

REBIOL

REVISTA DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA



Facultad de Ciencias Biológicas
Universidad Nacional de Trujillo



ISSN: 2313-3171(En Línea)

Volumen: 41

Numero: 2

Julio - Diciembre, 2021

REBIOL

Volumen N° 41, Número 2, Julio-Diciembre, 2021

ARTÍCULOS ORIGINALES/ORIGINAL PAPERS

Página

- Potencial biofertilizante de rizobacterias asociadas a cultivos amazónicos de importancia económica / **Biofertilizer potential of rhizobacteria associated with economically important amazonian crops**..... 156-166
- Sendero interpretativo en las lomas del Cerro Campana: Aporte para su conservación / **Interpretive path in the hills of Cerro Campana: Contribution to its conservation**..... 167-178
- Etiología de infecciones urinarias y prevalencia de *Escherichia coli* productora de betalactamasas de espectro extendido y carbapenemasas / **Etiology of urinary infections and prevalence of *Escherichia coli*, producer of extended spectrum betalactamases and carbapenemases**.....179-186
- Efecto de la adición de roca fosfórica y alfalfa en el contenido de nitrógeno, fósforo y potasio de tres muestras de biol / **Effect of the addition of phosphoric rock and alfalfa on the content of nitrogen, phosphorus and potassium of three biol samples**..... 187-194
- Especies vegetales con potencial fitorremediador de los humedales de la cuenca baja del Río Moche, La Libertad- Perú / **Plant species with phytoremediation potential of the wetlands of the lower Moche River basin, La Libertad-Peru**..... 195-203
- Dimensiones de la actitud ambiental en universitarios de la ciudad de Trujillo, 2020 / **Dimensions of the environmental attitude in students from three universities of the city of Trujillo, 2020**..... 204-212
- Degradación del aceite lubricante por *Pseudomonas aeruginosa* / **Degradation of lubricating oil by *Pseudomonas aeruginosa***..... 213-220
- El género *Danaus* (Kluk, 1780) (Dymphalidae: Danainae) en el valle del Río Rímac (Lima-Perú) / **The genus *Danaus* (Kluk, 1780) (Nymphalidae: Danainae) on the Rimac's River valley (Lima-Peru)**..... 221-232
- Mortalidad de aves por impactos con aviones en el aeropuerto de Jaén, Cajamarca, Perú / **Bird mortality due to aircraft clash at the airport of Jaen, Cajamarca, Peru**..... 233-245

ARTÍCULOS DE REVISIÓN / OPINIÓN

- El derecho ambiental y la contaminación sonora en el Perú / **Environmental law and noise pollution in Peru**..... 246-255
- Nociones sobre la estructura y evolución del sistema nervioso de algunos invertebrados / **Elementary concepts about the structure and evolution of the nervous system of some invertebrates**..... 256-276

NOTA CIENTÍFICA

- Presencia de *Xylophanes tersa* (Sphingidae: Macroglossinae) en la provincia de Lima / **Presence of *Xylophanes tersa* (Sphingidae: Macroglossinae) in the province of Lima**.....277-279



POTENCIAL BIOFERTILIZANTE DE RIZOBACTERIAS ASOCIADAS A CULTIVOS AMAZÓNICOS DE IMPORTANCIA ECONÓMICA

BIOFERTILIZER POTENTIAL OF RHIZOBACTERIA ASSOCIATED WITH ECONOMICALLY IMPORTANT AMAZONIAN CROPS

Juan Carlos Alvarado-Ibáñez ^{1*}, José Mostacero-León ², Mayra Karina Gutiérrez-Araujo ²

¹Universidad Nacional Intercultural "Fabiola Salazar Leguía" de Bagua, Jr. Comercio N° 128, Bagua, Perú

²Universidad Nacional de Trujillo, Av. Juan Pablo II S/N, Ciudad Universitaria, Trujillo, Perú

Juan Carlos Alvarado-Ibáñez:  <https://orcid.org/0000-0002-6413-3457>
José Mostacero-León:  <https://orcid.org/0000-0003-2556-3013>
Mayra Gutiérrez-Araujo:  <https://orcid.org/0000-0002-1599-2386>

