infográfica* (Inf. Téc.). <https://publications.iadb.org/es/electromovilidad-panorama-actual-en-america-latina-y-el-caribe-version-infografica>. Descargado 2024-05-22, de <https://publications.iadb.org/es/electromovilidad-panorama-actual-en-america-latina-y-el-caribe-version-infografica> doi: 10.18235/0001654
- Sabyasachi, S., Singh, A. R., Godse, R., Jaiswal, S., Bajaj, M., Srivastava, I., ... Misak, S. (2024, abril). Reimagining E-mobility: A holistic business model for the electric vehicle charging ecosystem. *Alexandria Engineering Journal*, 93, 236–258. Descargado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110016824002229> doi: 10.1016/j.aej.2024.03.004
- Tian, H., Kontis, E. O., Barzegkar-Ntovom, G. A., Papadopoulos, T. A., y Papadopoulos, P. N. (2024, junio). Dynamic modeling of distribution networks hosting electric vehicles interconnected via fast and slow chargers. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 157, 109811. Descargado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142061524000322> doi: 10.1016/j.ijepes.2024.109811
- TransMilenio. (2013, agosto). *Historia de TransMilenio*. Descargado 2024-05-23, de <https://www.transmilenio.gov.co/publicaciones/146028/historia-de-transmilenio/>
- UCUENCA. (2023). *En cuenca se impulsa la movilidad sostenible – ucuenca*. Descargado 2023-10-03, de <https://www.ucuenca.edu.ec/noticias/en-cuenca-se-impulsa-la-movilidad-sostenible/>
- Varone, A., Heilmann, Z., Porruvecchio, G., y Romanino, A. (2024, enero). Solar parking lot management: An IoT platform for smart charging EV fleets, using real-time data and production forecasts. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 189, 113845. Descargado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032123007037> doi: 10.1016/j.rser.2023.113845
- Wei, W., Xu, L., Xu, J., Liu, C., Jiang, X., y Liao, K. (2022, noviembre). Coupled dispatching of regional integrated energy system under an electric-traffic environment considering user equilibrium theory. *Energy Reports*, 8, 8939–8952. Descargado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484722012720> doi: 10.1016/j.egyr.2022.07.008

Prospección geológica para calizas en el sector Zambí, ubicado en la parroquia Zambí, cantón Catamayo, provincia de Loja

Geological prospecting of limestone in the Zambí sector, located in the Zambí parish, Catamayo canton, province of Loja

Oscar Estrella ^{1,*}, Hernan Luis Castillo Garcia ¹, Fernando Javier Rengel Jiménez ¹ y Junior Alejandro Cobos Ramírez¹

¹ Carrera de Ingeniería en Minas, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador

* Autor para correspondencia: oaestrellal@unl.edu.ec

Fecha de recepción del manuscrito: 25/04/2024 Fecha de aceptación del manuscrito: 14/05/2024 Fecha de publicación: 30/06/2024

Resumen—El presente trabajo de investigación refiere a la “Prospección geológica para calizas en el sector Zambí, ubicado en la parroquia Zambí, cantón Catamayo, provincia de Loja”, abarcando una extensión de 40 hectáreas consideradas como prioritarias y necesarias para la investigación, en la búsqueda inicial de zonas de acumulación de carbonatos de calcio, determinando sus propiedades tanto físicas como químicas que presentan estos depósitos y analizar su posible aplicación en actividades industriales. Una vez obtenida la información bibliográfica mediante trabajo de oficina, se realizó la primera visita al polígono de estudio, posterior a ello se desarrolló el levantamiento fotogramétrico por percepción remota a escala 1:1000, curvas principales cada 5 metros y curvas secundarias cada 1 metro, el mismo que se utilizó de base para realizar el levantamiento geológico a la misma escala, mediante descripción de afloramientos y calicatas en donde se evidenció tres tipos de litologías correspondientes a calizas, lutitas y cuarcitas. Una vez identificadas las rocas, se tomó muestras en diferentes puntos del área de estudio y se realizó ensayos físicos como el cálculo de peso específico, peso aparente y porosidad; ensayos químicos correspondientes a difracción de rayos X, fluorescencia de rayos X y pureza de carbonatos. Estos análisis determinaron el porcentaje de CaCo₃ que existe en las calizas, siendo este compuesto el de mayor importancia con un valor promedio de 77,56% CaCo₃ clasificándola como una caliza impura margosa; así mismo se identificó elementos como el Al₂O₃, SiO₂, PO₄, S, KO, CaO y FeO, los cuales según sus porcentajes de concentración en las muestras, permitieron conocer el uso industrial de las calizas con el cálculo del índice hidráulico, obteniendo como resultado que su aprovechamiento es para matriz de cemento portland. Se argumenta que esta roca está relacionada directamente con la industria cementera o industria de la construcción.

Palabras clave—Geología, Prospección, Caliza, Uso industrial.

Abstract—The purpose of this research work is the “Geological prospecting of limestone in the Zambí sector, which is located in the Zambí parish, Catamayo canton, Loja province”. It has a 40 hectares extension where the area of interest is delimited with a focus on the initial search for areas of calcium carbonate accumulation and determining the physical and chemical properties that these deposits has and analyzing their possible application for industrial activities. Once the bibliographic information had been obtained through office work, the first visit to the study area was made then the photographic survey was carried out by remote perception, which was used as a base to carry out the geological survey by describing outcrops and pits where three types of lithologies corresponding to limestone, clay and quartzite were evident. After having identified the rocks, samples were taken at different points in the study area and physical tests were carried out such as calculating specific weight, apparent weight and porosity; chemical tests corresponding to x-ray diffraction, x-ray fluorescence and carbonate purity. These analyzes determined the percentage of CaCo₃ that exist in the limestones, thus compound being the most important with an average value of 77.56% CaCo₃, classifying it as an impure marly limestone; likewise, elements such as Al₂O₃, SiO₂, PO₄, S, KO, CaO y FeO were identified, which according to their concentration percentages in the samples, allowed us to know the industrial use of limestone with the calculation of the hydraulic index, obtaining as a result that its use is for Portland cement. It is argued that this rock is directly related to the cement industry or construction industry.

Keywords—Geology, Prospecting, Limestone, Industrial use.

INTRODUCCIÓN

Una razón de la escasez de industrias cementeras en la región sur del país se atribuye a la ausencia de infor-

mación sobre depósitos con características viables que permitan el desarrollo de estas actividades, esto debido a la carencia de prospección de recursos minerales no metálicos,

como es el caso de la caliza. Por lo tanto, la base del problema radica en el desconocimiento puntual de los recursos no metálicos, que delimiten nuevas zonas de interés con base en la valoración y validación de la información sobre recursos minerales disponibles que favorezcan la planificación adecuada de áreas para el desarrollo de las actividades mineras. De la misma manera el escaso personal capacitado a nivel nacional y la carencia de profesionales en los GADS Parroquiales dificulta realizar estudios geológicos a escalas a detalle, así como el desconocimiento de la roca caliza en el ámbito industrial, esto ha provocado un desaprovechamiento de este recurso causando probables pérdidas económicas y un atraso en la sociedad. Para satisfacer la demanda de la región sur del país, es necesario realizar la determinación de las rocas carbonatadas con valor industrial en el sector Zambi, en donde se presentan indicios de roca caliza, mineral calcita; así como localizar las anomalías geológicas donde posiblemente existen concentraciones minerales. La presente investigación abarca un conocimiento general geológico del área de interés, sin que esta intervención afecte al ecosistema, promoviendo actividades sustentables y un desarrollo sostenible, identificando posibles zonas de beneficio geológico mediante la búsqueda y exploración de minerales que cuenten con utilidad económica y representen un beneficio a la sociedad. Esta investigación tiene como objetivo general estimar, mediante prospección geológica, a las calizas en el sector Zambi, parroquia Zambi, cantón Catamayo, provincia de Loja; y como objetivos específicos desarrollar un levantamiento geológico a detalle direccionado a la delimitación de calizas, sobre la base topográfica a escala 1:1000; determinar la calidad de las calizas mediante sus propiedades físicas y químicas en el sector Zambi y finalmente analizar el uso industrial de las calizas según su concentración de carbonato de calcio en el área de estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Metodología

Para cumplir con los requisitos de este proyecto, se llevó a cabo una exhaustiva recopilación de información preliminar, que sirvió como base para adquirir un conocimiento general del área de estudio. Posteriormente, se realizaron actividades de campo para recopilar datos reales y estudiarlos en su estado natural, mediante observaciones directas y la obtención de información relevante. Asimismo, se recogieron muestras de suelo y rocas que fueron sometidas a un análisis detallado en el laboratorio. Por último, se llevó a cabo un análisis minucioso de los resultados obtenidos en el campo y en el laboratorio, junto con la elaboración de mapas en el entorno de trabajo. A continuación, se detallan las fases realizadas en relación con los objetivos planteados.

Descripción del área de estudio

El presente trabajo de investigación se encuentra al Sur del Ecuador, en la provincia de Loja, cantón Catamayo, parroquia Zambi, siendo desarrollado puntualmente en el sector Zambi, determinando un polígono de interés; a 39 km al noroeste de la cabecera cantonal Catamayo, a una altura de 1380 msnm.

El área de estudio, comprendida en el sector Zambi, cuenta

con una extensión de 400 000 m² cuadrados equivalente a 40 Ha. Limita al norte con la parroquia Guayquichuma, al sur con la vía Las Chinchas-Portovelo, al este con el sector Reina del Cisne y al oeste con el sector Miraflores. La ubicación administrativa del área de estudio se observa en la figura 1.



Fig. 1: Ubicación del área de estudio

Metodología para el primer objetivo

En esta etapa se realizó la investigación bibliográfica acerca de la zona de estudio, tomando como referencia la carta geológica de Zaruma a escala 1:100.000 CT-NVI-E hoja 38, que cuenta con información de las principales estructuras geológicas y litologías presentes en la zona de estudio, y la carta topográfica de Chaguarpamba Escala 1:50.000 NVI-E4,3682 – II.

Levantamiento topográfico: La topografía se generó mediante un levantamiento fotogramétrico por percepción remota, el cual consiste en la adquisición de fotografías aéreas de toda el área de estudio, para ello se utilizó un dron Matrice 300 RTK. En la zona de estudio se estableció una estación base, enlazando el equipo al sistema de referencia nacional, para lo cual se utilizó el servicio NTRIP del Instituto Geográfico Militar del Ecuador (IGM), cuyo punto de control geodésico fue CATAMAYO 28, ubicado sobre el bordillo en esquina sur del parque central de la población Zambi.

Como siguiente, mediante el equipo de radiofrecuencia Trimble R4, se tomó 6 puntos de apoyo terrestre dentro de la zona a levantar con la finalidad de mejorar la precisión del levantamiento, para ello la corrección del equipo debía ser fija con el objetivo de minimizar el error. Para la ejecución del vuelo fotogramétrico se realizó una planificación a partir de una resolución fijada en donde se obtuvo una distancia de 10997 metros, en un tiempo estimado de 22 minutos, siendo la extensión cartografiada de 44.3 hectáreas.

En esta fase se usó el programa Agisoft Metashape 1.8.1 en donde se realizaron los siguientes procedimientos:

- Descarga de las 437 fotografías áreas del dron con su correspondiente archivo de posicionamiento georreferencial y altitudinal.
- Generación de orientación de las fotos.
- Importación de los puntos de control.

Tabla 1: Materiales empleados

Campo	Laboratorio	Oficina
Hoja geológica Zaruma escala 1:100 000 NVI-E 38	Ensayo del picnómetro Picnómetro Balanza Embudo Espátula Cápsula metálica Agua destilada	Computadora portátil
Carta topográfica Chaguarpamba escala 1:50 000 NVI-E4,3682 – II	Ensayo de Fluorescencia de Rayos X Estufa de secado Pulverizador de anillos <i>Retch</i> Portaobjetos Pistola <i>Brukker</i> Turbo S1.	Software ArcGIS 10.5
Chaleco	Ensayo de Difracción de Rayos X Estufa de secado Molino de discos Trituradora de mandíbulas Difractómetro marca, <i>Brukker</i> , modelo D8 ADVANCE	Ground Station Software (UGCS)
Brújula (Brunton).	Ensayo de pureza de carbonatos Manguera Tapón de caucho Cuba de vidrio Probeta graduada Pera de succión Espátula Termómetro Pipeta graduada	EVA <i>DifracPlus</i>
Martillo de Geólogo.		Programas Office
GPS de precisión Garmin.		
Cinta métrica.		
Libreta de campo.		
Fichas de campo.		
Lápiz, marcador permanente.		
Fundas transparentes (Ziploc).		
Cámara Fotográfica		
Ácido Clorhídrico al 10%.		

- Emparejamiento de los puntos de control en las imágenes procesadas.
- Generación de nube de puntos densa.
- Clasificación supervisada del terreno y depuración de elementos que no son suelo.
- Generación del modelo digital de terreno.
- Generación de curvas de nivel cada metro.

Generación de ortofoto

Una vez obtenida la ortofoto (Fig. 2) se evidenció el acceso óptimo del área, así como los puntos en donde el muestreo presenta mayor facilidad. Se realizó un reconocimiento visual previo del terreno con la finalidad de seguir abarcar la totalidad del polígono de estudio.

Las curvas de nivel obtenidas en el levantamiento fotogramétrico por percepción remota se encuentran a 1 m de distancia, presentando una superficie irregular en el área de estudio predominando las pendientes empinadas de 35°-55° , con el 71.04% del territorio es decir 281081, 18 m² (28,11 Ha.), a continuación se ubican las pendientes verticales con un área de 100676,07 m² (10,07 Ha.), equivalente a 25.44%, seguidamente las pendientes muy inclinadas de 15°-35°, con una extensión de 13355,18 m² (1,34 Ha.) equivalente a 3.37%; luego las pendientes fuertemente inclinadas de 5°-15°, ocupan 577,44 m² (0,0578 Ha.) equivalente a 0.14%; y finalmente con menor extensión se encuentran las pendientes li-

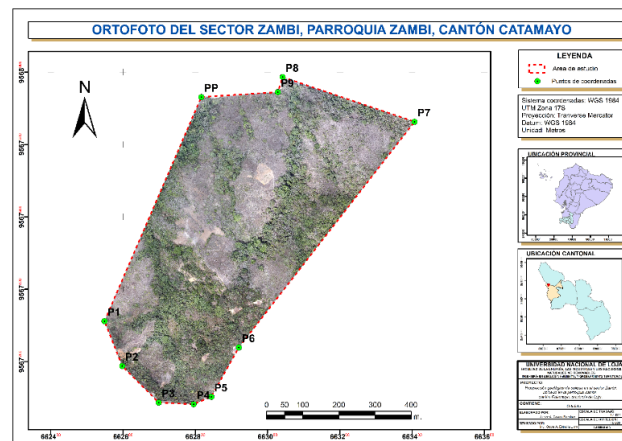


Fig. 2: Ortofoto del área de estudio

geramente inclinadas de 0°-5°, ocupando un área de 0,015 m² (0,000002 Ha.) equivalente a 0.000004%; además se evidencia que la cota menor tiene un valor de 1116 msnm, encontrándose como referencia la quebrada Inguna; y la cota mayor presenta un valor de 1471msnm. (Fig. 4)

Como acotación para una mejor visualización de la topografía del sector se procedió a realizar 2 perfiles topográficos en el software ArcGIS 10.5

Geología local: En el primer paso de la fase campo se realizó el reconocimiento del polígono de estudio para seleccionar zonas a muestrear, en donde la información geológica

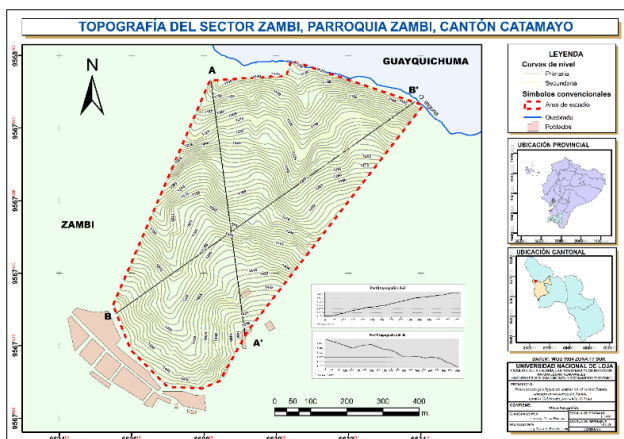


Fig. 3: Topografía del área de estudio, con curvas de nivel principales a 5 m. y curvas de nivel secundarias a 1m de distancia.

se levantó mediante la descripción de rocas con ayuda de herramientas y fichas de campo

Al contar con 40 Ha. de extensión, un terreno con pendientes irregulares y una distribución del mineral desconocida, se decidió aplicar un esquema de muestreo aleatorio sistemático propuesto por el Manual de muestreo para exploración, minería subterránea y rajo abierto (2006), con la finalidad que todas las muestras por sección tengan la misma probabilidad de ser escogidas. Para ello se elaboró una grilla de 56 polígonos de 100 m², sobre el mapa geológico regional de Zaruma Hoja 38 del año 2017, en donde se colocó los puntos de muestreo. Se lo realizó en 33 puntos diferentes, 28 de ellos por medio de descripción de muestras o afloramientos y 5 calicatas; así mismo en sitios donde se observó indicios de mineralización de carbonatos se tomó muestras de roca representativa de cada punto.

Los pasos para realizar el muestreo fueron tomados de la Empresa Nacional Minera del Ecuador (ENAMI EP):

- Actividades previas
- Actividades durante el muestreo de rocas
- Extracción de muestras tipo chips o por puntos
- Enfundado de las muestras

Una vez obtenida la información preliminar y de campo, se procedió a realizar el mapa geológico a escala 1:1 000 en formato A3. Además, se elaboró dos cortes geológicos: el perfil A'-A en dirección SE-NW Y el perfil B'-B en sentido SW-NE. Para ello se empleó el software ArcGIS 10.5 trabajando con la información topográfica y los puntos de muestreo de los afloramientos y calicatas, conseguidos con el GPS en un sistema de coordenadas UTM – WGS84.

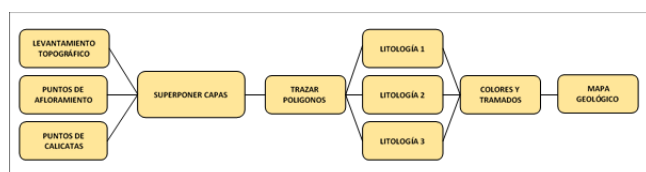


Fig. 4: Modelo a seguir para realizar el mapa geológico

Metodología para el segundo objetivo

Peso específico por medio del método del picnómetro: Este ensayo fue realizado en el laboratorio de Química de la Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial de la Universidad Nacional de Loja, el cual consistió en triturar y pulverizar las muestras con la finalidad de obtener material muy fino, para ello se utilizó el tamiz # 40, #200 y base. Posteriormente se procedió a pesar el picnómetro vacío y el picnómetro añadiendo agua destilada. Se retiró del picnómetro el 50% aproximadamente de agua destilada y se colocó la muestra pulverizada mediante un embudo. Una vez el material sedimentado, con ayuda de la bomba se vació se succionó los espacios vacíos que se crean entre el agua y sedimento. Finalmente se añadió agua destilada en su totalidad y se pesó el picnómetro + agua destilada + muestra en la balanza digital obteniendo el resultado final (Pe) con lo cual se completó el ensayo. Todos estos datos fueron procesados en una tabla Excel para la obtención del resultado requerido.