Artículo original

Recibido: 30 marzo 2021

Aceptado: 5 de octubre 2021

Resumen

La rizósfera de los cultivos vegetales posee una gran diversidad microbiana, sobresaliendo la población de bacterias que viven en asociación con las plantas y participan de la nutrición vegetal. Se evaluó el potencial biofertilizante de bacterias nativas aisladas del suelo rizosférico de ocho especies vegetales de importancia económica de las provincias de Bagua y Utcubamba, región Amazonas, Perú. Los criterios de selección fueron, la capacidad solubilizadora de fosfatos, la producción de ácido indol acético y la capacidad de fijación biológica de nitrógeno (FBN), además de cuantificar las bacterias diazotróficas presentes en la rizósfera de cada especie vegetal estudiada. Se colectaron muestras de suelo rizosférico de 57 parcelas ubicadas entre los 385 a 1677 m.s.n.m., mediante siembra directa, se aislaron bacterias, se purificaron y se determinó su grupo funcional. Los suelos estudiados fueron de textura franco-arenosa y franco-limosa principalmente con valores de pH entre 3,30 y 8,09. Se obtuvo 235 aislamientos de bacterias nativas del rizoplano de plantas de cacao, café, piña, plátano, papaya, yuca, yacón y arroz y se seleccionaron 16 de estos cultivos pertenecientes a cuatro especies vegetales. La rizósfera de los cultivos de café posee la mayor cantidad de bacterias fijadoras asimbióticas de nitrógeno, el cacao y el yacón destacan por las bacterias productoras de ácido indol acético, y el café y papaya, por los solubilizadores de fosfatos. Es importante investigar las poblaciones rizosféricas nativas de estos cuatro cultivos vegetales para aislar y seleccionar bacterias con potencial biofertilizante.

Palabras clave: Cultivos amazónicos, fijadores de nitrógeno, productores de ácido indol acético, solubilizadores de fosfatos.

Abstract

The biofertilizer potential of native bacteria isolated from the rhizospheric soil of eight plant species of economic importance from the Bagua and Utcubamba provinces, Amazonas region, Peru, was evaluated. The selection criteria were the solubilizing capacity of phosphates, the production of indole acetic acid and the asymbiotic fixation of atmospheric nitrogen, in addition to quantifying the diazotrophic bacteria present in each plant species studied. 57 plots located between 385 to 1677 m.a.s.l. were sampled, obtaining 235 isolates of native rhizoplane bacteria from cocoa, coffee, pineapple, banana, papaya, yucca, yacon and rice plants. The sampled soils were mainly loamy-sandy and loamy-loamy, with a variable pH between 3.30 and 8.09. Sixteen bacterial cultures of four plant species with biofertilizer potential were selected, finding that the rhizosphere of coffee crops has the highest amount of asbiotic nitrogen fixing bacteria, cocoa and yacon stand out for hosting excellent producers of indole acetic acid coffee and papaya crops, excellent phosphate solubilizers were isolated. In order to replace the use of chemical fertilizers, it is important to investigate the native rhizospheric populations of these four economically important Amazonian crops in search of native bacteria with biofertilizer potential to mitigate the consequences to the environment.

Keywords: Amazonian crops, Biofertilizer potential, plant growth-promoting rhizobacteria.

*Autor para correspondencia: E. mail: jalvarado@unibagua.edu.pe

DOI: <http://dx.doi.org/10.17268/rebiol.2021.41.02.01>

Citar como:

Alvarado-Ibáñez, J., Mostacero-León, J. & Gutiérrez-Araujo, M. 2021. Potencial biofertilizante de rizobacterias asociadas a cultivos amazónicos de importancia económica. REBIOL, 41(2):156-166.



1. Introducción

El crecimiento exponencial de la población mundial y la demanda de alimentos orgánicos sin contaminar el ambiente, orientan las investigaciones hacia los microorganismos con potencial biofertilizante, debido a que se ha demostrado que el uso excesivo de fertilizantes químicos provoca una disminución de la fertilidad del suelo (Lin et al., 2019), afecta la composición de las comunidades microbianas y una serie de problemas ambientales, mientras que los biofertilizantes incrementan la fertilidad del suelo (Chen et al., 2016). Para mejorar la producción sin el uso de fertilizantes de origen sintético, se incrementó el interés en los microorganismos benéficos del suelo porque pueden promover el crecimiento de las plantas y, en algunos casos, evitar infecciones del tejido vegetal por patógenos (Moreno et al., 2018).

Los microorganismos al interactuar con las plantas, desempeñan un rol importante en la fertilización de los suelos, en especial, de los suelos amazónicos que están meteorizados y son relativamente pobres en nutrientes (Magalhães et al., 2014; Quesada et al., 2011). Debido a su gran diversidad biológica y geográfica, la rizósfera de las especies vegetales cultivadas en la región Amazonas, cuenta con una abundante microbiota que debería estudiarse a detalle, donde ocurren numerosas interacciones entre las plantas y sus microorganismos. Los microbios del suelo pueden ser atraídos o repelidos por las moléculas liberadas por las diversas especies vegetales (Medina et al., 2014), sin embargo, la mejora del crecimiento y la productividad es influenciada por la exudación de las raíces de las plantas, la colonización bacteriana en las raíces y la salud del suelo (Fanin et al., 2015).

La diversidad de los microorganismos nativos adaptados a vivir en la rizósfera de las plantas de la amazonía, han desarrollado mecanismos de interacción, que permiten colonizar eficazmente la superficie de las raíces de las plantas formando un microecosistema rizosférico mantenido por la agricultura tradicional que se practica en esta zona del país. La interacción rizosférica entre el microbio y la planta, cumple un rol importante para la salud, la productividad de las plantas y la fertilidad del suelo. Las bacterias promotoras del crecimiento vegetal pueden mejorar el crecimiento (Salazar-Henao et al.,

2016), protegerlas de enfermedades y estrés abiótico por diversos mecanismos tales como la fijación biológica de nitrógeno, la solubilización de fosfato, la actividad de la enzima ACC desaminasa, la producción de sideróforos y fitohormonas (Banerjee et al., 2017; Souza et al., 2015).

El nitrógeno forma parte de las moléculas biológicas y es el nutriente más requerido por las plantas. La atmósfera representa su mayor potencial biológico de reserva al cual acceden pocos microorganismos fijándolos de manera simbiótica o en vida libre. La elevada necesidad de este elemento incrementa los estudios de las bacterias fijadoras de nitrógeno en plantas de familias diferentes a las leguminosas, destacando la importancia de cuantificar las poblaciones de bacterias fijadoras asimbióticas de nitrógeno (diazótrofas), utilizando la técnica de Número Más Probable (Argüello et al., 2016), con la finalidad de reducir los impactos negativos que genera la implementación de agroquímicos sobre el medio ambiente para implementar sistemas de agricultura limpia y sustentable, donde las bacterias diazotróficas son una alternativa para la fertilización de los cultivos de una forma más amigable con el ambiente (Jones & Oburger, 2011; Kaschuk & Hungria, 2017; Shin et al., 2016).

El Perú es un país agrícola y la agricultura está en constante crecimiento económico (Nehra et al., 2016). Las provincias de Bagua y Utcubamba de la región Amazonas, ubicadas en la zona nororiental del país, sustentan su economía en la agricultura y los principales cultivos de interés económico son el cacao, café, piña, plátano, papaya, yuca, yacón y arroz, este último, ampliamente cultivado en las riberas de los principales ríos de la región. A excepción del arroz, la mayoría de estos cultivos no están bajo una agricultura intensiva, que afecta las funciones del ecosistema y disminuye la diversidad biológica (Landeros-Sánchez et al., 2011); sin embargo, estos mismos cultivos permanecen por largos periodos de tiempo, generando la disminución de materia orgánica y propiciando la progresiva disminución de la fertilidad de los suelos (Duval et al., 2015; Fernández-Ojeda et al., 2016) y cambios en las comunidades microbianas del suelo (Myrold et al., 2014; Wang et al., 2017).