Cálculo del peso aparente y porosidad, por el método de absorción: La absorción de agua de la roca por capilaridad se cuantificó con el coeficiente de absorción capilar. La medida de este coeficiente es sencilla, para ello se midió en una balanza la masa de agua absorbida, en función del tiempo.

Mediante la balanza analítica se pesó las muestras en su estado natural y en vasos de precipitación se colocó las muestras a ensayar sumergiéndolas en agua destilada. Posteriormente se tomó el peso de la muestra sumergida en agua destilada y se colocó la balanza analítica sobre una base de madera amarrando un hilo nylon en la parte inferior. Seguidamente se apoyó la muestra sobre el hilo nylon y se sumergió en el vaso de precipitación con agua destilada.

Mediante fórmulas se obtuvo los resultados deseados, en donde se calculó del peso aparente:

$$P_a = \frac{W_{seco}}{W_{saturado} - W_{sumergido}} \times P_w$$

donde:

- W_{seco} : Peso seco de la muestra luego de haber pasado por el horno.
- $W_{saturado}$: Peso saturado.
- $W_{sumergido}$: Peso sumergido.
- P_w : Peso específico del agua a una temperatura de 18°C.

Para el cálculo de la porosidad se utilizó la siguiente expresión:

$$n = \left(1 - \frac{P_a}{P_r} \right) \times 100$$

Finalmente se comparó los resultados obtenidos mediante la tabla de “Valores típicos del peso específico y porosidad de las rocas” propuesta en el Libro de Ingeniería Geológica por Luis González de Vallejo en el año 2002. **Fluorescencia de rayos X:** Para determinar la composición química de las rocas carbonatadas, se acudió al Laboratorio de Metalurgia Extractiva de la Universidad Técnica Particular de Loja; donde se realizó el ensayo de Florescencia de Rayos X utilizando el método Mining Light Elements con ayuda del equipo Pistola Bruker Turbo S1. El procedimiento a seguir es el siguiente:

Tabla 2: Valores típicos del peso específico y porosidad de las rocas

Roca	Peso específico (g/cm ³)	Porosidad (%)
Andesita	2.2-3.5	1-5
Anfibolita	2.9-3.0	<0.5
Arenisca	2.6-2.7	10-20
Basalto	2.7-2.9	0.1-2
Caliza	2.3-2.6	5-20
Carbón	1.0-2.0	10
Cuarcita	2.6-2.7	0.1-0.5
Diorita	2.7-2.85	0.5-10
Dolomía	2.5-2.6	0.5-10
Esquisto	2.5-2.8	3
Granito	2.6-2.7	0.5-1.5
Mármol	2.6-2.8	0.3-2
Lutita	2.2-2.6	2-15
Pizarra	2.5-2.7	0.1-1
Riolita	2.4-2.6	4-6
Sal	2.1-2.2	5
Toba	1.9-2.3	14-40
Yeso	2.3	5

Fuente: Vallejo (2002). Adaptado por el autor (2023).

- **Secado de las muestras.** Las muestras de roca extraídas fueron llevadas a un horno de secado y puestas a secar a una temperatura constante de 105 °C durante un tiempo de 2 horas.
- **Trituración de las muestras.** Posteriormente fueron colocadas en el triturador de mandíbulas reduciendo a un diámetro máximo de 10mm.
- **Cuarteo de las muestras.** La muestra triturada se ubicó en una lona y se cuarteó utilizando el método del roleo para finalmente tomar una muestra representativa de 100 gramos.
- **Pulverización de las muestras.** Las muestras fueron pulverizadas a una velocidad de 750 rev/min mediante el pulverizador de anillos Retch.
- **Fluorescencia de Rayos X.** Una vez preparadas las muestras, se procedió con la Pistola Bruker Turbo S1 para determinar su composición química mediante el método de Mining Light Elements con lo cual se obtuvo la composición química de las muestras, los valores obtenidos se muestran en los resultados.

Difracción de rayos X: El equipo encargado de realizar este ensayo es conocido como difractor, donde se pueden utilizar muestras sólidas y muestras preparadas mediante molienda, las mismas que poseerán un tamaño de 53 micras. Estas muestras pulverizadas son ubicadas en el porta muestras y se procede a colocar en el equipo. La metodología utilizada por la Universidad Técnica Particular de Loja para realizar este ensayo es el siguiente:

- **Trituración y pulverización de las muestras.** Mediante un molino de discos y trituradora de mandíbulas marca Retsch.
- **Preparación para DRX.** Se colocó en un recipiente 30 gr de material y posteriormente se procedió a ubicar en

el equipo de DRX marca Bruker, modelo D8 ADVANCE.

- **Examinación de difractogramas.** Se examinaron los difractogramas obtenidos mediante el software EVA DifractPlus para la identificación de los minerales presentes en las distintas muestras y para la cuantificación de los mismos se utilizó el Software Topas.
- **Registro de resultados.** Una vez realizado el ensayo de difracción de rayos X, se ubicaron los valores obtenidos en la tabla correspondiente.

Pureza de carbonatos: El ensayo y la metodología fue realizado por el Laboratorio de Química de la Universidad Técnica de Loja, el cual consistió en determinar la pureza de carbonato de calcio en la roca, por medio de una reacción entre el HCl y la caliza; se procedió por volumetría a conocer medidas de temperatura, volumen, presión y altura, para luego realizar los cálculos correspondientes y obtener como resultado la concentración de CaCO₃ en la muestra.

Metodología para el tercer objetivo

En esta etapa se nombró la roca según su composición química y mineralógica, teniendo como referencia la clasificación simplificada de Correns (1967), en donde según porcentajes de concentración mineral, propone una catalogación.

Posteriormente con los resultados obtenidos, se estableció un valor de concentración de las calizas según el contenido de Carbonato de Calcio (CaCO₃), basado en tablas de clasificación creadas por el Grupo de Petrología y Mineralogía del Servicio Geológico Británico en 1988, donde se comparó, la calidad obtenida con la calidad que utilizan diferentes industrias para la elaboración de materias primas según los resultados obtenidos en el ensayo de pureza de carbonatos. Para clasificar la roca obtenida en cal aérea, cal hidráulica o

Tabla 3: Clasificación química de las calizas

Categoría	Porcentaje de CaCO ₃ (%)
Muy alta pureza	>98.5
Alta pureza	97.0 - 98.5
Media pureza	93.5 - 97.0
Baja pureza	85.0 - 93.5
Impureza	<85

Fuente: Mineralogy and Petrology Group, British Geological Survey.

cemento portland se necesitó calcular el índice hidráulico y se categorizó según el resultado obtenido.

$$\text{Índice hídrico} = \frac{\%SiO_2 + \%Al_2O_3 + \%Fe_2O_3}{\%CaO + \%MgO}$$

Tabla 4: Clasificación de las cales según el índice de hidraulicidad

	Índice hidráulico
Cales aéreas	0,00 a 0,10
Cales hidráulicas	0,10 a 0,50
Cemento Portland	>0,50

Fuente: (Vázquez et al. 1993).

RESULTADOS

Resultados del primer objetivo

Geología Local.

Relacionando las muestras obtenidas con la geología regional que se asienta sobre el sector, existen ciertas similitudes con la Unidad Chaguarpamba, mientras que la Unidad Zambí no presenta relación alguna con las rocas encontradas en el sitio; en este caso se hará referencia a la Unidad Yunguilla debido a sus similitudes. Aunque en algunos sitios la roca se encuentra en proceso de diagénesis, litificación y compactación, se evidencia rocas ya consolidadas como lutitas que fueron identificadas mediante la lupa geológica y el ácido clorhídrico, todas aquellas presentan grandes cantidades de calcita.

Además, se evidenció rocas metamórficas, las cuales fueron relacionadas con la Unidad Tigre, que a pesar de no encontrarse dentro de la geología regional del polígono de estudio, se evidencia similitudes con la unidad mencionada.

A continuación, se describe los afloramientos más representativos levantados en el área de estudio, teniendo como base la Carta geológica de Zaruma NVI-E 38 (2017):

Afloramiento 1: La muestra Nro.1 obtenida en las coordenadas X: 663028; Y: 9567615 y Z:1438 msnm, perteneciente a la Unidad Yunguilla, se encuentra un afloramiento calcáreo, el cual se encuentra poco alterado y con un bajo grado de meteorización, la estructura está dispuesta en forma masiva, con un tamaño de grano de fino a muy fino. Se evidencia disolución de calcita en la parte superficial del afloramiento, dando origen a estalactitas (ver Fig 5).

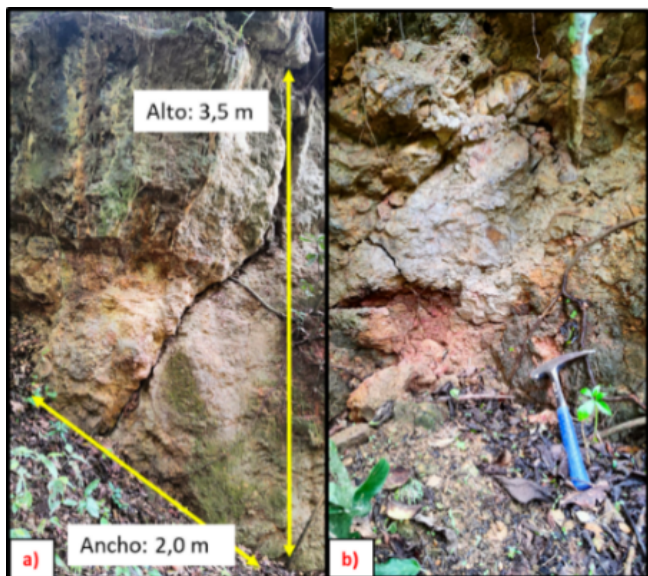


Fig. 5: La imagen a) muestra el afloramiento en su totalidad en donde la parte superficial de la roca se encuentra erosionada; mientras que en la imagen b) se observa parte del afloramiento con una capa de calcita la cual se ha originado por escurrimiento.

Afloramiento 4: La muestra Nro.4 obtenida en las coordenadas X: 663019 m; Y: 9567830 m y Z:1200 msnm, perteneciente según la geología regional a la unidad Chaguarpamba, se encuentra un afloramiento de lutita, el cual se encuentra muy alterado y con un grado de meteorización media, la estructura está dispuesta en forma laminar, con un tamaño de grano de fino a muy fino (ver Fig 6).



Fig. 6: Muestra de lutitas con una superficie erosionada por la cobertura vegetal.

Afloramiento 6: La muestra Nro.6 obtenida en las coordenadas X: 662828 m; Y: 9567507 m y Z:1378 msnm, perteneciente a la Unidad Yunguilla, se encuentra un afloramiento de lutita, su alteración y grado de meteorización es bajo, la estructura está dispuesta en forma laminar, con un tamaño de grano de fino a muy fino. Sus elementos de yacencia indican un rumbo de 175 y buzamiento de 55 SW (ver Fig 7).

Afloramiento 8: La muestra Nro.8 ubicada en las coordenadas X: 662933 m; Y: 9567524 m y Z:1337 msnm, se encuentra un afloramiento de caliza, en donde evidencia alteración física con un grado de meteorización media, la estructura está dispuesta en forma masiva, con un tamaño de grano de fino a muy fino. En este punto de muestreo se presenta anomalías, en las que se identifica grandes cantidades de calcita entre las fracturas que presenta la roca de caja; así mismo se evidencia el inicio de formación de estalactitas (ver Fig 8).

Afloramiento 12: La muestra Nro.12 obtenida en las coordenadas X: 662786 m; Y: 9567801 m y Z:1197 msnm, perteneciente según la geología regional a la unidad Chaguarpamba, se encuentra un afloramiento de lutita, el cual se encuentra muy alterado y con un grado de meteorización media, la estructura está dispuesta en forma laminar, con un tamaño de grano de fino a muy fino, sin reacción al ácido clorhídrico (ver Fig 9).



Fig. 7: Estratos de lutita con fuerte buzamiento.

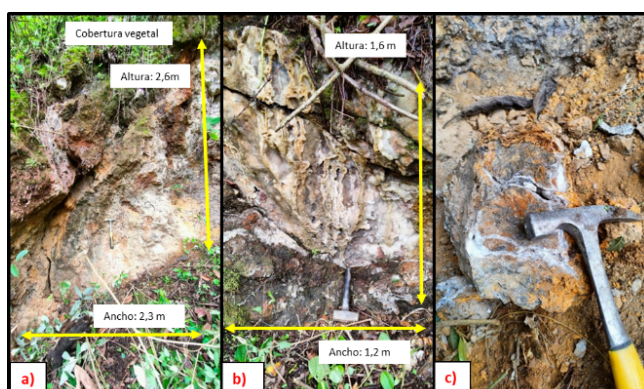


Fig. 8: La figura a), muestra el afloramiento natural, en donde se evidencia presencia de limolita y vetillas de calcita masiva y cristalizada. En la figura b) se evidencia formación de estalactitas, debido al escurrimiento de agua con alta presencia de carbonato de calcio. La figura c) es una muestra de caliza, con grado de meteorización medio y vetillas de calcita.

Afloramiento 14: La muestra Nro.14 ubicada en las coordenadas X: 663162 m; Y: 9567955 m y Z:1111 msnm, se encuentra un afloramiento metamórfico, relacionado con la Unidad Tigre. El afloramiento se presenta masivo y conser-



Fig. 9: La figura a) muestra un afloramiento de lutita con grado de alteración media y la figura b) indica una fracción de roca del mismo punto de muestreo

vado con patinas de oxidación y vetillas de cuarzo frío (ver Fig 10).

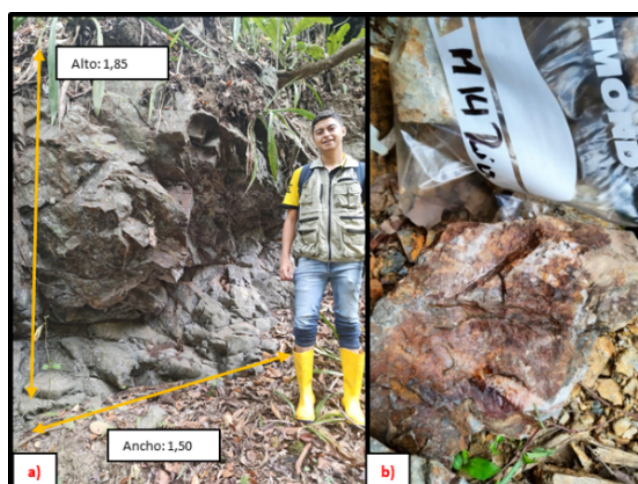


Fig. 10: La figura a) indica el afloramiento de forma natural, y en la figura b) se evidencia una muestra de roca metamórfica tomada en el mismo punto de muestreo, cerca de la rivera de la quebrada Inguna

Afloramiento 21: La muestra Nro.21 obtenida en las coordenadas X: 662693 m; Y: 9567515 m y Z:1322 msnm, perteneciente Unidad Yunguilla, se encuentra un afloramiento de caliza, su alteración y grado de meteorización es medio, la estructura está dispuesta en forma laminar, con un tamaño de grano de fino a muy fino. La muestra obtenida presenta vetillas de calcita (ver Fig 11).



Fig. 11: Afloramiento de caliza con presencia de varias fracturas en donde hay filtración de agua

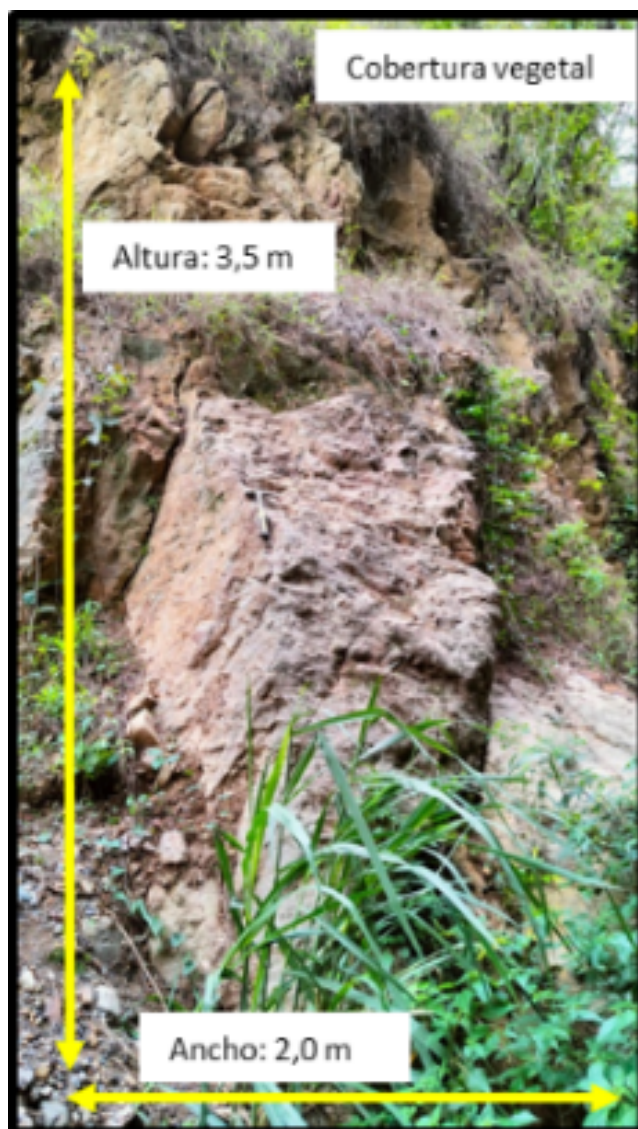


Fig. 12: Afloramiento metamórfico con presencia de vetillas de cuarzo.

Afloramiento 27: La muestra Nro.27 obtenida en las coordenadas X: 662831 m; Y: 9567905 m y Z:1150 msnm, en donde se encuentran características muy similares a la Unidad Tigre; se evidencia un afloramiento rocas metamórficas, con alteración y grado de meteorización es medio, la estructura es masiva, con un tamaño de grano de fino a muy fino. La muestra obtenida presenta ciertas vetillas de cuarzo, minerales accesorios como muscovita, ortosa y silicatos; además una apariencia de bandas debido a la estratificación ocurrida antes de su transformación (ver Fig 12).

Afloramiento 32: La muestra Nro.32 obtenida en las coordenadas X: 663117 m; Y: 9567839 m y Z:1175 msnm, en donde se encuentran características muy similares a la Unidad Tigre; se encuentra un afloramiento rocas metamórficas, con alteración y grado de meteorización es alto, la estructura es masiva, con un tamaño de grano de fino. La muestra obtenida presenta ciertas vetillas de cuarzo, minerales accesorios como muscovita, ortosa y silicatos; además una apariencia de bandas debido a su proceso de transformación de roca sedimentario a metamórfica (ver Fig 13).

Para corroborar y obtener mayor información a detalle se elaboró 5 calicatas (ver tabla 5) *Calicata 1:* Sus dimensiones

Tabla 5: Ubicación de calicatas

Nº	X	Y	Z
1	662946,1045	9567357,636	1428
2	662644,6822	9567227,472	1415
3	662708,4107	9567365,153	1365
4	662693,3718	9567515,552	1323
5	662824,8987	9567220,344	1430

son de 1.5 m. de ancho, 1.5 m. de largo y 1.0 m. de profundidad aproximadamente, de origen antrópico, compuesta por material fino de coloración café amarillenta, sin presencia de agua y con cobertura vegetal de 0.1 m (ver tabla 6).

Calicata 2: con dimensiones de 1.5 metro de ancho, 1.5 m. de largo y 1.0 m. de profundidad aproximadamente, de origen antrópico, está compuesta por material fino de coloración café amarillenta, sin presencia de agua y con cobertura vegetal de 0.1 m (ver tabla 7).

Calicata 3: con dimensiones de 1.5 metro de ancho, 1.5 m. de largo y 1.5 m. de profundidad aproximadamente, de origen antrópico, está compuesta por material fino de coloración café amarillenta, sin presencia de agua y con cobertura

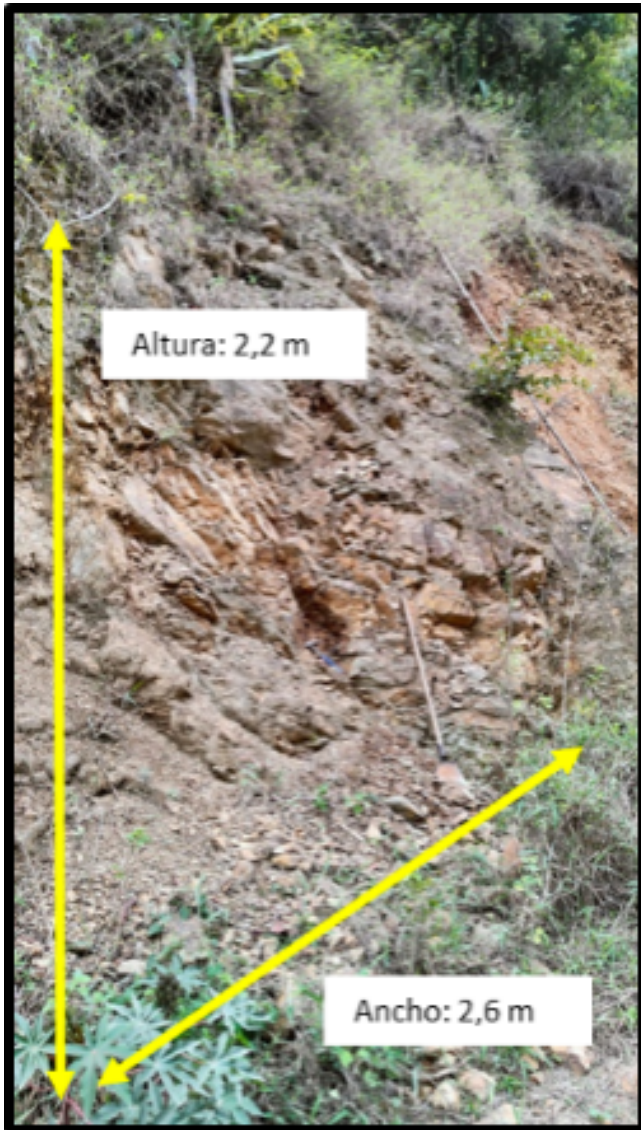


Fig. 13: Afloramiento metamórfico con presencia de vetillas de cuarzo.

vegetal de 0.1 m (ver tabla 8).

Calicata 4: con dimensiones de 1.5 metro de ancho, 1.5 m. de largo y 1.0 m. de profundidad aproximadamente, de origen antrópico, está compuesta por material fino de coloración café amarillenta, sin presencia de agua y con cobertura vegetal de 0.2 m (ver tabla 9).

Calicata 5: con dimensiones de 1.5 metro de ancho, 1.5 m. de largo y 1.0 m. de profundidad aproximadamente, de origen antrópico, está compuesta por material fino de coloración café amarillenta, sin presencia de agua y con cobertura vegetal de 0.2 m (ver tabla 10). **Correlación de perfiles estratigráficos**

La correlación estratigráfica se elaboró considerando el tipo de roca encontrada en cada una de las calicatas con relación a la altura (Ver Tabla 11). La correlación estratigráfica evidencia que todas las calicatas están conformadas por el mismo tipo de material, siendo las calizas pertenecientes a la Unidad Yunguilla. Estas se caracterizan por su textura afanítica, color café amarillento y alto grado de efervescencia al colocar ácido clorhídrico al 10%. Además, se estima la potencia del estrato de caliza siendo aproximadamente de 107

metros.

El mapa geológico local de la zona de estudio (Fig. 16) demuestra la presencia de 3 litologías diferentes. En la zona sur, aparecen las calizas correspondientes a la Unidad Yunguilla con una extensión de 25 Ha, representadas en el mapa geológico local de color celeste. Las calizas fueron reconocidas a través de descripción macroscópica, lupa geológica y aplicación de ácido clorhídrico al 10% en donde se observó alta efervescencia, así mismo la zona presenta grandes concentraciones de calcita (CaCO_3) en forma masiva y cristalina, lo cual es un indicio de presencia mineral en esta roca. Además, al evidenciar pequeñas estalactitas se deduce que su formación se debe principalmente por precipitación química, siendo su origen continental-lacustre, esto correlacionando con la información obtenida mediante la Carta geológica de Zaruma NVI-E 38. (Fig. 10)

La segunda litología corresponde a lutitas (Fig. 11), las cuales pertenecen a la Unidad Chaguarpamba, debido a que está formada por rocas sedimentarias. Cuenta con una extensión de 9 Ha. catalogadas mediante la descripción de fichas macroscópicas de rocas y representadas en el mapa geológico local con tonalidad gris clara; y por último se identificó material metamórfico comprendido en la Unidad Tigre (Fig. 12), que a pesar de no encontrarse dentro de la geología regional del polígono de estudio, se la relaciona debido a las rocas encontradas en campo y al desfase existente entre la Carta geológica regional de Zaruma NVI-E 38 y la Carta geológica regional de Loja NVI-E 56. En esta litología se encuentran cuarcitas con una extensión de 6 Ha, representado en el mapa geológico local con coloración lila (ver Fig 14).

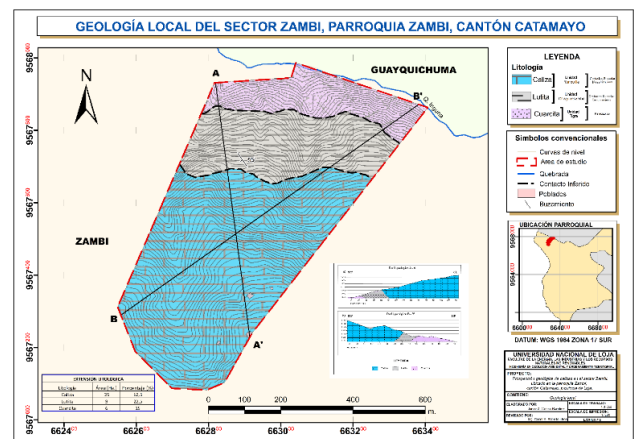


Fig. 14: Mapa geológico local del área de estudio

Perfiles geológicos

Perfil geológico A-A': En la figura 51 a) se representa el perfil geológico A-A', con dirección NW- SE y una longitud topográfica de 1011,57 m. El corte geológico atraviesa las 3 litologías: cuarcitas pertenecientes a la era Paleozoica siendo las más antiguas, basamento para que rocas más jóvenes se depositen; lutitas pertenecientes al periodo Cretácico Superior (Cenomaniano) siendo las primeras rocas sedimentarias en asentarse sobre el basamento, las cuales se han inclinado por procesos tectónicos y finalmente las calizas pertenecientes al periodo Cretácico Superior (Maastrichtiano), siendo las rocas más jóvenes. Los contactos entre las litologías no están definidos, además se presencia una discordancia angular en-

Tabla 6: Perfil estratigráfico 1

Era	Sistema	Serie	Unidad Litoestrigráfica	Altura (msnm)	Columna	Descripción litológica
Mesozoico	Cretácico	Superior	Unidad Yunguilla	1428		Compuesta de una sola capa de material sedimentario carbonatado, de granulometría fina, con textura afanítica y presencia de calcita masiva

Tabla 7: Perfil estratigráfico 2

Era	Sistema	Serie	Unidad Litoestrigráfica	Altura (msnm)	Columna	Descripción litológica
Mesozoico	Cretácico	Superior	Unidad Yunguilla	1415		Compuesta de una sola capa de material sedimentario carbonatado, de granulometría fina, con textura afanítica y presencia de calcita masiva

Tabla 8: Perfil estratigráfico 3

Era	Sistema	Serie	Unidad Litoestrigráfica	Altura (msnm)	Columna	Descripción litológica
Mesozoico	Cretácico	Superior	Unidad Yunguilla	1365		Compuesta de una sola capa de material sedimentario carbonatado, de granulometría fina, con textura afanítica y presencia de calcita masiva

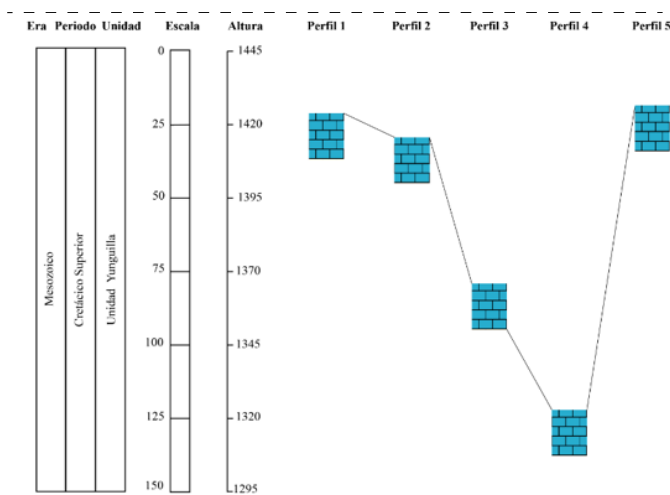
Tabla 9: Perfil estratigráfico 4

Era	Sistema	Serie	Unidad Litoestrigráfica	Altura (msnm)	Columna	Descripción litológica
Mesozoico	Cretácico	Superior	Unidad Yunguilla	1323		Compuesta de una sola capa de material sedimentario carbonatado, de granulometría fina, con textura afanítica y presencia de calcita masiva

Tabla 10: Perfil estratigráfico 5

Era	Sistema	Serie	Unidad Litoestratigráfica	Altura (msnm)	Columna	Descripción litológica
Mesozoico	Cretácico	Superior	Unidad Yunguilla	1430		Compuesta de una sola capa de material sedimentario carbonatado, de granulometría fina, con textura afanítica y presencia de calcita masiva

Tabla 11: Correlación estratigráfica de los perfiles 1, 2, 3, 4 y 5



topográfica de 710,23 m. El corte geológico atraviesa las 3 litologías: cuarcitas pertenecientes a la era Paleozoica siendo las más antiguas, basamento para que rocas más jóvenes se depositen; lutitas pertenecientes al periodo Cretácico Superior (Cenomaniano) siendo las primeras rocas sedimentarias en asentarse sobre el basamento, las cuales se han inclinado por procesos tectónicos y finalmente las calizas pertenecientes al periodo Cretácico Superior (Maastrichtiano), siendo las rocas más jóvenes. Los contactos entre las litologías no están definidos, además se presencia una discordancia angular entre las calizas y las lutitas debido a que poseen un ángulo de buzamiento de 55° y una dirección de buzamiento al SW. En el área de estudio no se logró determinar datos estructurales entre el material metamórfico y el sedimentario, sin embargo, se habla de una inconformidad al existir contacto entre las lutitas y cuarcitas.

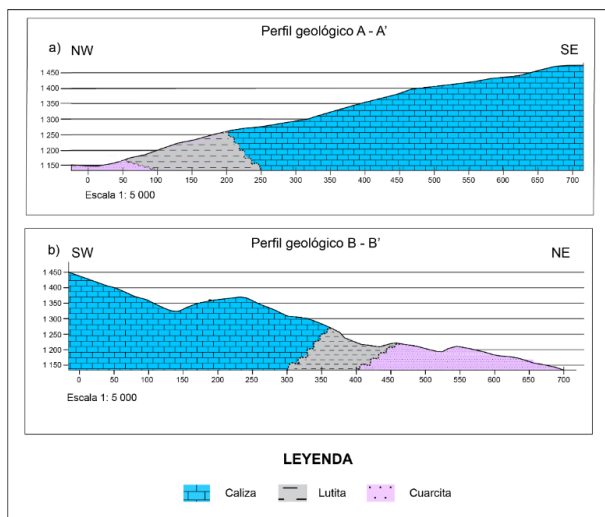


Fig. 15: a) Perfil geológico A'-A'; b) Perfil geológico B'-B.

tre las calizas y las lutitas debido a que poseen un ángulo de buzamiento de 55° y una dirección de buzamiento al SW. En el área de estudio no se logró determinar datos estructurales entre el material metamórfico y el sedimentario, sin embargo, se habla de una inconformidad al existir contacto entre las lutitas y cuarcitas.

Perfil geológico B'-B': En la figura 17 b) se representa el perfil geológico B'-B, con dirección SW – NE y una longitud

Resultados del segundo objetivo

Cálculo de peso específico y densidad por medio del método del picnómetro (ver Tabla 12).

Tabla 12: Resultados del ensayo por el método del picnómetro

Nro. de muestra	Litología	Peso específico	Densidad (gr/cm ³)
M-1	Caliza	2,655	2,647
M-6	Caliza	2,643	2,635
M-11	Caliza	2,671	2,663
M-14	Cuarcita	2,665	2,657

En las muestras M-1, M-6 y M-11 pertenecientes a la litología de calizas, se obtiene valores de 2.643 gr/cm³, 2.655 gr/cm³ y 2-671 gr/cm³ respectivamente. Estos valores se encuentran relativamente cerca del rango que establece la Tabla 2, donde indica que los valores de la caliza promedian entre 2.3-2.6 gr/cm³. En el caso de la muestra M-14 el valor de peso específico es de 2.657 gr/cm³, cumpliendo los rangos establecidos en la Tabla 7, en donde indica que los valores de la cuarcita promedian entre 2.6-2.7 gr/cm³.

Cálculo de peso aparente y porosidad por el método de absorción.

Tabla 13: Resultado del ensayo por el método de absorción.

Nro. Muestra	M-1	M-6	M-11	M-14
Pa	2,45	2,643	2,437	2,606
Porosidad (%)	7,731	12,416	8,766	2,211

Los valores obtenidos de porosidad en la M-1, M-6 y M-11 son de, 7.731 %, 12.416 % y 8.766 % respectivamente. Estos valores tienen relación con la porosidad de la caliza, ya que en la Tabla 7, indica que esta roca tiene un rango de 5-20 % de porosidad. Fluorescencia de rayos X En la siguiente tabla se presentan los valores de composición química de las muestras ensayadas mediante Fluorescencia de Rayos X (FRX), empleando el equipo Espectrómetro de Fluorescencia de Rayos X portátil marca Bruker S 1 Turbo SD. egindocument

Tabla 14: Resultados de ensayo de FRX.

Muestra	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	P ₂ O ₅ (%)	S (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)	Fe ₂ O ₃ (%)
M-1	8.68	42.6	1.12	0.29	0.41	43.7	1.81
M-6	10.2	20.8	1.22	0.30	0.54	57.9	3.37
M-11	14.1	24.9	1.09	0.27	ND	52.6	5.65

Tabla 15: Resultados de ensayo de DRX muestra M-1, M-6 y M-11

Muestra	Fases Minerales	Semicuantificación (%)
M-1	Calcita	54,6
	Cuarzo	39,2
	Illita	4,8
	Caolinita	1,4
M-6	Calcita	71,8
	Cuarzo	16,3
	Illita	9,7
	Caolinita	2,2
M-11	Calcita	69,1
	Cuarzo	11,2
	Caolinita	19,7

Ensayo de pureza de carbonatos

Mediante el ensayo de pureza de carbonato de calcio se identificó la concentración mineral en varias muestras seleccionadas

Tabla 16: Concentración de carbonato de calcio en las muestras seleccionadas

Muestra	Pureza (%)
C-4	89.58
MC3-1	61.22
C-1	60,04
M-10	7,41
M-11	49,78
M-6	59,05
M-12	26,97
M9	2,04
M-7	49,29
M-8	69,45

La Tabla 16 indica que las muestras C-4, MC3-1, C-1, M-6, M-8 y M11 poseen valores mayores a 50% de concentración de carbonato de calcio, corroborando la información en el mapa geológico local ya que estas muestras pertenecen a la litología denominada calizas; mientras que las muestras M-9 M-10 y M-12 corresponden a la litología de lutitas según la descripción macroscópica de las rocas, ya que poseen valores menores al 50 % de carbonato de calcio.

Resultados del tercer objetivo

La roca encontrada dentro del área de estudio es identificada como una caliza impura margosa según el diagrama de carbonatos propuesto por Correns (1967). En las muestras ensayadas se constató un valor promedio de 77.56 % de pureza de Carbonato de Calcio (CaCO₃), en consecuencia, estas muestras se clasifican como calizas impuras conforme a la categorización propuesta por el Grupo de Petrología y Mineralogía del Servicio Geológico Británico.

Tabla 17: Valor de calizas en el área de estudio

Valor de las calizas en el área de estudio según su concentración de CaCO ₃	
Nomenclatura: Caliza impura margosa	
Calidad	Valores establecidos
Muy alta pureza	>98.5 %
Alta pureza	>97.0 - 98.5 %
Media pureza	>93.5 - 97.0 %
Baja pureza	>85.0 - 93.5 %
Impureza	<85 %
Valor obtenido CaCO₃ (%) 77.56	
Índice hidráulico	Valores establecidos
Cal aérea	<0.1
Cal hidráulica	0.1 - 0.5
Cemento Pórtland	>0.5
Valor obtenido >95	

Industria de la construcción

Las características que presenta la caliza impura margosa, con un valor de 0,61 en su índice hidráulico, indica que su uso industrial, es directamente para matriz de cemento Portland, derivando múltiples utilidades en la construcción, ya que es un material versátil y resistente.