La región Amazonas es conocida por la enorme diversidad de su flora y fauna, sin embargo, a pesar de los estudios realizados sobre biodiversidad, es necesario profundizar

las investigaciones para conocer y conservar los recursos genéticos propios de esta región. Existen pocos estudios relacionados a las poblaciones microbianas y su variabilidad genética, sin mencionar que solo entre 1 y 3% de las bacterias del suelo pueden ser cultivadas en medios sintéticos de laboratorio (Rahman et al., 2017), además, los suelos amazónicos son geomorfológicamente diversos (Quesada et al., 2011), y las comunidades vegetales influyen en la diversidad de filos de las comunidades bacterianas en el suelo (Barbosa et al., 2015).

Las bacterias adaptadas a un ecosistema y una región determinada podrían ser más competitivas que las bacterias foráneas o introducidas (Karagoz et al., 2012), por lo tanto, es importante aislar y seleccionar estas bacterias nativas, orientadas al desarrollo de inoculantes destinados a cultivos regionales. Vanegas et al. (2012) afirma que el desarrollo de biofertilizantes debe iniciarse con el aislamiento de microorganismos de interés y la caracterización de los mecanismos asociados con la promoción del crecimiento vegetal. Se ha estudiado las rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal, orientando las investigaciones al aislamiento e identificación de cultivos provenientes de arroz (Ríos-Ruiz et al., 2020; Sahoo et al., 2014; Souza et al., 2015), maíz (López-Ortega et al., 2013), plátano (Andrade et al., 2014) y hortalizas como el cilantro y lechuga (Cárdenas et al., 2013).

La búsqueda y el aislamiento de microorganismos nativos con capacidad biofertilizante es importante para reducir el uso de fertilizantes de síntesis química (Banerjee et al., 2017). La reducción o eliminación de estos fertilizantes es posible con inoculantes eficientes, para lo cual, las bacterias nativas deben establecerse y adaptarse exitosamente en estrecha relación con los cultivos de la zona y bajo condiciones particulares de clima y suelo, propios de las provincias de Bagua y Utcubamba. Es por ello que el presente trabajo estuvo orientado a estudiar el potencial biofertilizante de bacterias nativas aisladas de la rizósfera de ocho cultivos amazónicos, como una herramienta biotecnológica para mejorar la disponibilidad de nutrientes en el suelo y lograr disminuir los efectos ambientales causados por el exceso de fertilizantes químicos.

2. Materiales y Métodos

Descripción del área de estudio

El estudio se realizó entre los años 2019 y 2020 en las provincias de Bagua y Utcubamba de la región Amazonas, en el nororiente del Perú (Figura 1). Se analizaron muestras de suelo rizosférico de 57 parcelas ubicadas entre los 385 a 1677 m.s.n.m., de 23 sectores agrícolas cultivados con ocho especies vegetales de importancia económica (Tabla 1).

Se realizó el análisis de textura del suelo de las parcelas muestreadas utilizando el hidrómetro de Bouyoucos y las clases de textura se calcularon según el triángulo de textura (Bouyoucos, 1962; Quesada et al., 2011), obteniendo suelos de textura franco-arenosa y franco-limosa principalmente y el pH se determinó en una suspensión de suelo: agua destilada (1:1), encontrando valores entre 3,30 y 8,09 (Agriculture, 2019).