Tabla 18: Módulos e índices para determinar el uso de las calizas.

Determinación del uso de la piedra caliza mediante índices				
Muestra	Índice hidráulico	Módulo hidráulico	Módulo resistencial	Módulo síliceo
M1	0.86	1.16	46.33	4.89
M6	0.44	2.27	117.53	1.07
M11	0.53	1.90	122.14	0.44
Average	0.61	1.78	95.22	2.14

Además de ello se obtuvo datos promedio de modulo hidráulico (1.78), estándar de cal (95.33), módulo síliceo (2.13)

y módulo de fundentes (3.48), indicando que los valores se encuentran dentro de los rangos establecidos.

Los usos del cemento portland según los resultados obtenidos son los siguientes:

- Mezcla de concreto: Aproximadamente 10 % a 15 % de cemento Portland en relación con el volumen total de la mezcla.
- Mezcla de mortero: Alrededor de 15 % a 20 % de cemento Portland en relación con el volumen total de la mezcla.
- Mezcla de concreto asfáltico: Cerca del 5 % al 10 % de cemento Portland en relación con el peso total de la mezcla.
- Revestimientos de túneles: Aproximadamente 10 % a 15 % de cemento Portland en relación con el volumen total de la mezcla.
- Mezclas de suelo y cemento para estabilización: Usualmente alrededor del 2 % al 8 % de cemento Portland en relación con el peso total de la mezcla.

DISCUSIÓN

El presente trabajo de titulación se realizó con la finalidad de prospectar geológicamente las calizas en el área de estudio, detallando las concentraciones de carbonato de calcio en su composición y a partir de ello establecer usos industriales.

El área de estudio se encuentra asentada sobre la Unidad Zambí y Unidad Chaguarpamba según la Hoja geológica de Zaruma NVI-E 38, comprendidas por rocas sedimentarias y metamórficas; mediante la información corroborada en campo con fichas de descripción de afloramientos, descripción macroscópica de muestras y elaboración de calicatas se identifica tres tipos de litologías, en donde la Unidad Zambí no tiene relación con las calizas encontradas en campo, definiendo que estas rocas pertenecen a la Unidad Yunguilla ya que presentan ciertas similitudes; en el caso de la lutitas se verifica que pertenecen a la Unidad Chaguarpamba, mientras que las cuarcitas fueron relacionadas con la Unidad Tigre, que a pesar de no encontrarse dentro de la geología regional del polígono de estudio, se evidencia un vínculo con la unidad mencionada. Para obtener información más detallada sobre las muestras de interés, se realizó varios ensayos de origen físico como peso específico y porosidad, y ensayos de origen químico como fluorescencia de rayos X, difracción de rayos X y pureza de carbonatos.

Según la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 152:2012), Anexo B, correspondiente al contenido de caliza en el cemento portland, indica que esta roca debe contener mínimo un porcentaje del 70 % de CaCo. Al contrastar este valor con el obtenido en el proyecto de investigación se determina que el material del área cumple con la especificación para ser utilizado como matriz de cemento portland, ya que su valor de pureza es de 77,56 % de CaCo.

Según el ENAMI EP, en el denominado el Proyecto Mínero Isimanchí, ubicado en la provincia de Zamora Ch. presenta un valor de 84 % de pureza de CaCo, siendo rentable para continuar con investigaciones a mayor detalle y catalogándolo como un proyecto potencial; mientras que el área de

estudio presenta un valor de 77,56 % de CaCo en sus muestras ensayadas. Esto indica que ambos resultados pertenecen a calizas de baja pureza o impuras. A pesar de ello estos valores son interesantes para la elaboración de ciertas materias primas por lo que la continuidad de la investigación es necesaria.

Por otra parte, también se comparó la composición química típica del cemento Portland en donde se tiene el 67 % de CaO, 22 % de SiO₂, 5 % de Al₂O₃, 3 % de Fe₂O₃ y 3 % de otros componentes. Los resultados obtenidos mediante el ensayo de fluorescencia de rayos X demuestran que el material de la zona de estudio está compuesto por el 51,4 % de CaO, 10,99 % de AlO, 24,9 % de SiO y 3,61 de Fe₂O₃. Esto indica que el valor de CaO en las muestras de la zona de estudio es menor a la composición química típica del cemento, mientras que los otros elementos se encuentran relativamente cerca de los valores óptimos.

Así mismo se comparó la composición química del cemento Portland de la empresa Atenas, en donde se refleja valores del 58,9 % de CaO, 17,86 % de SiO₂, 3,89 % de Al₂O₃, 2,28 % de Fe₂O₃ y 17,07 % de otros componentes minoritarios. De la misma manera el ensayo de FRX demuestra que el porcentaje de CaO es inferior en las muestras prospectadas, mientras que los otros elementos tienen porcentajes superiores. Estos resultados contrastados con los obtenidos en el área de estudio denotan una diferencia de 7,5 % en CaO, 7,1 % en Al₂O₃, y 1,33 % en Fe₂O₃.

Finalmente, para corroborar el uso industrial de las calizas impuras margosas se utiliza el criterio del índice hidráulico, el cual considera una relación entre los porcentajes de óxidos ácidos y óxidos básicos obtenidos en el ensayo de fluorescencia de rayos X, clasificando en cal aérea, cal hidráulica o cemento portland. Al obtener como resultado un valor mayor a 0,5 asegura que el único uso posible para este tipo de material es para matriz de cemento Portland.

CONCLUSIONES

- A partir de los estudios analizados se determina que el polígono de estudio está compuesto por tres tipos de litologías: calizas con una extensión de 25 Ha., que forman parte de la Unidad Yunguilla (Cretácico superior/ Maastrichtiano), lutitas con 9 Ha. pertenecientes a la Unidad Chaguarpamba (Cretácico superior/ Cenomaniano), y cuarcitas con 6 Ha. vinculadas a la Unidad Tigre (Paleozoico).
- El ensayo de fluorescencia de rayos X (FRX), determinó un promedio de 51,4 % de CaO en las muestras ensayadas, lo cual indica que se trata de una roca caliza, debido a que su valor es superior al 50 % de CaO.
- La aplicación del ensayo de difracción de rayos X (DRX) determina la composición química de los minerales en las muestras, siendo el más representativo el CaCO₃, obteniendo en la M1= 56,6 %, M6= 71,8 % y M11= 69,1 %, lo cual indica que en el área de estudio existe caliza, ya que su componente principal representa valores mayores al 50 %.
- De acuerdo al criterio propuesto por el Grupo de Petrología y Mineralogía del Servicio Geológico Británico

co (1988), las calizas se consideran impuras cuando su contenido de CaCO_3 es inferior al 85 %. Siguiendo este criterio se determina que las muestras del área de estudio pertenecen a este grupo, ya que presentan 77,56 % de CaCO_3 .

- El cálculo del índice hidráulico expuesto por Vicat en el siglo XVII permitió conocer el uso industrial de la caliza impura margosa basado en la relación entre sus óxidos ácidos y óxidos básicos con valor del 0,61, siendo óptima para la elaboración de cemento Portland en la industria de la construcción.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento al Sr. Edgar Jara propietario del terreno en estudio, al GAD de Catamayo por el interés en el desarrollo del proyecto y a la UNL específicamente a la carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial por permitir el uso de los Laboratorios de Mineralogía y Petrografía.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

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

Junior Cobos-Ramírez: JCR. Oscar Estrella-Lima: OEL. Hernán Castillo-García: HCG. Fernando Rengel-Jimenez: FRJ

FINANCIAMIENTO

El presente estudio fue financiado por fondos propios de los autores.

REFERENCIAS

Araúz, M. d. (s.f.). Laboratorio de láminas delgadas. Recuperado de <https://fgp.epn.edu.ec/index.php/lab-geo/186-laboratorio-de-laminas-delgadas>

Arias Gonzáles, J. L. (2021). Diseño y metodología de la investigación. Lima: ENFOQUES CONSULTING EIRL.

Ariosa Iznaga, J., & Vladimirovich, O. (1990). Búsqueda, exploración y evaluación geologo-económica de minerales sólidos. La Habana: Pueblo y Educación.

Benavente, D., Bernabéu, A., & Cañaveras, J. (2004). Estudio de propiedades físicas de las rocas. Enseñanzas de las ciencias de la Tierra, 62-68.

Cornejo, P. (Agosto de 2016). Depósitos minerales no metálicos en el Ecuador. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Paul-Cornejo-2/publication/317613312_DEPOSITOS_MINERALES_NO_METALICOS_DEL_ECUADOR/links/594339ffa6fdccb93ab276a7/DEPOSITOS-MINERALES-NO-METALICOS-DEL-ECUADOR.pdf

Dannemann, V. (11 de noviembre de 2019). América Latina: América Latina: riqueza minera y conflicto social, pág. 1.

Duque, E. (2016). Manual de geología para ingenieros. Manizales.

GAD Catamayo. (2021). Plan de Ordenamiento Territorial de Catamayo. Recuperado de <https://catamayo.gob.ec/wp-content/uploads/2021/01/BORRADOR-OFICIAL-PDOT-CATAMAYO.pdf>

Griem Klee, S. (2016). Exploración y prospección. Recuperado de <https://www.geovirtual2.cl/EXPLORAC/TEXT/01-Introduccion-Exploraciones-Prospeccion.html>

Hurlbut, D. (1976). Manual de Mineralogía. Barcelona: Reverté S.A.

INGEMMET. (2021). Minerales y rocas. Peru.

INGEOMINAS. (2010). Técnicas mineralógicas, químicas y metalúrgicas para la caracterización de menas auríferas. Recuperado de <https://www2.sgc.gov.co/Publicaciones/Cientificas/NoSeriadadas/Documents/Tecnicas-mineralogicas-quimicas-metalurgicas.PDF>

Lambert, A. (Mayo de 2006). Manual de muestreo para exploración, minería subterránea y rajo abierto. Recuperado de <https://www.geologiaviva.info/wp-content/uploads/2021/07/Muestreo-de-Minerales.pdf>

Lavandaio, E. (2008). Elementos de Geología, Mineralogía y Materias Primas Minerales. Mendoza: Graficas Papiros.

M. Á., & Chinchón, S. (2004). Introducción a la fabricación y normalización del cemento Portland. San Vicente: Publicaciones de la Universidad de Alicante.

Mendez Aguirre, J. V. (2020). Caracterización mineralógica y petrográfica de la arenisca M1, de la Formación Napo en el pozo Johanna Este 45, campo Johanna este bloque Tarapoa. Quito.

Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. International Journal of Morphology, 228.

Pellant, C. (1993). Rocas y Minerales. Barcelona: Ediciones Omega S.A.

Ponce, M. B., & Gambaudo, S. (2005). Los carbonatos. Buenos Aires: Argentina.

Pozo Rodríguez, M., González Yélamos, J., & Yiner Robles, J. (2003). Geología Práctica. Madrid: Pearson Prentice Hall.

Prefectura de Loja. (2019). Plan de Ordenamiento Territorial de la Provincia de Loja. Recuperado de <https://prefectura Loja.gob.ec/documentos/lotaip/2019/PDOT-2019.pdf>

Rivera Mantilla, H. (2005). Geología General. Lima: INGEMMET.

Sabino, C. (1996). El proceso de investigación. LUMEN-HUMANITAS, 62.

Servicio Geológico Mexicano. (s.f.). ¿Qué es la geología? Recuperado de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/157537/Que-es-la-Geologia.pdf>

Soto Godoy, M. (2005). Texto Universitario de Petrología. Puno.

Sureda, R. (2008). Historia de la mineralogía. San Miguel de Tucumán: INSUGEO.

Tarbutck, E., & Lutgens, F. (2005). Ciencias de la Tierra (Vol. VIII). Madrid: Pearson Educación S.A.

Virtual Pro. (11 de Noviembre de 2021). Prospección y exploración de yacimientos minerales. Recuperado de <https://www.virtualpro.co/noticias/prospeccion-y-exploracion-de-yacimientos-minerales>

Wicander, R., & Monroe, J. (1999). Fundamentos de geología. Mexico: International Thomson Editores.

Patrones de resistencia antimicrobiana de *Enterobacterales* aisladas desde 2018 a 2020, Clínica Medilab – Medihospital, Loja

Antimicrobial resistance patterns of Enterobacterales isolated from 2018 to 2020, Medilab Clinic – Medihospital, Loja.

Carmen Ullauri^{1,*}, Amy Guamán¹, Dora Ruilova¹ y Geover Ludeña¹

¹ Carrera de Laboratorio Clínico de la Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador, carmen.ullauri@unl.edu.ec, amy.guaman@unl.edu.ec, dora.ruilova@unl.edu.ec, geover.ludena@unl.edu.ec

* Autor para correspondencia: carmen.ullauri@unl.edu.ec

Fecha de recepción del manuscrito: 07/04/2023 Fecha de aceptación del manuscrito: 29/06/2024 Fecha de publicación: 30/06/2024

Resumen—Entre los factores que favorecen la aparición de resistencia bacteriana está la exposición continua a fármacos, lo que permite que las bacterias se adapten y muten evitando su lisis y manteniendo su capacidad de crecimiento, limitando así, el uso de antibioticoterapia para su erradicación, lo que ocasiona la necesidad de creación de nuevos fármacos para el tratamiento de estas “superbacterias”, por lo tanto, el conocer los patrones de susceptibilidad antimicrobiana de las cepas circulantes en el entorno, permite al médico tomar decisiones acertadas sobre el tratamiento empírico; el presente trabajo de investigación tuvo enfoque cuantitativo y diseño retrospectivo-transversal, el objetivo fue determinar los patrones de resistencia antimicrobiana de *Enterobacterales* en muestras de pacientes procedentes de hospitalización y consulta externa que acudieron a la Clínica Medilab - Medihospital en el periodo 2018 - 2020. El estudio incluyó 848 reportes de cultivos y antibiogramas en cuyos aislamientos se identificaron a *Enterobacterales*; la orina representó el 90,21 % de las muestras procesadas, *Escherichia coli* fue el patógeno prevalente en orina, sangre y secreciones con un 83 %, 80 % y 33,9 % respectivamente. Según el patrón de resistencia antimicrobiana de cepas hospitalarias *Klebsiella pneumoniae* tuvo porcentajes de resistencia mayores al 70 % para nitrofurantoina, amoxicilina/clavulánico y cefalosporinas de primera y tercera generación, mantuvo su sensibilidad a carbapenémicos, el 34,39 % expresó BLEE y el 9,76 % carbapenemasas; mientras que, en cepas comunitarias *Enterobacter cloacae*, presentó porcentajes del 100 % de resistencia frente a cefalosporinas de segunda, tercera y cuarta generación.

Palabras clave—Enterobacterias, Farmacorresistencia bacteriana, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*

Abstract—Among the factors that favor the appearance of bacterial resistance is the continuous exposure to drugs, which allows bacteria to adapt and mutate, avoiding their lysis and maintaining their growth capacity, limiting the use of antibiotic therapy for their eradication, which causes the need to create new drugs for the treatment of these "superbacteria", therefore, knowing the antimicrobial susceptibility patterns of the circulating strains in the environment allows to make right medical decisions for an empirical treatment. The present research work had a quantitative approach and a retrospective-cross-sectional design. The objective was to determine the patterns of antimicrobial resistance of *Enterobacterales* in samples of patients from hospitalization and outpatient clinic who attended the Medilab Clinic - Medihospital in the period 2018 - 2020. The study included 848 reports of crops and antibiograms whose isolates identified *Enterobacterales*; urine represented 90,21 % of the samples processed, *Escherichia coli* was the prevalent pathogen in urine, blood and secretions with 83 %, 80 % and 33,90 % respectively. According to the antimicrobial resistance pattern of hospital strains, *Klebsiella pneumoniae* had resistance percentages greater than 70 % for nitrofurantoin, amoxicillin/clavulanic acid, and first and third generation cephalosporins, the 34,39 % was ESBL and the 9,76 % carbapenemases; maintained its sensitivity to carbapenems, while *Enterobacter cloacae* in community strains, presented percentages of 100 % resistance against second, third and fourth generation cephalosporins.

Keywords—Enterobacteria, Bacterial drug resistance, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*

INTRODUCCIÓN

El descubrimiento de los antibióticos y su posterior introducción en la práctica clínica, supuso uno de los hallazgos más importantes para el control de enfermedades infecciosas, no obstante, el surgimiento de mecanismos de

resistencia bacteriana ha impactado negativamente el control y resolución de estas infecciones causando un aumento en la morbilidad y mortalidad, elevación de costos en la atención sanitaria y deteriorando la eficacia y uso de los fármacos en el tratamiento de enfermedades infecciosas. Las *Enterobacterales* constituyen un amplio grupo de bacterias Gram ne-

gativas que forman parte del microbiota intestinal de muchos animales y del hombre, sin embargo, se identifican también como los agentes causales de diversas patologías infecciosas (Kenneth y George, 2017; González et al., 2019).

Entre las *Enterobacterales* aisladas con frecuencia están *Klebsiella pneumoniae*, *Enterobacter sp.*, y *Escherichia coli* las que gracias a sus factores de virulencia pueden adaptarse para pasar de ser comensales para provocar diversas patologías, desde infecciones del tracto urinario, sepsis, neumonía hasta infecciones asociadas al cuidado de la salud; esto sumado a su capacidad de adquisición y diseminación de mecanismos de resistencia hace que se constituyan en un problema de salud pública (Pascual et al., 2020).

Las infecciones de vías urinarias forman parte de las 10 primeras causas de morbilidad y son causadas principalmente por *Enterobacterales* de los cuales según Asamoah (2022) el 70,6% son *Escherichia coli*; el 15,0% *Klebsiella sp* y el 5,4% *Proteus sp.*, mientras que, de acuerdo al estudio de Ljungquist (2022) reporta un 27% de *Escherichia coli* aislada de hemocultivos y un total de 17 983 *Enterobacterales* de los cuales al 98,6% (17 734) se le reportó resistencia a algún antibiótico, lo que denota la magnitud del problema con la circulación de cepas resistentes, siendo el mecanismo más frecuente para este grupo bacteriano la producción de betalactamasas que puede expresarse solo o acompañado de resistencia a quinolonas, aminoglucósidos u otros antibióticos; así, ya en 2020 en España se reporta una prevalencia de 1,6% de *Escherichia coli* invasiva y 4,4% de *Klebsiella pneumoniae* resistentes a carbapenémicos (Asamoah et al., 2022; Ljungquist et al., 2022; Lepe y Martínez, 2022; Gentil et al., 2022).

El fenómeno de la resistencia antimicrobiana ha crecido rápidamente permitiendo la presencia de “superbacterias” que son susceptibles a pocos o ningún antibiótico, *Escherichia coli* como principal representante de las enterobacterias no es la excepción, en la actualidad se reporta disminución de la sensibilidad a los antibióticos como trimetoprim – sulfametoxazol, ampicilina, ciprofloxacina, debido a que, tiene la capacidad de expresar mecanismos de resistencia como la producción de betalactamasas de espectro extendido (BLEE), carbapenemasas y resistencia a quinolonas al mismo tiempo y en cepas de origen comunitario. (Betrán et al., 2020; Gordillo y Barrera, 2018; Bathia, 2018).

Las consecuencias de la diseminación de la resistencia antimicrobiana no son menores, se considera que en el mundo actual 700 000 muertes ocurren por esta causa con mayor frecuencia en países desarrollados, se estima que esta cantidad ascenderá a 50 millones de muertes para el año 2 050; afectando también al costo para los sistemas de salud mundiales, esto debido a que, los patógenos resistentes ocasionan un tiempo de estancia hospitalaria mayor, tienen menos probabilidades de ser dados de alta, mayor tasa de reingreso y mayores costos durante su hospitalización; por ello, se propuso el presente estudio para identificar las bacterias *Enterobacterales* y sus patrones de resistencia tanto de las cepas circulantes en el medio hospitalario como las de la comunidad, información que ayudará a la toma de decisiones terapéuticas empíricas a la reducción de fracasos terapéuticos, reingresos e índices de mortalidad. (Bathia, 2018; Shields et al., 2021).

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en una casa de salud privada ubicada en el cantón Loja, que cuenta con 25 camas, con alrededor de 19 000 pedidos médicos de análisis clínicos anuales procesadas en el servicio de Laboratorio Clínico.

Diseño

Estudio de enfoque cuantitativo, de diseño retrospectivo-transversal, en el que se incluyeron 4 190 reportes de cultivo y antibiograma con pedido médico recibidos desde enero 2018 a diciembre del 2020; de los cuales 1034 tuvieron resultado positivo; 186 correspondieron a bacterias Gram positivas y levaduras, 848 reportes a *Enterobacterales* aislados en muestras de pacientes provenientes de los servicios de consulta externa y hospitalización de la Clínica Medilab – Medihospital que fueron analizados en este estudio

Para la revisión de los reportes de laboratorio se analizaron los archivos del servicio de Laboratorio Clínico y se tomaron en cuenta aquellos cultivos y antibiogramas realizados por métodos automatizados de microdilución en caldo y validados usando las normas del Manual M100 del CLSI vigente del año correspondiente; se excluyeron todos los reportes de cultivos y antibiogramas que no correspondieran al periodo de estudio, aquellos en los que se haya reportado hongos y bacterias diferentes a *Enterobacterales*; se incluyó un solo resultado por paciente.

Para la clasificación de datos se tomaron en cuenta: el tipo de muestra que incluyen muestras de orina, heces, sangre y secreciones vaginal, seminal, de heridas, abscesos, úlceras y esputo; el microorganismo aislado, el resultado de la susceptibilidad antimicrobiana reportado y el reporte de betalactamasas de espectro extendido (BLEE) y carbapenemasas,

Todos los datos revisados se ingresaron al programa analítico Whonet versión 5.6, una vez analizados en el mismo se organizaron los resultados que se en tablas y cartillas de resistencia que describen la frecuencia de aislamientos según el tipo de muestra, servicio y, patrones de resistencia; se observaron los criterios Bioéticos para el análisis de datos de seres humanos respetando la confidencialidad y gestionando la autorización de acceso a la información con fines académicos, todos los resultados analizados contaron con solicitud médica para cultivo y antibiograma.

RESULTADOS

De los aislamientos analizados el 24,7% (n=1034) de cultivos solicitados tuvieron un reporte positivo con desarrollo bacteriano, de los cuales el 82% (n=848) correspondieron a *Enterobacterales*; de éstos el 90,33% (n=766) pertenecieron a solicitudes de pacientes de consulta externa (cepas comunitarias) y el 9,67% (n=82) a pacientes hospitalizados (cepas hospitalarias); de forma que las bacterias aisladas con mayor frecuencia fueron las *Enterobacterales* cuya distribución se describe en la **Tabla 1** y **Tabla 2**. *Escherichia coli* fue la *Enterobacter* más frecuente tanto en cepas comunitarias como hospitalarias; el segundo lugar en cepas comunitarias estuvo ocupado por *Proteus mirabilis* y en cepas hospitalarias por *Klebsiella pneumoniae*

Tabla 1: Aislamiento de *Enterobacteriales* según el servicio de procedencia

Microorganismo	Consulta externa		Hospitalización		Total	
	F	%	F*	% %	F	%
<i>Citrobacter freundii</i>	5	0,7	-	-	5	0,6
<i>Citrobacter koseri</i>	2	0,3	1	1,2	3	0,4
<i>Citrobacter sp.</i>	6	0,8	-	-	6	0,7
<i>Enterobacter cloacae</i>	5	0,7	2	2,4	7	0,8
<i>Enterobacter sp.</i>	2	0,3	-	-	2	0,2
<i>Escherichia coli</i>	616	80,4	57	69,5	673	79,4
<i>Klebsiella aerogenes</i>	3	0,4	1	1,2	4	0,5
<i>Klebsiella oxytoca</i>	4	0,5	2	2,4	6	0,7
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	41	5,4	7	8,5	48	5,7
<i>Morganella morganii</i>	1	0,1	-	-	1	0,1
<i>Proteus hauseri</i>	-	-	1	1,2	1	0,1
<i>Proteus mirabilis</i>	52	6,8	4	4,9	56	6,6
<i>Proteus sp.</i>	4	0,5	-	-	4	0,5
<i>Proteus vulgaris</i>	13	1,7	1	1,2	14	1,7
<i>Raoultella planticola</i>	1	0,1	1	1,2	2	0,2
<i>Salmonella sp.</i>	8	1,0	2	2,4	10	1,2
<i>Serratia marcescens</i>	3	0,4	2	2,4	5	0,6
<i>Shigella sp.</i>	-	-	1	1,2	1	0,1
Total	766	100,0	82	100,0	848	100,0

Nota: F: Frecuencia, % %: porcentaje.

Tabla 2: Aislamiento de *Enterobacteriales* de acuerdo al tipo de muestra

Microorganismo	Tipo de muestras								Total	
	Heces		Orina		Sangre		Secreciones*		F	%
	F**	%***	F	%	F	%	F	%		
<i>Citrobacter freundii</i>	-	-	3	0,4	-	-	14	22,6	17	2,0
<i>Citrobacter koseri</i>	-	-	3	0,4	-	-	-	-	3	0,4
<i>Citrobacter sp.</i>	-	-	5	0,7	-	-	1	1,6	6	0,7
<i>Enterobacter cloacae</i>	-	-	-	-	-	-	2	3,2	2	0,2
<i>Enterobacter sp.</i>	-	-	2	0,3	-	-	-	-	2	0,2
<i>Escherichia coli</i>	1	6,3	635	83,0	4	80,0	21	33,9	661	77,9
<i>Klebsiella aerogenes</i>	-	-	2	0,3	-	-	2	3,2	4	0,5
<i>Klebsiella oxytoca</i>	-	-	4	0,5	-	-	2	3,2	6	0,7
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	-	-	41	5,4	-	-	7	11,3	48	5,7
<i>Morganella morganii</i>	-	-	1	0,1	-	-	-	-	1	0,1
<i>Proteus hauseri</i>	-	-	-	-	-	-	1	1,6	1	0,1
<i>Proteus mirabilis</i>	1	6,3	48	6,3	-	-	7	11,3	56	6,6
<i>Proteus sp.</i>	3	18,8	-	-	-	-	1	1,6	4	0,5
<i>Proteus vulgaris</i>	1	6,3	13	1,7	-	-	-	-	14	1,7
<i>Raoultella planticola</i>	-	-	-	-	-	-	2	3,2	2	0,2
<i>Salmonella sp.</i>	9	56,3	-	-	-	-	1	1,6	10	1,2
<i>Serratia marcescens</i>	-	-	3	0,4	1	20,0	1	1,6	5	0,1
<i>Shigella sp.</i>	1	6,3	-	-	-	-	5	8,1	6	0,7
Total	16	100,0	765	100,0	5	100,0	62	100,0	848	100,0

*Secreciones: se incluyeron muestras de secreción vaginal, seminal, esputo, heridas, abscesos y úlceras.

F: frecuencia, *%: porcentaje.

Los resultados denotan que la muestra recibida con mayor frecuencia es la de orina con 90,21 % (n=765), las bacterias aisladas con mayor frecuencia en muestras de heces fue *Salmonella sp.*, con 56,30%; mientras que, en las muestras de orina, sangre y secreciones *Escherichia coli* representa el 83,0%, 80,0% y 33,9% respectivamente.

De acuerdo a la figura 1, en las cepas hospitalarias *Klebsiella pneumoniae* tuvo porcentajes de resistencia mayores al 70% para nitrofurantoína, amoxicilina/clavulánico y las

cefalosporinas de primera y tercera generación, mantuvo su sensibilidad a carbapenémicos; *Proteus mirabilis* fue 100% resistente a cefalotina, fosfomicina y trimetoprim sulfametoxazol; *Serratia marcescens* fue 100% resistente a piperacilina tazobactam, ceftazidime, ceftriaxona, ertapenem, amikacina y trimetoprim sulfametoxazol, lo que indica que estas tres bacterias necesitarían tratamiento empírico idóneo para evitar el fracaso terapéutico. En las cepas comunitarias aisladas de pacientes de consulta externa descritas en la figura 2

Microorganismo	N°	AMP %	SAM %	TZP %	CEP %	CXM %	CAZ %	CRO %	FEP %	ETP %	IMP %	MEM %	AMK %	GEN %	FOS %	NIT %	SXT %	AMC %	ATM %	CZO %	DOX %	
<i>Citrobacter koseri</i>	1	RN	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
<i>Enterobacter cloacae</i>	2	RN	RN	50	RN	50	(-)	50	50	50	(-)	(-)	50	0	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
<i>Escherichia coli</i>	57	61,4	66,0	7,8	29,8	50,4	65,3	33,6	43,4	37,8	5,4	0,0	3,7	5,6	26,4	61,1	6,6	13,8	54,7	RN	53,3	44,7
<i>Klebsiella aerogenes</i>	1	RN	RN	(-)	RN	(-)	100	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
<i>Klebsiella oxytoca</i>	2	RN	(-)	(-)	(-)	50	(-)	50	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	50	100	50	50	100	50	100	(-)
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	7	RN	33,7	0,0	10,4	28,6	17,4	28,6	0,0	0,0	0,0	0,0	33,8	0,0	0,0	0,0	57,1	23,8	10,4	53,0	71,0	0,0
<i>Proteus hauseri</i>	1	RN	(-)	(-)	RN	RN	0	0	0	0	0	0	0	0	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
<i>Proteus mirabilis</i>	4	50	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0	100	100	25	0	0	0
<i>Proteus vulgaris</i>	1	RN	(-)	(-)	RN	RN	0	0	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
<i>Raoultella planticola</i>	1	RN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Salmonella sp.</i>	2	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	30	(-)	(-)
<i>Serratia marcescens</i>	2	RN	RN	100	RN	RN	(-)	100	100	(-)	100	(-)	100	0	0	0	0	100	100	RN	RN	(-)
<i>Shigella sp.</i>	1	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	100	(-)	(-)

Fig. 1: Patrón de resistencia antimicrobiana de cepas hospitalarias de *Enterobacteriales*.

* (N°) número de aislamientos, resistente menos del 30%, resistente entre el 30-70%, resistente más del 70%, resistencia natural y (-) sin reporte para ese microorganismo.

** (AMP) ampicilina, (SAM) ampicilina sulbactam, (TZP) piperacilina tazobactam, (CEP) cefalotina, (CXM) cefuroxima, (CTX) cefotaxima, (CAZ) ceftazidima, (CRO) ceftriaxona, (FEP) cefepime, (ETP) ertapenem, (IMP) imipenem, (MEM) meropenem, (AMK) amikacina, (GEN) gentamicina, (FOS) fosfomicina, (NIT) nitrofurantoina, (SXT) trimetoprim sulfametoxazol, (AMC) amoxicilina/ácido clavulánico, (ATM) aztreonam, (CZO) cefazolina y (RN) resistencia natural.

Microorganismo	N°	AMP %	SAM %	TZP %	CEP %	CXM %	CAZ %	CRO %	FEP %	ETP %	IMP %	MEM %	AMK %	GEN %	FOS %	NIT %	SXT %	AMC %	ATM %	CZO %	DOX %	FOF %
<i>Citrobacter freundii</i>	5	RN	RN	(-)	RN	(-)	50	33	0	33	0	0	0	0	0	0	33	100	67	RN	(-)	(-)
<i>Citrobacter koseri</i>	2	RN	(-)	100	(-)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	(-)	0	(-)	(-)
<i>Citrobacter sp.</i>	6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<i>Enterobacter cloacae</i>	5	RN	RN	100	RN	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<i>Enterobacter sp.</i>	2	0	100	100	(-)	50	100	100	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<i>Escherichia coli</i>	616	35	1,8	44	27	30	20	24	19	0	0,4	0,8	38	44	42	7,1	8,3	57	35	31	29	0
<i>Klebsiella aerogenes</i>	3	RN	RN	0	RN	100	0	50	100	50	100	50	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Klebsiella oxytoca</i>	4	RN	0	0	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	41	RN	13	33	45	43	36	38	30	0	8,3	14	8,6	0	53	0	50	50	50	39	100	0
<i>Morganella morganii</i>	1	RN	(-)	(-)	RN	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
<i>Proteus mirabilis</i>	52	23	0	46	30	30	13	16	7,4	0	0	0	0	50	46	0	46	68	26	0	39	(-)
<i>Proteus sp.</i>	4	100	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0
<i>Proteus vulgaris</i>	13	RN	(-)	25	RN	100	9,1	36	0	0	0	9,1	0	0	0	0	84	RN	59	25	0	0
<i>Raoultella planticola</i>	1	RN	(-)	0	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
<i>Salmonella sp.</i>	8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<i>Serratia marcescens</i>	3	RN	RN	100	RN	RN	(-)	50	100	50	50	0	50	0	0	0	0	100	100	RN	(-)	(-)

Fig. 2: Patrón de resistencia antimicrobiana de cepas comunitarias de *Enterobacteriaceae*.

* (N°) número de aislamientos, resistente menos del 30%, resistente entre el 30-70%, resistente más del 70%, resistencia natural y (-) sin reporte para ese microorganismo.

** (AMP) ampicilina, (SAM) ampicilina sulbactam, (TZP) piperacilina tazobactam, (CEP) cefalotina, (CXM) cefuroxima, (CTX) cefotaxima, (CAZ) ceftazidima, (CRO) ceftriaxona, (FEP) cefepime, (ETP) ertapenem, (IMP) imipenem, (MEM) meropenem, (AMK) amikacina, (GEN) gentamicina, (FOS) fosfomicina, (NIT) nitrofurantoina, (SXT) trimetoprim sulfametoxazol, (AMC) amoxicilina/ácido clavulánico, (ATM) aztreonam, (CZO) cefazolina y (RN) resistencia natural.

se observa que, *Escherichia coli* tuvo resistencias mayores al 70% a ampicilina y mayores del 30% a inhibidores de betalactamasas, cefalosporinas de primera y tercera generación, fluoroquinolonas y aminoglucósidos; *Klebsiella pneumoniae* no presentó resistencias mayores al 70% a ningún antibiótico y, *Enterobacter cloacae*, fue la cepa que presentó mayor resistencia con porcentajes del 100% frente a cefalosporinas de segunda, tercera y cuarta generación.

También se reportaron el 20,45% de cepas comunitarias de *Escherichia coli* productoras de BLEE frente al 36,8% de cepas hospitalarias con el mismo mecanismo de resistencia; mientras que, el 24,39% de *Klebsiella pneumoniae* comunitaria produjo BLEE y el 9,76% expresó carbapenemasas.

DISCUSIÓN

La resistencia antimicrobiana ha ido incrementando a lo largo de los años, en 2 018 la Organización Mundial de la Salud (OMS) informa un 82% de aumento de infecciones resistentes; el Centro de Control y Prevención de enfermedades (CDC) reporta que cada 4 horas en sus laboratorios se detecta un microorganismo resistente y cada día 2 000 personas mueren por esta causa, de forma que, a este ritmo para

el 2 050 habría más muertes por la resistencia bacteriana que por cáncer (Camacho, 2023).

En el presente estudio se analizaron datos de reportes de cultivos y antibiogramas de cepas hospitalarias y comunitarias para detectar los patrones de resistencia circulantes, se incluyeron 848 *Enterobacteriales*; de acuerdo al servicio de procedencia se destacó *E. coli* como la bacteria más frecuente reportada en cultivos tanto de pacientes provenientes de consulta externa (80,4%) como de hospitalización (69,5%); datos que concuerdan con el estudio realizado por Morales Espinoza (2 020) en el que, el 83,09% de aislados urinarios de pacientes ambulatorios fueron *E. coli* y el 8,63% *Klebsiella spp.* al igual que Morales Carrasco (2 021) describe a *E. coli* (22,3%) y a *Klebsiella pneumoniae* (12,8%) como los dos primeros patógenos aislados de muestras de pacientes hospitalizados en la unidad de cuidados intensivos, lo mismo ocurre en el reporte de Della Rocca (2 023) en el que *E. coli* y *K. pneumoniae* son los dos primeros patógenos aislados de muestras de pacientes hospitalizados representando el 48,7% entre las dos; de modo que, estas bacterias son los patógenos prevalentes en ambientes hospitalarios y comunitarios que gozan de la capacidad de causar infecciones oportunistas y asociadas al cuidado de la salud (Morales Espinoza et al., 2020; Morales Carrasco et al., 2021; Della Rocca et al., 2023).

En relación al tipo de muestra la más frecuente fue la orina que representó el 90,21%, *Escherichia coli* fue la bacteria más frecuente tanto en muestras de orina (83%), como en sangre (80%) y en secreciones (33,9%) otros autores como Espinoza (2 020), reporta a la orina como primera muestra con el 33,33% y a *E. coli* como primer patógeno con el 47,44%; Jiménez (2 022) reporta a *E. coli* con porcentaje de 38,54%, ;) mientras que, Salame (2018) reporta el 72,2% representando en todos los casos el primer patógeno aislado de forma que, *Escherichia coli* debe ser reconocida como una bacteria capaz de producir infección localizada y sistémica en pacientes hospitalizados y ambulatorios; su perfil de susceptibilidad debe ser descrito localmente para que el tratamiento empírico sea oportuno y certero solo así se ayudará al control de infecciones intrahospitalarias y a la disminución de su diseminación a nivel comunitario (Espinoza et al., 2020; Jiménez et al., 2022; Salame et al., 2018).