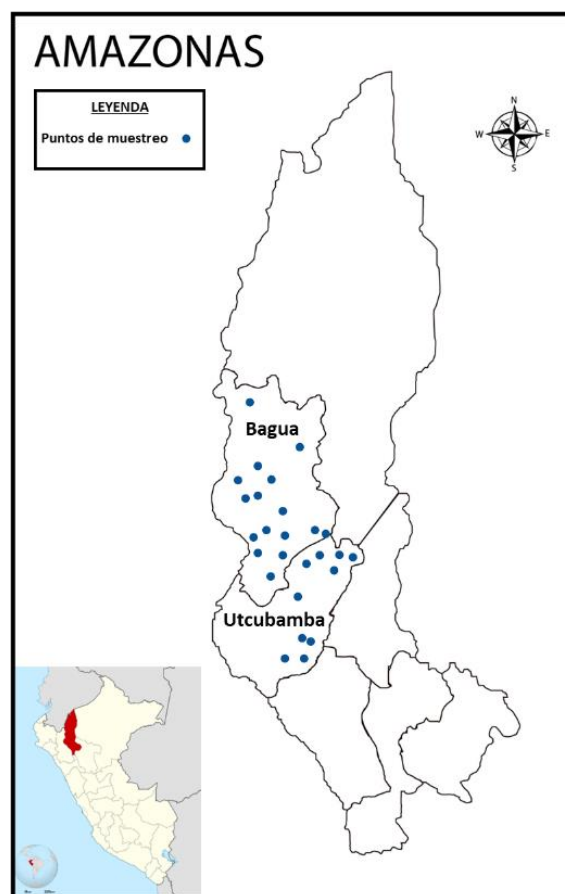


Figura 1. Puntos de muestreo de 23 sectores agrícolas cultivados con especies vegetales de importancia económica en Bagua y Utcubamba, región Amazonas, Perú.

Tabla 1. Distribución de sectores, número de parcelas, coordenadas geográficas y cultivo vegetal muestreado en las provincias de Bagua y Utcubamba.

PROVINCIA	SECTORES	N° PARCELAS	CULTIVO	COORDENADAS GEOGRÁFICAS
Bagua	Achaguay	3	<i>Carica papaya</i>	5°35'29" S, 78°32'23" W
Bagua	Aramango	4	<i>Ananas comosus</i>	5°22'25" S, 78°27'13" W
Bagua	Arrayan	3	<i>Smilax sonchifolius</i>	5°33'21" S, 78°27'03" W
Bagua	Aserrillo	3	<i>Oryza sativa</i>	5°32'23" S, 78°30'19" W
Bagua	Bagua	2	<i>Musa paradisiaca</i>	5°38'22" S, 78°32'38" W
Bagua	Copallín	3	<i>Manihot esculenta</i>	5°36'06" S, 78°22'24" W
Bagua	Campo Bonito	3	<i>Ananas comosus</i>	5°32'48" S, 78°33'03" W
Bagua	Casual	2	<i>Musa paradisiaca</i>	5°35'50" S, 78°32'40" W
Bagua	Tomaque	3	<i>Carica papaya</i>	5°41'21" S, 78°29'25" W
Bagua	Chonza	2	<i>Theobroma cacao</i>	5°37'08" S, 78°15'34" W
Bagua	Espital	3	<i>Smilax sonchifolius</i>	5°26'18" S, 78°22'43" W
Bagua	Los Olivos	3	<i>Theobroma cacao</i>	5°38'14" S, 78°28'08" W
Bagua	Naranjos	3	<i>Smilax sonchifolius</i>	5°37'34" S, 78°19'39" W
Utcubamba	Huarangopampa	4	<i>Oryza sativa</i>	5°37'02" S, 78°22'52" W
Utcubamba	Santa Teresa	2	<i>Theobroma cacao</i>	6°08'00" S, 78°23'09" W
Utcubamba	Huaylla	2	<i>Oryza sativa</i>	5°47'16" S, 78°23'31" W
Utcubamba	Vista Hermosa	3	<i>Manihot esculenta</i>	6°00'46" S, 78°28'44" W
Utcubamba	Campo Redondo	1	<i>Coffea arabica</i>	5°50'56" S, 78°22'24" W
Utcubamba	Playa Azul	2	<i>Carica papaya</i>	6°08'59" S, 78°15'12" W
Utcubamba	Lima	1	<i>Coffea arabica</i>	6°10'54" S, 78°13'52" W
Utcubamba	La Palma	1	<i>Coffea arabica</i>	6°05'33" S, 78°28'12" W
Utcubamba	La Catarata	2	<i>Coffea arabica</i>	5°59'20" S, 78°27'45" W
Utcubamba	Nuevos Aires	2	<i>Coffea arabica</i>	6°07'58" S, 78°18'12" W
TOTAL	23	57	8	