Se determinó el patrón de resistencia antimicrobiana encontrando que *Escherichia coli* comunitaria presentó resistencia del 76% a ampicilina; 35% a ampicilina/sulbactam, 44% a cefalotina, 30% a cefotaxima, 38% a gentamicina, 31% a aztreonam, 57% a trimetoprim/sulfametoxazol, 35% a amoxicilina/ácido clavulánico y 44% a ciprofloxacina, concordando con un estudio realizado por Valery (2 016) donde se encontró resistencia a ampicilina 86,62%, cefalotina 54,65%, trimetoprim/sulfametoxazol 55,85%, amoxicilina/ácido clavulánico 41,41%, sin embargo, reportaron menores porcentajes para ciprofloxacina 23,28%, cefotaxima 15,6% y gentamicina 20,56%, lo mismo sucede con Sajona, (2 018) en donde ampicilina presentó resistencia del 72,7%, fluoroquinolonas del 42% y trimetoprim-sulfametoxazol 50%, lo que se confirma por Yoshimura (2 021) quien reporta resistencia en *Escherichia coli* de 67,5% a ampicilina; 78,8% a ampicilina/sulbactam; 78,1% y 98,7% a cefazolina y cefotaxime respectivamente y, un porcentaje de aproximadamente 20% de producción de betalactamasas de

espectro extendido cifra similar al 20,45% y 36,8% encontrado en este estudio en cepas comunitarias y hospitalarias respectivamente, lo que denota mayor presencia de este mecanismo de resistencia en bacterias hospitalaria y la presencia de mecanismos de resistencia a betalactámicos que limita la decisión terapéutica induciendo al uso de otras familias de antibióticos más tóxicos y más costosos (Valery et al., 2016; Sajona et al., 2018; Yoshimura et al., 2021).

El complejo *Enterobacter cloacae* aislado de muestras de pacientes ambulatorios presentó resistencia de 100% a piperacilina/tazobactam, norfloxacin y a las cefalosporinas de 3° y 4° generación, datos que discrepan del estudio realizado por Morales (2020) en el que se reporta resistencia del 25% para piperacilina/tazobactam, sin embargo, concuerdan con los reportes de resistencia para cefalosporinas de 3° y 4° generación para las cuales también encontraron porcentajes mayores al 50%; considerando que, *Enterobacter* sp, es portadora natural de una cefalosporinasa el uso continuo de antibióticos betalactámicos podría provocar el aumento del espectro de resistencia a las cefalosporinas de tercera y cuarta generación, lo cual hace evidente la importancia de buscar estrategias para educar a la población en general evitando la automedicación y el establecimiento de estrategias intrahospitalarias para promover el racional y adecuado uso de los antibióticos (Morales et al., 2020)

Las cepas hospitalarias de *Klebsiella pneumoniae* tuvieron porcentajes de resistencia mayores al 70% frente a nitrofurantoina, amoxicilina/ácido clavulánico, cefalotina, cefazolina y cefotaxime; *E. coli* presentó resistencia mayor al 30% a ampicilina, ampicilina/sulbactam, cefalosporinas de 3era y 4ta generación, ciprofloxacina, trimetoprim/sulfametoxazol, aztreonam, cefazolina; datos que comparados con el estudio de Valery (2 016) en el que en pacientes hospitalizados *K. pneumoniae* presentó resistencia a amoxicilina /ácido clavulánico del 50,57%, nitrofurantoina 23,53% y cefalosporinas de tercera generación mayor del 40%, demostrando que esta bacteria es resistente a múltiples antimicrobianos, en el caso de *E. coli* reportaron resistencia a ampicilina de 68%, ampicilina/sulbactam 58%, trimetoprim/sulfametoxazol 51%, ciprofloxacina 41% y ceftriaxona 21%, como puede notarse existen diferencias en los patrones de susceptibilidad lo que demuestra la necesidad de establecer el perfil de las cepas que circulan en un medio específico lo que permitiría la prescripción idónea y un mejor control de las infecciones (Valery et al., 2016)

Finalmente se puede notar que, existen diferencias entre el patrón de susceptibilidad de las cepas comunitarias y hospitalarias aisladas; las cepas hospitalarias de *Escherichia coli* presentaron porcentajes más altos de resistencia a inhibidores de betalactamasas, cefalosporinas de segunda, tercera y cuarta generación, el 36,8% expresaron BLEE frente a las cepas comunitarias en las que este mecanismo de resistencia se expresó en el 20,45%; ocurrió lo mismo con *Klebsiella pneumoniae* en el caso de inhibidores de betalactamasas y cefalosporinas de primera y tercera generación, las cepas comunitarias de *Klebsiella pneumoniae* expresaron BLEE en un 24,39% y, el 9,76% produjo carbapenemasas; no se encontraron reportes de estos mecanismos de resistencia en cepas hospitalarias; otros autores como Parker (2 023), Toombs-Ruane (2 023), Zhang (2 023) reportan la presencia de mecanismos de resistencia a betalactámicos como la producción

de cefalosporinas, , betalactamasas de espectro extendido y carbapenemasas como causantes de la complicación del tratamiento de infecciones y aumento de mortalidad cuyos marcadores de sospecha serían la resistencia o susceptibilidad disminuida a cefalosporinas tal como se reporta en este estudio; por lo que, el conocimiento de que las bacterias identificadas producen estos mecanismos de resistencia tanto a nivel comunitario como hospitalario es una alerta que ratifica la importancia de considerarlas como un problema de salud pública local que tiene implicaciones clínicas al agravar las infecciones y, sociales al representar mayor costo para el sistema de salud y aumentar la mortalidad, de forma que, resulta imprescindible la implementación de programas de control de infecciones y optimización del uso de antibióticos (Parker et al., 2023; Toombs et al., 2022; Zhang et al., 2023).

CONCLUSIONES

El conocimiento de los patrones de resistencia antimicrobiana de las cepas circulantes constituye información clave para la prescripción médica adaptada a la realidad local, en el presente estudio se determina que la misma bacteria varía su perfil de susceptibilidad de acuerdo a su procedencia, por lo que, las bacterias hospitalarias presentan porcentajes de resistencia mayores a cefalosporinas e inhibidores de betalactamasas que las comunitarias.

Escherichia coli es la *Enterobacter* prevalente en todos los tipos de muestras, la muestra más frecuente fue la de orina, *Klebsiella pneumoniae* fue la bacteria hospitalaria con resistencia mayor a cefalosporinas de primera y tercera generación; el Complejo *Enterobacter cloacae* fue la bacteria comunitaria con resistencia mayor a cefalosporinas de segunda, tercera y cuarta generación.

Es necesario buscar de forma rutinaria los mecanismos de resistencia más frecuentes en la familia de *Enterobacteriales*, *Escherichia coli* produjo BLEE; mientras que *Klebsiella pneumoniae* expresó BLEE y carbapenemasas.

AGRADECIMIENTOS

A las autoridades de la Clínica Medilab – Medihospital por autorizar la ejecución del presente trabajo y su especial interés en conocer los resultados de este trabajo con fines de conocer la epidemiología de su casa de salud.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

conceptualización: CU, AG, DR y YL; metodología: CU, AG, DR y YL; análisis formal: CU; investigación: AG, DR y YL; recursos: CU, AG, DR y YL; curación de datos: CU, AG, DR y YL; redacción — preparación del borrador original: CU, AG, DR y YL; redacción — revisión y edición: CU; visualización: CU; supervisión: CU; administración de proyecto: CU. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

Carmen Ullauri: CU. Amy Guamán: AG. Dora Ruilova: DR. Yeral Ludeña: YL

FINANCIAMIENTO

El presente estudio se financió con fondos de los autores.

REFERENCIAS

- Asamoah, B., Labi, A., Gupte, H., Davtyan, H., Pehrah, G., Adu-Gyan, F., . . . Nyantakyi, P. (2022). High Resistance to Antibiotics Recommended in Standard Treatment Guidelines in Ghana: A Cross-Sectional Study of Antimicrobial Resistance Patterns in Patients with Urinary Tract Infections between 2017–2021. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19. doi:<https://doi.org/10.3390/ijerph192416556>
- Bathia, R. (2018). Resistencia a los antimicrobianos: amenaza, consecuencias y opciones. *The National Medical Journal of India*, 31. doi:10.4103/0970-258X.255752
- Betrán, A., Lavilla, M., Cebollada, R., Calderón, J., & Torres, L. (2020). Resistencia antibiótica de *Escherichia coli* en infecciones urinarias nosocomiales y adquiridas en la comunidad del Sector Sanitario de Huesca 2016-2018. *Revista Clínica de Medicina de Familia*, 13. Obtenido de <http://bitly.ws/Cktx>
- Camacho, L. (2023). Resistencia bacteriana, una crisis actual. *Rev Esp Salud Pública*, 97. Obtenido de <https://medes.com/publication/176098>
- Della Rocca, M., Panetta, V., Durante, A., Bucci, L., Matano, A., Anecchiarico, A., & Greco, R. (2022). Pathogens distribution and antimicrobial resistance pattern of bloodstream infections in Southern Italian hospital, 2016-2021 surveillance. *New Microbiologica*, 46.
- Espinoza, C., Cando, V., & Acosta, L. (2020). Resistencia antimicrobiana de enterobacterias y uso de antibióticos en pacientes de uci clínica Dame 2014. *Polo del Conocimiento*, 5. doi:<https://doi.org/10.23857/pc.v5i4.1379>
- Gentil, P., Canton, R., López, V., Barberán, J., Blasco, A., Gutierrez, C., . . . Horcajada, J. (2022). Antimicrobial resistance in Gram-negative bacilli in Spain: an experts' view. *Revista Española de Quimioterapia*, 36.
- Gonzalez, J., Maguiña, C., & González, F. (2019). La resistencia a los antibióticos: un problema muy serio. *Acta Médica Peruana*, 36. Obtenido de <http://bitly.ws/Cvnr>
- Gordillo, F., & Barrera, F. (2018). Perfil de resistencia de uropatógenos en pacientes con diabetes en Quito, Ecuador, inquietante panorama. *Enfermedades Infecciosas*, 60. doi:<https://doi.org/10.21149/8756>
- Jimenez, G., Morejón, M., & Ramón, S. (2022). Agentes etiológicos de las bacteriemias en el área de salud de Ibiza y Formentera (ASEF) durante el año 2019. *Revista Sanitaria de Investigación*, 11. Obtenido de <http://bitly.ws/CvWT>
- Kenneth, R., & George, R. (2017). Sherris. Microbiología Médica. Obtenido de <http://bitly.ws/CvWj>
- Lepe, J., & Martínez, L. (2022). Mecanismos de resistencia en bacterias gramnegativas. *Medicina Intensiva*, 46. doi:<https://doi.org/10.1016/j.medin.2022.02.004>
- Ljungquist, O., Blomstergren, A., Merkel, A., Sunnehagen, T., Holm, K., & Torisson, G. (2022). Incidence, aetiology and temporal trend of bloodstream infections in southern Sweden from 2006 to 2019: a population-based study. *Revista europea sobre vigilancia, epidemiología, prevención y control de enfermedades infecciosas*, 28. doi:<https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2023.28.10.2200519>
- Morales, A., Sánchez, F., Agreda, I., Maldonado, C., Morales, L., Gallegos, M., Arias, R., Chango, F., Estrada, E., Andrade, J., Jaramillo, C., & Pichucho, B. (2021). Patrones de resistencia bacteriana en la Unidad de Cuidados Intensivos del Hospital General Ambato del IESS, Ecuador. *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica*. doi:<https://doi.org/10.5281/zenodo.4676295>
- Morales, R., Contreras, I., Duran, A., Olivares, A., Valencia, C., García, Y., & González, A. (2020). Patrones de susceptibilidad antimicrobiana “in vitro” de bacterias Gram negativas aisladas de infección de vías urinarias en pacientes ambulatorios de una clínica del sur de la Ciudad de México. Obtenido de <https://bitly.cx/t8EP>
- Parker, J., Gu, R., Estrera, G., Kirkpatrick, B., Ros, D., Mavridou, D., . . . Davies, B. (2023). Carbapenem-Resistant and ESBL-Producing Enterobacteriales Emerging in Central Texas. *Infection and Drug Resistance*, 16. doi:<https://doi.org/10.2147/IDR.S403448>
- Pascual, P., Cantero, M., Muñoz, E., Asensio, A., & Ramos, A. (2020). Epidemiología y clínica de las infecciones y colonizaciones causadas por enterobacterias productoras de carbapenemasas en un hospital de tercer nivel. *Revista Española de Quimioterapia*, 33, 112-129. Obtenido de <http://bitly.ws/CvWy>
- Sajona, E., Osorio, E., & Peña, L. (2018). Perfil de resistencia de *Escherichia coli* en infecciones del tracto urinario (ITU), en pacientes de consulta externa de la fundación hospital universitario metropolitano de barranquilla. *Revista Edu-física*, 10. Obtenido de <http://bitly.ws/CvT6>
- Salame, L., Contreras, B., Arias, S., Mondragón, M., Cātaneo, J., Núñez, M., & Valente, B. (2018). Epidemiología de las bacteriemias por *Escherichia coli* en dos hospitales de tercer nivel de la Ciudad de México. *Medigraphic*, 63. Obtenido de <http://bitly.ws/Cvnc>
- Shields, R., Zhou, Y., Kanakamed, H., & Cai, B. (2021). Burden of illness in US hospitals due to carbapenem-resistant Gram-negative urinary tract infections in patients with or without bacteraemia. *BMC Infectious Diseases*, 21. doi:<https://doi.org/10.1186/s12879-021-06229-x>
- Toombs, L., Marshall, J., Benschop, J., Drinkovi, D., Midwinter, A., Bigg, P., . . . Burgess, S. (2022). Extended-spectrum β -lactamase- and AmpC β -lactamase-producing Enterobacteriales associated with urinary tract infections in the New Zealand community: a case-control study. *International Journal of Infectious Diseases*, 128. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijid.2022.12.013>
- Valery, F., Salgado, J., Rosal, E., Reyes, M., & Moreno, C. (2016). Evaluación de la resistencia bacteriana en el Hospital Pediátrico “Dr. Elías Toro”. Años 2012 al 2016. Recomendaciones prácticas. *Infectología. Revista Bol Venez Infectología*, 27. Obtenido de <http://bitly.ws/CvSn>

Yoshimura, J., Yamakawa, K., Umemura, Y., Nishida, T., Ooi, Y., & Fujim, S. (2021). Impact of beta-lactamase detection reagent on rapid diagnosis of ESBL-producing pathogens using urine samples of patients with Gram-negative bacteriuria. *International Journal of Infectious Diseases*, 113. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijid.2021.09.059>

Zhang, H., Xu, J., Xiao, Q., Wang, Y., Wang, J., Zhu, M., & Cai, Y. (2023). Carbapenem-sparing beta-lactam/beta-lactamase inhibitors versus carbapenems for bloodstream infections caused by extended-spectrum beta-lactamase-producing Enterobacteriaceae: a systematic review and meta-analysis. *International Journal of Infectious Diseases*, 128. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijid.2023.01.001>

Patrones de resistencia bacteriana de *Staphylococcus spp* en Medilab-Medihospital, Loja 2018- 2020

Bacterial resistance patterns of Staphylococcus spp in Medilab-Medihospital, Loja 2018- 2020

Iliana Alicia Delgado¹, Ana Castillo^{1,*}, Humberto Riascos¹ y Sandra Freire¹

¹ Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador, ana.j.castillo@unl.edu.ec, iliana.delgado@unl.edu.ec, humberto.riascos@unl.edu.ec, sandra.freire@unl.edu.ec

* Autor para correspondencia: ana.j.castillo@unl.edu.ec

Fecha de recepción del manuscrito: 22/02/2024 Fecha de aceptación del manuscrito: 05/04/2024 Fecha de publicación: 30/06/2024

Resumen—La resistencia bacteriana frente a los antibióticos es uno de los problemas más grandes de salud pública a nivel mundial. Esto dificulta controlar las enfermedades infecciosas causadas por las bacterias, ya que genera fallo terapéutico, alarga los tratamientos y aumenta costes en la atención de la salud. *Staphylococcus spp*, es uno de los grupos bacterianos más estudiados debido a su importancia clínica y las altas tasas de resistencia que presenta frente a los antibióticos. La especie más importantes es *Staphylococcus aureus* considerándose la más patógena seguida de los estafilococos coagulasa negativos que actúan como patógenos oportunistas. Este es un estudio retrospectivo cuyo objetivo es determinar patrones de resistencia bacteriana de *Staphylococcus spp* de los registros de antibiogramas realizados en el Laboratorio Clínico Medilab-Medihospital 2018 - 2020. Donde se aislaron 86 cultivos positivos de *Staphylococcus aureus* con el 71,43% y *Staphylococcus epidermidis* con el 78,40%, con más frecuente en el área de consulta externa y predominando en muestras de secreciones con el 77,6% y 67,6% de acuerdo a la especie. El perfil de resistencia de *Staphylococcus aureus* frente a los antibióticos ensayados en el laboratorio de microbiología son: penicilina (87%), oxacilina (81,50%) y eritromicina (64,6%); mientras que el de *Staphylococcus epidermidis* fue: penicilina (75%), oxacilina (66,7%), eritromicina (62,9%) y clindamicina (52,8%). Se concluye que ambos grupos de microorganismos expresan fenotipos de resistencia a oxacilina, penicilina y eritromicina, sensibilidad a vancomicina y linezolid y susceptibilidad variable al resto de antibióticos evaluados.

Palabras clave—Patrones de resistencia, *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*

Abstract—Bacterial resistance to antibiotics is one of the greatest public health problems worldwide. This makes it difficult to control infectious diseases caused by bacteria, since it generates therapeutic failure, lengthens treatments and increases health care costs. *Staphylococcus spp*. is one of the most studied bacterial groups due to its clinical importance and high rates of resistance to antibiotics. The most important species is *Staphylococcus aureus*, which is considered the most pathogenic, followed by coagulase-negative staphylococci that act as opportunistic pathogens. This is a retrospective study whose objective is to determine bacterial resistance patterns of *Staphylococcus spp*. from the antibiogram records performed at the Medilab-Medihospital Clinical Laboratory 2018 - 2020. Where 86 positive cultures of *Staphylococcus aureus* were isolated with 71.43% and *Staphylococcus epidermidis* with 78.40%, with more frequent in the outpatient area and predominantly in secretion samples with 77.6% and 67.6% according to the species. The resistance profile of *Staphylococcus aureus* to the antibiotics tested in the microbiology laboratory was: penicillin (87%), oxacillin (81.50%) and erythromycin (64.6%); while that of *Staphylococcus epidermidis* was: penicillin (75%), oxacillin (66.7%), erythromycin (62.9%) and clindamycin (52.8%). It is concluded that both groups of microorganisms express phenotypes of resistance to oxacillin, penicillin and erythromycin, sensitivity to vancomycin and linezolid and variable susceptibility to the rest of the antibiotics evaluated.

Keywords—Resistance patterns, *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*

INTRODUCCIÓN

La resistencia a los antibióticos es uno de los problemas más grandes de salud pública a nivel mundial. Debido a que dificulta controlar las enfermedades infecciosas causadas por microorganismos bacterianos, generando un elevado

aumento de morbilidad y mortalidad, reduce la eficacia terapéutica y amenaza la seguridad sanitaria debido a la rápida transmisión de microorganismos infecciosos de un individuo a otro (Calderón Rojas y Aguilar Ulate, 2016, p. 758). Los estafilococos son una de las principales bacterias que generan infecciones en los seres humanos, tanto en el me-

dio hospitalario como en la comunidad. Son responsables, de generar infecciones de piel y partes blandas, bacteriemia, endocarditis y neumonía; pero también producen infecciones relacionadas con la utilización de diferentes tipos de dispositivos médicos, además poseen una extraordinaria capacidad para desarrollar resistencia a los antimicrobianos (Castellano G *et al.*, 2018, p. 27).

La especie más importantes de este género es *S. aureus* que es una de las más estudiadas debido a sus características de virulencia ocasionando alta tasas de resistencia a los antibióticos, su distribución es a nivel mundial y el impacto en la morbilidad y mortalidad es considerable a nivel comunitario e intrahospitalario en los pacientes más susceptibles. De forma similar ocurre con los estafilococos coagulasa negativa, que han generado grandes problemas debido a que actúan como patógenos nosocomiales oportunistas debido al uso de terapias inmunosupresoras y métodos invasivos como implantes y prótesis (López-Aguilera *et al.*, 2013, p. 501; Zendejas-Manzo *et al.*, 2014, p. 129).

Los estafilococos presentaron una rápida resistencia a los antibióticos después de la introducción de la penicilina, en la actualidad menos del 10% de las cepas son sensibles a este antibiótico, esta resistencia es conferida por la enzima penicilinas. Los problemas asociados a los estafilococos resistentes a la penicilina impulsaron el desarrollo de penicilinas semisintéticas, lamentablemente se dio la resistencia a la meticilina llegando a generar resistencia a todos los betalactámicos y a otros grupos de antibióticos; se ha reportado cepas resistentes al grupo de macrólidos, lincosamidas y estreptograminas B comúnmente usados para tratar infecciones por *Staphylococcus spp.* y recientemente se ha reportado resistencia a glicopéptidos (Ballesté López *et al.*, 2019, p. 9; Castro-Orozco, *et al.*, 2018, p. 26).

En la investigación realizada por el Centro Nacional de Referencia de Resistencia a los antimicrobianos CRN-RAM del Instituto Nacional de Investigación en Salud Pública- INSPI, en datos obtenidos de los registros de los servicios hospitalarios ecuatorianos determinaron que *S. aureus* es el tercer microorganismo sujeto a vigilancia de resistencia a los antimicrobianos (RAM) que se ha reportado en mayor porcentaje presentando en el año 2014 el 12% RAM, en el 2015 el 11% RAM, en el 2016 el 12% RAM y en el 2017 el 10% RAM. Dentro de los aislados hospitalarios como en Unidad de Cuidados Intensivos (UCI) el antibiótico que presenta mayor porcentaje de resistencia a *S. aureus* es la penicilina con el 87% (Ministerio de Salud Pública, 2019).

Sumado a la resistencia antimicrobiana tenemos la pandemia de la COVID-19, que ha agravado la situación ya que solo un 8% de los pacientes afectados por este, merecían consumir antibióticos, situación que ha generado consecuencias graves al respecto; y por lo cual, se necesita de manera urgente concienciar a la sociedad sobre el uso de antibióticos y las medidas auxiliares y preponderantes como es el uso de la medicina tradicional y los hábitos de higiene que pueden ayudar de gran manera para evitar infecciones y contagios. (ISGLOBAL 02-2022)

Es fundamental incentivar la utilización de programas de optimización de antimicrobianos, métodos veraces de detección de mecanismos de resistencia; y a su vez, programas de análisis de datos de dichos patrones, y mediante estos hacer una vigilancia continúa considerando la aparición de cepas re-

sistentes de los diferentes microorganismos de interés clínico incluido los estafilococos; y como consecuencia el conocimiento de sensibilidad y resistencia para poder facilitar una correcta opción terapéutica para el paciente y ayudar a disminuir los porcentajes de resistencia.

Para el desarrollo y cumplimiento de la presente investigación se planteó: establecer la frecuencia de *Staphylococcus spp.* presentes en las muestras de los pacientes, según el área de procedencia y según el tipo de muestras; Identificar el porcentaje de resistencia bacteriana frente a los antibióticos probados; Clasificar los patrones de resistencia identificados según el año estudiado en época pre-pandemia y pandemia COVID-19 y según el servicio de procedencia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Estudio retrospectivo que analiza los patrones de resistencia bacteriana en *Staphylococcus spp* que ha desarrollado frente a la acción antibiótica verificado en un test de antibiograma.

El universo de este estudio está constituido por 4190 reportes cuya muestra a analizar es de 86 reportes de cepas de estafilococos aislados de cultivos con la identificación bacteriana correspondiente, realizada en su mayor parte en forma manual a través del aislamiento, identificación y antibiograma, y en menor porcentaje en equipo automatizado de muestras provenientes de las diferentes áreas de atención la clínica Medilab-Medihospital, durante 2018 -2020 período pre-pandemia y pandemia. Para la tabulación y análisis de la información, se utilizó el programa WHONET, versión 5,6 (World Health Organization).

En cuanto a los aspectos bioéticos, debido a la naturaleza del estudio no se requirió el consentimiento escrito de los pacientes. Se contó con la aprobación del comité de ética del hospital para llevar a efecto el estudio. La identificación de los pacientes se mantuvo confidencial.

RESULTADOS

De 4190 reportes de antibiogramas de cultivos realizados en el laboratorio de microbiología de la Clínica Medilab-Medihospital del año 2018 al 2020 se obtuvo 1013 reportes positivos para diferentes agentes causales, de los cuales 86 de estos correspondían a *Staphylococcus spp* representando el 8,49%.

La frecuencia de *Staphylococcus spp* según los servicios de atención, (Figura 1) se observa que *S. aureus* y *S. epidermidis* son los que se aísla con mayor frecuencia en muestras de pacientes de consulta externa con el 71,43% y 78,4% respectivamente.

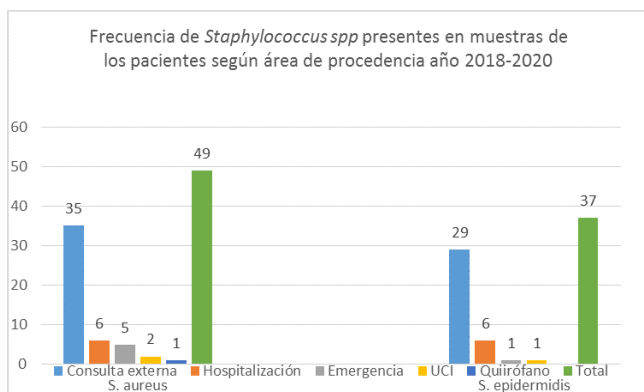


Fig. 1: Frecuencia de *Staphylococcus spp* presentes en muestras de los pacientes según área de procedencia año 2018-2020

En la Tabla 1 hace referencia a la distribución de *Staphylococcus spp* por tipo de muestra, mostrando que *Staphylococcus aureus* y *Staphylococcus epidermidis* predomina más en muestras de secreciones con el 77,6% y 67,6% respectivamente.

Tabla 1: Frecuencia de significación imputada según el tipo de muestra en pacientes de atención integrada de salud.

Tipo de muestra	<i>Staphylococcus aureus</i>		<i>Staphylococcus epidermidis</i>	
	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa
Secreciones	39	79,6%	25	67,6%
Hemocultivos	5	10,2%	4	10,8%
Urocultivo	5	10,2%	6	16,2%
Líquidos biológicos	-	-	2	5,4%
Total	49	100%	37	100%

En la Tabla 2 se detalla el porcentaje de resistencia bacteriana de *Staphylococcus spp* frente a los antibióticos probados. *S. aureus* muestra resistencia moderada a penicilina (87%), oxacilina (81,50%) y eritromicina (64,6%); mientras que *S. epidermidis* a penicilina (75%), oxacilina (66,7%), eritromicina (62,9%) y clindamicina (52,8%)

Tabla 2: Porcentaje de resistencia bacteriana de *Staphylococcus spp* aislados de muestras de pacientes frente a los antibióticos probados

Antibióticos	<i>Staphylococcus aureus</i>		<i>Staphylococcus epidermidis</i>	
	T/R	%R	T/R	%R
Betalactámicos				
Oxacilina	27/22	81,5%	16/24	66,7
Penicilina	-	100%	-	75,0
Fluoroquinolonas				
Ciprofloxacino	34/10	29,4%	25/9	36,0
Lincosamidas				
Clindamicina	45/18	40%	36/19	52,8
Macrólidos				
Eritromicina	52/18	34,6%	45/28	62,9
Sulfonamidas				
Trimetoprim/sulfametoxazol	48/11	22,6%	45/16	35,6
Otros antibióticos				
Nitrofurantoina	6/1	16,7	6/1	16,7

Elaboración propia a partir de los registros de antibiogramas procesados del 2018-2020 de la Clínica **MedilabMediodía**.

%R = porcentaje de resistencia. T/R = total de resistencia

La Tabla 3 muestra los patrones de resistencia de *S. aureus* en época pre-pandémica y pandémica COVID-19; en-

contrándose 23 patrones diferentes presentando resistencia desde uno hasta seis antibióticos. En la época pre-pandémica que corresponde a los años 2018 y 2019 existió 20 patrones de resistencia mostrando mayor resistencia a 2 antimicrobianos CLI+ERY presente en 5 cepas; y en el año 2020 que corresponde a la época pandémica existió 5 patrones de resistencia indicando mayor resistencia a 1 antimicrobiano OXA presente por 5 cepas.

Tabla 3: Patrones de resistencia de *Staphylococcus aureus* en épocas pre-pandemia y pandemia COVID-19 año 2018-2020

No. de antibióticos	Patrón de resistencia	Pre-pandemia		Pandemia	
		2018-2019	%	2020	%
1	Ninguno	6	15	-	-
	OXA	1	2,50	5	55,55
	ERY	2	5	-	-
	PEN	1	2,50	-	-
	CLI	-	-	1	11,11
2	CLI+ERY	5	12,50	1	11,11
	PEN+ERY	3	7,50	-	-
	SXT+ERY	1	2,50	-	-
	ERY+OXA	-	-	1	11,11
3	PEN+ERY+OXA	3	7,50	1	2,78
	CIP+CLI+PEN	1	2,50	-	-
	SXT+ERY+OXA	2	5	-	-
	PEN+SXT+ERY	1	2,50	-	-
	CIP+PEN+ERY	1	2,50	-	-
4	CIP+CLI+SXT	1	2,50	-	-
	CIP+PEN+ERY+OXA	1	2,50	-	-
	CLI+CLI+PEN+ERY	2	5	-	-
	CLI+SXT+ERY+OXA	2	5	-	-
	CLI+PEN+ERY+OXA	1	2,50	-	-
5	CIP+PEN+SXT+ERY	1	2,50	-	-
	CIP+CLI+SXT+ERY+OXA	-	-	1	11,11
	CIP+CLI+PEN+ERY+OXA	2	5	-	-
6	CIP+PEN+SXT+ERY+OXA	1	2,50	-	-
	CIP+CLI+PEN+SXT+ERY+OXA	2	5	-	-
Total		40	100	9	100

Elaboración propia a partir de los registros de antibiogramas procesados del 2018-2020 de la Clínica **MedilabMediodía**.

Abreviaturas: CIP=ciprofloxacino, CLI=clindamicina, ERY=eritromicina, GEN=gentamicina, OXA=oxacilina, PEN=penicilina, SXT=trimetoprim/sulfametoxazol.

La Tabla 4 hace referencia a los patrones de resistencia de *S. epidermidis* en época pre-pandémica y pandémica COVID-19; presentándose 18 patrones diferentes, en la que las mayorías de la cepa fueron resistentes desde uno hasta siete antibióticos. En la época pre-pandémica, se presentaron 15 patrones mostrando mayor resistencia a 1 antibiótico ERY presente en 4 cepas; mientras que en la época pandémica existieron 7 patrones diferentes mostrando mayor resistencia a ERY y al patrón CIP+CLI+ERY+OXA expresados por 2 cepas cada uno.

La Tabla 5 indica los patrones de *S. aureus* según el servicio de procedencia; obteniendo 23 patrones diferente siendo resistentes desde uno hasta seis antibióticos. En el área de emergencia se presentó 4 patrones de resistencia, en el que el antibiótico OXA es el más frecuente presentándose en 2 cepas; en UCI 2 patrones de resistencia mostrando mayor resistencia a PEN y al patrón CLI+ERY presentes en 1 cepa cada uno; en hospitalización 4 patrones de resistencia exhibiendo mayor resistencia a 1 antibiótico OXA en 2 cepas; en consulta externa 19 patrones diferentes expresando mayor resistencia a los patrones CLI+ERY, PEN+ERY y PEN+ERY+OXA en 3 cepas respectivamente; y en Quirófano 1 patrón presentando su resistencia a SXT+ERY+OXA

Tabla 4: Patrones de resistencia de *Staphylococcus epidermidis* en épocas pre-pandemia y pandemia COVID-19 año 2018-2020

No. de antibióticos	Patrón de resistencia	Pre-pandemia		Pandemia	
		2019	%	2020	%
0	Ninguno	1	4,34	5	35,71
1	ERY	4	17,39	2	14,28
	OXA	1	4,34	1	7,14
	PEN	2	8,69	-	-
2	PEN+ERY	1	4,34	-	-
3	CLI+SXT+OXA	2	8,69	1	7,14
	CLI+ERY+OXA	3	13,04	-	-
	CLI+PEN+ERY	1	4,34	-	-
	PEN+SXT+ERY	1	4,34	-	-
4	CLI+SXT+ERY+OXA	1	4,34	1	7,14
	CLI+PEN+ERY+OXA	1	4,34	-	-
	CIP+CLI+PEN+OXA	1	4,34	-	-
	CLI+CLI+ERY+OXA	-	-	2	14,28
	CIP+CLI+SXT+ERY	1	4,34	-	-
	CIP+CLI+PEN+ERY	1	4,34	-	-
5	CIP+CLI+SXT+ERY+OXA	-	-	1	14,28
	CIP+CLI+PEN+STX+ERY	-	-	1	7,14
6	CIP+CLI+PEN+SXT+ERY+OXA	1	4,34	-	-
7	CIP+CLI+NIT+PEN+SXT+ERY+OXA	1	4,34	-	-
Total		23	100	14	100

Elaboración propia a partir de los registros de antibiogramas procesados del 2018-2020 de la Clínica **MedilabMediodía**. Abreviaturas: CIP=ciprofloxacino, CLI=clindamicina, ERY=eritromicina, GEN=gentamicina, NIT=nitrofurantoina, OXA=oxacilina, PEN=penicilina, SXT=trimetoprim/sulfametoxazol.

en 1 cepa.

La Tabla 6 indica los patrones de *S. epidermidis* según el servicio de procedencia; mostrando 18 patrones con resistencia desde uno hasta siete antibióticos. En el área de emergencia y UCI se presentó 1 patrón de resistencia presentando resistencia al patrón PEN+SXT+ERY en emergencia en 1 cepa y al patrón CIP+CLI+PEN+ERY en UCI en 1 cepa; en hospitalización existieron 5 patrones de resistencia exhibiendo resistencia a los patrones OXA, CLI+ERY+OXA, CIP+CLI+ERY+OXA, CIP+CLI+SXT+ERY+OXA y CIP+CLI+PEN+SXT+ERY mostrándose estos patrones en 1 cepa; en consulta externa 15 patrones indicando mayor resistencia a ERY en 6 cepas.

DISCUSIÓN

Las infecciones causadas por *Staphylococcus aureus* y estafilococos coagulasa negativos que son los de importancia clínica se han convertido en un problema de salud pública por su alta morbilidad y mortalidad debido a la capacidad de estos de generar multiresistencia a los antibióticos utilizados para el tratamiento de dichas infecciones.

El presente estudio consistió en recopilar información de la base de datos de los registros de antibiogramas de los cultivos de las diferentes muestras testadas en el Laboratorio de Microbiología de la Clínica Medilab-Medihospital, obteniendo 86 muestras positivas para *Staphylococcus spp* de las cuales 49 muestras resultaron ser *S. aureus* y 37 *S. epidermidis*.

S. aureus se aisló con mayor frecuencia en 35 (71,43%) muestras de pacientes de consulta externa, seguido de hospitalización con 6 (12,24%) muestras, y 8 (16,33%) en otros servicios, lo que implica que esta bacteria se la puede aislar tanto a nivel hospitalario como comunitario debido a que tiene una gran capacidad para adaptarse a diferentes

ambientes y sobre todo como microbiota y/o patógeno del ser humano, resultados similares al estudio de Morales-Parra et al.(2017) realizado en Colombia de 50 cultivos en el que aisló con mayor frecuencia *S. aureus* de 20 (40%) muestras de consulta externa, 12 (24%) muestras en cirugía y 18 (36%) muestras de otros servicios. Sin embargo, el estudio de Gómez Gamboa et al. (2016) realizado en un hospital público de Venezuela difiere con los datos antes mencionados debido a que el número de cultivos es de 177, razón por la cual hay una variación, donde se encontró con mayor frecuencia *S. aureus* en 94 (53,11%) en muestras de hospitalización, seguida de consulta externa 78(44,06%) muestras y 5 (2,83%) muestra en otros servicios. Por lo tanto, se comprueba que *S. aureus* se puede encontrar intra y extra hospitalariamente esto es debido a sus factores de virulencia y a los múltiples mecanismos bioquímicos y estructurales ya mencionados que posee este microorganismo. Así, Pineda Et al en un estudio a 33 estudiantes mujeres de la facultad de odontología de la Universidad Visión de las Américas de Medellín nos indican que *S. aureus* presentó resistencia a oxacilina de un 66,7%, eritromicina 75% y ciprofloxacina 33,3%.

En el presente estudio *S. aureus* se aisló de distintos orígenes y se observó que, las muestras de secreción de piel son la principal fuente de aislamiento para esta bacteria con 38 (77,6%) muestras, lo que coincidió con los estudios realizados en Cuba por Duquesne A. et al., (2015) y Aties L. et al., (2017), estos autores aseveran que la frecuencia de aislamiento de este patógeno se da mayormente en muestras de piel corroborando que esta bacteria se ve involucrado en infecciones de este tipo de muestras, debido a su colonización como flora transitoria de la piel y al romperse la primera barrera de defensa se disminuye la inmunidad provocando la infección y se convierte en oportunista.