Aislamiento de rizobacterias de plantas amazónicas

Se aislaron bacterias promotoras del crecimiento vegetal provenientes de la rizósfera de plantas amazónicas cultivadas en las provincias de Bagua y Utcubamba de la región Amazonas, Perú. Estos aislamientos se realizaron a partir de muestras de suelo rizosférico; obtenido de 10 submuestras de la misma parcela, tomados con una palana recta hasta los 30 cm de profundidad; en una cantidad de 500 g, que fueron transportados en un contenedor con hielo seco hasta el laboratorio de Biología y Biotecnología de la Universidad Nacional Intercultural Fabiola Salazar Leguía de Bagua, para su posterior procesamiento. El aislamiento se realizó mediante diluciones decimales seriadas en agua peptonada hasta

1×10^{-6} (Reyes et al., 2006), inoculando a los medios de cultivo en placas de Petri con 100 μ L de las diluciones 10^{-5} y 10^{-6} . En el aislamiento se emplearon Agar nutritivo (Merck®), Agar Tripticasa soya (HiMedia®) y Agar de aislamiento de Actinomicetos (HiMedia®) para favorecer la diversidad y el crecimiento bacteriano. Cada rizobacteria nativa fue sembrada por puntura superficial con el asa bacteriológica en anillo (0,4 cm de diámetro), sobre medios de cultivo específico y fueron incubados a 28 °C, por 72 horas en aerobiosis. Las bacterias purificadas se conservaron a -20 °C en glicerol estéril al 30% y se realizó pruebas de tinción Gram para determinar sus características microscópicas.

Evaluación de los mecanismos de promoción de crecimiento de las cepas aisladas

Determinación cualitativa de bacterias solubilizadoras de fosfato

Una colonia de cada cepa fue cultivada en caldo nutritivo e incubado bajo condiciones de agitación, a 30°C por 24 horas. Las placas de Agar Pikovskaya's (bioWORLD®) fueron sembradas colocando 10 µL en el centro de la placa para determinar su actividad solubilizadora. El tamaño de los halos se calculó con el Índice de solubilización (IS): $IS = A/B$ (A: diámetro de la colonia + diámetro del halo y B: diámetro de la colonia) (Khan et al., 2010), seleccionando los cultivos que mostraron IS mayores a 3; las mediciones se realizaron por triplicado 7 días después de la siembra. Los cultivos bacterianos se mantuvieron en incubadora a 28°C y luz artificial.

Determinación de bacterias productoras de ácido indol acético (AIA)

Para la determinación de ácido indol acético según la reacción colorimétrica de Salkowski (Cardenas & Eduardo, 2007; García et al., 2010), cada bacteria nativa fue cultivada en 5 mL de caldo nutritivo por 24 horas, de donde se tomaron 0,6 mL para inocularlos en 5 mL de caldo tripticasa soya suplementado con L-triptófano 5 mM. Después de la incubación a 28°C, por 72 horas, en agitación constante (150 rpm), los cultivos fueron centrifugados a 6000 rpm, durante 15 minutos. A continuación 0,4 mL de cada uno de los sobrenadantes se depositaron en tubos, se agregaron 1,6 mL del reactivo de Salkowski modificado en una relación 1:4, se mezclaron y se dejaron en reposo durante 30 minutos, en oscuridad. La positividad a la producción de ácido indol acético estuvo dada por una coloración grosella y se leyó la absorbancia en espectrofotómetro de luz visible a 530 nm, seleccionando a los aislamientos bacterianos con AIA > 12,0 µg/mL (Sosa et al., 2019).