S. epidermidis se encontró con mayor frecuencia en 29

Tabla 5: Patrones de resistencia de *Staphylococcus aureus* según el servicio de procedencia de atención año 2018-2020

No. de antibióticos	Patrones de resistencia	EMER	%	UCI	%	HOS	%	CE	%	QUI	%
0	Ninguno	-	-	-	-	1	16,66	5	14,28	-	-
1	OXA	2	40	-	-	2	33,3	2	5,71	-	-
1	ERY	-	-	-	-	-	-	2	5,71	-	-
1	PEN	-	-	1	50	-	-	-	-	-	-
2	CLI	-	-	-	-	1	16,66	-	-	-	-
2	CLI+ERY	1	20	1	50	1	16,66	3	8,57	-	-
2	PEN+ERY	-	-	-	-	-	-	3	8,57	-	-
2	SXT+ERY	-	-	-	-	-	-	1	2,85	-	-
2	ERY+OXA	1	20	-	-	-	-	-	-	-	-
3	PEN+ERY+OXA	-	-	-	-	-	-	3	8,57	-	-
3	CIP+CLI+PEN	-	-	-	-	-	-	1	2,85	-	-
3	SXT+ERY+OXA	-	-	-	-	1	16,66	-	-	1	100
3	PEN+SXT+ERY	-	-	-	-	-	-	1	2,85	-	-
3	CIP+PEN+ERY	-	-	-	-	-	-	1	2,85	-	-
3	CIP+CLI+SXT	-	-	-	-	-	-	1	2,85	-	-
4	CIP+PEN+ERY+OXA	-	-	-	-	-	-	1	2,85	-	-
4	CIP+CLI+PEN+ERY	-	-	-	-	-	-	2	5,71	-	-
4	CLI+SXT+ERY+OXA	-	-	-	-	-	-	2	5,71	-	-
4	CLI+PEN+ERY+OXA	-	-	-	-	-	-	1	2,85	-	-
4	CIP+PEN+SXT+ERY	-	-	-	-	-	-	1	2,85	-	-
5	CIP+CLI+SXT+ERY+OXA	-	-	-	-	-	-	1	2,85	-	-
5	CIP+CLI+PEN+ERY+OXA	1	20	-	-	-	-	1	2,85	-	-
5	CIP+PEN+SXT+ERY+OXA	-	-	-	-	-	-	1	2,85	-	-
6	CIP+CLI+PEN+SXT+ERY+OXA	-	-	-	-	-	-	2	5,71	-	-
Total		5	100	2	100	6	100	35	100	1	100

Elaboración propia a partir de los registros de antibiogramas procesados del 2018-2020 de la Clínica **MedilabMediodía**. Abreviaturas: EMER=emergencia, UCI=unidad de cuidados intensivos, HOS=hospitalización, CE=consulta externa, QUI=quirófano, CIP=ciprofloxacino, CLI=clindamicina, ERY=eritromicina, GEN=gentamicina, NIT=nitrofurantoína, OXA=oxacilina, PEN=penicilina, SXT=trimetoprim/sulfametoxazol.

Tabla 6: Patrones de resistencia de *Staphylococcus epidermidis* según el servicio de procedencia de atención año 2018-2020

No. de antibióticos	Patrones de resistencia	EMER	%	UCI	%	HOS	%	CE	%
0	Ninguno	-	-	-	-	1	16,66	5	17,24
1	ERY	-	-	-	-	-	-	6	20,68
1	OXA	-	-	-	-	1	16,66	1	3,44
1	PEN	-	-	-	-	-	-	2	6,89
2	PEN+ERY	-	-	-	-	-	-	1	3,44
3	CLI+STX+OXA	-	-	-	-	-	-	2	6,89
3	CLI+ERY+OXA	-	-	-	-	1	16,66	2	6,89
3	CLI+PEN+ERY	-	-	-	-	-	-	1	3,44
3	PEN+SXT+ERY	1	100	-	-	-	-	-	-
4	CLI+SXT+ERY+OXA	-	-	-	-	-	-	2	6,89
4	CLI+PEN+ERY+OXA	-	-	-	-	-	-	1	3,44
4	CIP+CLI+PEN+OXA	-	-	-	-	-	-	1	3,44
4	CIP+CLI+ERY+OXA	-	-	-	-	1	16,66	1	3,44
4	CIP+CLI+SXT+ERY	-	-	-	-	-	-	1	3,44
4	CIP+CLI+PEN+ERY	-	-	1	100	-	-	1	3,44
5	CIP+CLI+SXT+ERY+OXA	-	-	-	-	1	16,66	-	-
5	CIP+CLI+PEN+SXT+ERY	-	-	-	-	1	16,66	-	-
6	CIP+CLI+PEN+SXT+ERY+OXA	-	-	-	-	-	-	1	3,44
7	CIP+CLI+NIT+PEN+SXT+ERY+OXA	-	-	-	-	-	-	1	3,44
Total		1	100	1	100	6	100	29	100

Registro de datos procesados del 2018-2020 de la Clínica **MedilabMediodía**. Abreviaturas: CE=consulta externa, CIP=ciprofloxacino, CLI=clindamicina, EMER=emergencia, ERY=eritromicina, GEN=gentamicina, HOS=hospitalización, NIT=nitrofurantoína, OXA=oxacilina, PEN=penicilina, SXT=trimetoprim/sulfametoxazol, UCI=unidad de cuidados intensivos.

muestras (78,4%) de pacientes de consulta externa, seguido de hospitalización con 6 muestras (16,2%) y 2 muestras (4,4%) en otros servicios, siendo aislada con mayor frecuencia de secreción de piel, 25 muestras (67,6%), Fariña et al (2013) en su estudio realizado en Paraguay expuso datos sobre el aislamiento de 37 muestras en consulta externa (57,8%) y 27 muestras en hospitalización (42,2%),

aislándose con mayor frecuencia en muestras de secreciones de piel 27 muestras (42,18%); demostrando que, este patógeno se encuentra como parte de la microbiota de la piel y mucosas ocasionando diferentes patologías en pacientes inmunosuprimidos al convertirse en oportunista.

En lo que se refiere a la resistencia a los antibióticos, *Staphylococcus spp* se caracteriza por desarrollar mecanismos de

resistencia a diferentes antibióticos llegando a impedir el empleo de medicamentos de uso convencional, como son los -betalactámicos entre los que tenemos penicilina y oxacilina, que son el grupo de primera línea utilizados para tratar este tipo infecciones causadas por este patógeno; en el presente estudio se puede evidenciar que *S. aureus* presenta el 87%; y *S. epidermidis* el 75% de resistencia a penicilina y en el caso de oxacilina el 81,50% y 66,7% respectivamente, hallazgo concordante con los reportes de Castellano G et al. (2018) y Yaneth-Giovanetti et al. (2017) realizados en Colombia; resistencia que puede deberse al uso empírico y sin directriz de estos antibióticos que pueden conllevar al fracaso terapéutico.

Los cambios en la susceptibilidad a los betalactámicos han obligado hacer uso de macrólidos y lincosamidas convirtiéndose en antibióticos rutinarios para tratar infecciones por estafilococos especialmente infecciones de piel y tejidos blandos, neumonía, e infecciones osteoarticulares causadas por cepas de estafilococos meticilina resistente. Pero se observa que en estos grupos también se ha generado resistencia como se describe a continuación: macrólidos como eritromicina presenta un 64,6% de resistencia para *S. aureus* y 62,9% para *S. epidermidis* y en el grupo de las lincosamidas, se evaluó la resistencia a clindamicina, presentando un 40% de resistencia en *S. aureus* y 52,8% de resistencia en *S. epidermidis*, coincidiendo con el estudio de Ross et al. (2020) realizado en Ecuador donde se encontró un 42,4% de resistencia a eritromicina y 31% de resistencia a clindamicina en *S. aureus*. Y en el estudio realizado por Castellano González et al. (2016) en Venezuela se evidenció 80% de resistencia a eritromicina y 52,8% para clindamicina en *S. epidermidis*.

Siguiendo con el análisis de datos en el estudio también se observa una resistencia a ciprofloxacino de 29,4% y 36% para *S. aureus* y *S. epidermidis* respectivamente. Ortega-Peña et al. (2015) en México obtuvo 13% de resistencia en *S. aureus* y 24% en *S. epidermidis*. Se puede observar el aumento de resistencia al ciprofloxacino en nuestro estudio demostrando que la resistencia a quinolonas se desarrolla gradualmente, por lo tanto, no es recomendable como antibióticos de primera elección para tratar infecciones ocasionadas por estafilococos particularmente por cepas resistentes a meticilina, debido a que estas cepas llegan a generar resistencia a todas las quinolonas.

La combinación de trimetoprim-sulfametoxazol, llega a presentar una excelente actividad en infecciones de piel y tejidos blandos, pero no para infecciones sistémicas, se emplea este antibiótico especialmente cuando existen cepas resistentes a meticilina. En este estudio se expresa un 36,8% de resistencia para *S. aureus* y 32,4% para *S. epidermidis* resultados inferiores a los expresados por Morales et al. (2013) realizado en Colombia presentando el 8% de resistencia para *S. aureus* y 15% para *S. epidermidis*. Esta diferencia se puede dar debido a la distancia del periodo de un estudio al otro considerando que en el transcurso del tiempo puede ocurrir el incremento de tasa como está demostrado en el estudio, este incremento puede deberse a que el médico está empezando hacer más uso de este antibiótico, debido a su bajo costo, amplio espectro y posibilidad de administración por vía oral dada su adecuada biodisponibilidad (Rosanova et al., 2017).

Todas las cepas evaluadas presentaron sensibilidad a los glicopéptidos como es vancomicina, resultados que avalan las afirmaciones de otros investigadores, este antibiótico es una alternativa terapéutica en casos graves de infecciones por estafilococos. La resistencia a vancomicina es inusual, el primer caso reportado en Sudamérica fue en Brasil y correspondía a una cepa recuperada de una muestra de sangre y clasificada dentro del linaje de cepas comunitarias, en el caso de llegar a existir resistencia a vancomicina se debe hacer uso de Linezolid o también se puede emplear nuevos fármacos como telavancina, dalbavancina, daptomicina, tigeciclina y ceftarolina (Rincón et al., 2014).

De acuerdo a los patrones de resistencia de *S. aureus* y *S. epidermidis* en época pre-pandémica se presentó una mayor dispersión en su patrón de resistencia, pudiendo distinguirse 20 y 15 patrones respectivamente, lo que se corrobora con el estudio de Martínez Oquendo et al. (2017) realizado en Cuba donde obtuvo 15 patrones de resistencia en época pre-pandémica. Mientras que en época pandémica el presente estudio arrojó como resultado 5 patrones para *S. aureus* y 7 para *S. epidermidis*, esta disminución de patrones indica que puede deberse al confinamiento debido a la pandemia y al temor de los pacientes de asistir a las casas de salud. Y según las áreas de procedencia tanto en *S. aureus* y *S. epidermidis* se presentó mayor variedad en consulta externa 19 y 15 patrones. No se ha obtenido información científica de trabajos de investigación acorde al tema en época pandémica y según servicios de atención.

Se obtuvo que la mayoría de las cepas fueron multirresistentes frente a tres o más antibióticos, esta multirresistencia se puede dar por la presencia de transposones, secuencias de inserción y la variedad de genes de resistencia que posee *Staphylococcus spp.*, y a la vez la capacidad de recombinación homóloga para agrupar determinantes de resistencia. Además, se podría insinuar que algunos de los patrones de multirresistencia presentes en las cepas de *Staphylococcus spp.* es dado por plásmidos. Por lo tanto, si los genes que confieren resistencia a múltiples antibióticos se encuentran ligados en el mismo plásmido, la administración de un solo antibiótico ocasionara, de manera indirecta, a la selección de cepas resistentes al resto de los antibióticos (Gómez-Gamboa et al., 2016).

CONCLUSIONES

Tomando como base los resultados obtenidos se puede concluir que *S. aureus* es la especie patógena más frecuente del género; seguida de *S. epidermidis* aislándose con mayor frecuencia en muestras de consulta externa y de secreciones. Ambas especies de microorganismos expresan resistencia a penicilina, oxacilina y eritromicina, sensibilidad a vancomicina y linezolid y susceptibilidad variable al resto de antibióticos evaluados. Tanto *S. aureus* y *S. epidermidis* han generado multirresistencia presentando resistencia a tres o más antibióticos.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Universidad Nacional de Loja y a la Clínica Medilab-Medihospital.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Conceptualización: AJC y IAD; metodología, AJC y HDR; análisis formal: AJC, IAD, HDR y SEF; investigación: AJC; recursos: UNL curación de datos: AJC; redacción, preparación del borrador original: AJC; redacción, revisión y edición: AJC, IAD, HDR y SEF; visualización: AJC; supervisión: IAD; administración de proyectos: SEF; adquisición de financiamiento: AJC. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

FINANCIAMIENTO

Este proyecto fue financiado por la Universidad Nacional de Loja.

REFERENCIAS

- Aties López, L., Moya Jústiz, G., Milá Pascual, M. C., Figueredo Acosta, I. C., & Brossard Alejo, G. (2017). *Staphylococcus aureus* y estafilococo coagulasa negativa resistentes a la meticilina. *MEDISAN*, 21(12), 3330–3305. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1029-30192017001200003
- Ballesté López, I., González Ballesté, M., Campo González, A., Amador Morán, R., Pérez Hernández, B., & Díaz Valdés, Y. N. (2019). Resistencia de *Staphylococcus aureus* frente a cefalosporinas en la sepsis neonatal y puerperal. *Revista Cubana de Obstetricia y Ginecología*, 45(1), 1–13. <https://acortar.link/Wyc0B>
- Calderón Rojas, G., & Aguilar Ulate, L. (2016). Resistencia antimicrobiana: microorganismos más resistentes y antibióticos con menor actividad. *Revista Médica de Costa Rica y Centroamérica*, LXXIII(621), 757–763. <https://acortar.link/1MLdM>
- Castellano G., M., Perozo M., A., Leal A., J., & Maldonado M., C. (2018). Kasmera. Frecuencia y resistencia antimicrobiana en *Staphylococcus*, 46(1), 26–39. <http://www.redalyc.org/journal/3730/373061527003/373061527003.pdf>
- Castellano González, M., Perozo Mena, A., & Devis Soto, R. (2016). Resistencia a oxacilina, eritromicina y gentamicina en cepas de *Staphylococcus coagulasa negativa* aisladas de hemocultivos. *Kasmera*, 44(6), 97–110. <http://ve.scielo.org/pdf/km/v44n2/art04.pdf>
- Castro-Orozco, R., Villafañe-Ferrer, L., & Alvis-Guzmán, N. (2018). Resistencia antimicrobiana en *Staphylococcus aureus* y *Staphylococcus epidermidis*: tendencia temporal (2010–2016) y fenotipos de multiresistencia, Cartagena (Colombia). *Revista Biosalud*, 17(2), 25–36. <https://acortar.link/gjUg5>
- Duquesne Alderete, A., Castro Sánchez, N., Monzote López, A., & Paredes Cuervo, I. (2015). Caracterización de aislamientos de *Staphylococcus aureus* comunitarios en muestras purulentas. *Revista Cubana de Medicina General Integral*, 31(3), 1–12. <http://www.revvgi.sld.cu/index.php/mgi/rt/printFriendly/60/18>
- Fariña, N., Carpinelli, L., Samudio, M., Guillén, R., Lapina, F., Sanabria, R., Abente, S., Rodas, L., González, P., & de Kaspar, H. M. (2013). *Staphylococcus coagulasa negativa* clínicamente significativos: Especies más frecuentes y factores de virulencia. *Revista Chilena de Infectología*, 30(5), 480–488. <https://doi.org/10.4067/s0716-10182013000500003>
- Gómez Gamboa, L., Núñez-Chacín, D., Armindo, P.-M., José, B.-G., & Marín, M. (2016). *Staphylococcus aureus* con resistencia múltiple a los antibióticos (MDR) en un hospital de Maracaibo, Venezuela. *Kasmera*, 44(1), 53–65. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0075-52222016000100008
- López-Aguilera, S., Goñi-Yeste, M. D. M., Barrado, L., González-Rodríguez-Salinas, M. C., Otero, J. R., & Chaves, F. (2013). Colonización nasal por *Staphylococcus aureus* en estudiantes de medicina: importancia en la transmisión hospitalaria. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica*, 31(8), 500–505.
- Ministerio de Salud Pública. (2019). Resistencia antimicrobiana. *salud.gob.ec*. https://www.salud.gob.ec/wp-content/uploads/2019/08/gaceta_ram2018.pdf
- Morales-Parra, G. I., Yaneth-Giovanetti, M. C., Zuleta-Hernández, A. B., & Núñez-Carrillo, M. L. (2017). Detección fenotípica de susceptibilidad a meticilina, eritromicina y clindamicina en aislados de *Staphylococcus spp.* de un hospital de Valledupar (Colombia). *Medicina y Laboratorio*, 23(1–2), 65–74. <https://doi.org/10.36384/01232576.61>
- Morales, G. I., Yaneth, M. C., & Chávez, K. M. (2012). Caracterización de la resistencia in vitro a diferentes antimicrobianos en cepas de *Staphylococcus spp.* en una institución hospitalaria de la ciudad de Valledupar entre enero y julio de 2009. *Revista Científica*, 10(2), 169–177. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-72732012000200001
- Ortega-Peña, S., Colín-Castro, C., Hernández-Durán, M., López-Jácome, E., & Franco-Cendejas, R. (2015). Características microbiológicas y patrones de resistencia en infecciones de prótesis articular en un hospital de referencia. *Cirugía y Cirujanos*, 83(5), 371–377. <https://doi.org/10.1016/j.circir.2015.05.030>
- Rincón, S., Panesso, D., Díaz, L., Carvajal, L. P., Reyes, J., Munita, J. M., & Arias, C. (2014). Resistencia a antibióticos de última línea en cocos Gram positivos: la era posterior a la vancomicina. *Biomédica*, 34(0), 191. <https://doi.org/10.7705/biomedica.v34i0.2210>
- Ross, J., Larco, D., Colón, O., Coalson, J., Gaus, D., Taylor, K., & Lee, S. (2020). Índices de resistencia a los antibióticos en aislamientos clínicos en Santo Domingo, Ecuador. *Práctica Familiar Rural*, 5(1). <https://doi.org/10.23936/pfr.v5i1.144>
- Yaneth-Giovanetti, M. C., Morales-Parra, G. I., & Armenta-Quintero, C. (2017). Perfil de resistencia bacteriana en hospitales y clínicas en el departamento del Cesar (Colom-

bia). *Medicina y Laboratorio*, 23(7-8), 387-398. <https://doi.org/10.36384/01232576.35>

Zendejas-Manzo, G. S., Avalos-Flores, H., & Soto-Padilla, M. Y. (2014). Microbiología general de *Staphylococcus aureus*: Generalidades, patogenicidad y métodos de identificación. *Revista Biomed*, 25(3), 129-143. <https://www.medigraphic.com/pdfs/revbio/bio-2014/bio143d.pdf>