Determinación de bacterias fijadoras asimbióticas de nitrógeno atmosférico

La detección de nitrógeno fijado in vitro se realizó según (Cadena & Martínez, 2020). Cada bacteria se sembró en 6 mL de medio semisólido Norris Glucose Nitrogen Free

Medium (HiMEDIA®), con azul de bromotimol para indicar la producción de ácidos en el medio. La incubación se realizó en aerobiosis, a 28°C, hasta por una semana y se consideró como fijadoras de nitrógeno, aquellas donde se observó su película gruesa blanquecina entre 3 a 5 mm bajo la superficie del medio de cultivo y el viraje del indicador.

Cuantificación de bacterias diazotrofas a partir de suelo rizosférico

De cada parcela muestreada, se tomó una muestra de 10 g de suelo y se agregó en un matraz con 90 mL de solución salina 0,85% agitándose con fuerza, para posteriormente realizar diluciones decimales hasta 10^{-4} , inoculando 1 mL de las diluciones 10^{-2} hasta 10^{-4} en tubos que contienen Norris Glucose Nitrogen Free Medium con azul de bromotimol (Ahmad & Kibret, 2014). Se consideraron 3 tubos por dilución, incubándose a 28°C por 7 a 10 días y los datos de la cuantificación por Número Más Probable (NMP) de las bacterias diazotrofas, se interpretaron según la tabla de McCrady (Döbereiner et al., 1995), contando los tubos positivos de cada una de las diluciones observando viraje de color, turbidez y la formación de un velo en la superficie del caldo, reportando en NMP/g (gramo de rizósfera seca).

3. Resultados

A partir de la rizósfera de cultivos amazónicos de importancia económica de las provincias de Bagua y Utcubamba, se aislaron 235 cultivos bacterianos, de los cuales 28 fueron obtenidos de las plantas de *Theobroma cacao* (11,9%), 41 de *Coffea arabica* (17,4%), 24 de *Ananas comosus* (10,2%), 24 de *Musa paradisiaca* (10,2%), 47 de *Carica papaya* (20%), 21 de *Manihot esculenta* (8,9%), 27 de *Smilax sonchifolius* (11,5%) y 23 de *Oryza sativa* (9,8%) (Tabla 2). Siguiendo los criterios de selección de bacterias con potencial biofertilizante (Tang et al., 2020; Banerjee et al., 2017; Medina et al., 2014), se seleccionaron seis cultivos bacterianos por cada criterio. Los criterios de selección fueron tres; la capacidad de fijación asimbiótica de nitrógeno (presencia de acidez y película), la producción de ácido indolacético (AIA > 12,0 µg/mL), y la solubilización de fosfatos (IS > 3).

Tabla 2. Porcentaje de rizobacterias aisladas de cultivos vegetales de Bagua y Utcubamba, con potenciales características biofertilizantes.

Cultivos vegetales	Aislamientos bacterianos (%)	Fijadores asimbióticos de nitrógeno (%)	Productores de AIA (%)	Solubilizadores de fosfatos (%)
<i>Theobroma cacao</i>	11,9	0,4	0,9	0,4
<i>Coffea arabica</i>	17,4	1,4	0	0,9
<i>Ananas comosus</i>	10,2	0,4	0,4	0,4
<i>Musa paradisiaca</i>	10,2	0	0	0
<i>Carica papaya</i>	20,0	0,4	0,4	0,9
<i>Manihot esculenta</i>	8,9	0	0	0
<i>Smallanthus sonchifolius</i>	11,5	0	0,9	0
<i>Oryza sativa</i>	9,8	0	0	0
Total	100	2,6	2,6	2,6

La actividad promotora del crecimiento vegetal se determinó in vitro y se seleccionaron 16 cultivos bacterianos; de los cuales siete fueron aislados de la rizósfera de *C. arabica* (CF03, CF05, CF10, CF13, CF14, CF20 y CF30); cuatro de *C. papaya* (PA07, PA10, PA13 y PA18), tres de *T. cacao* (CC01, CC02 y CC10) y dos de *A. comosus* (PN03 y PN09). Así tenemos los cultivos seleccionados como solubilizadores de fosfatos (CC02, CF10, CF14, PA10, PA13 Y PN03), los productores de ácido indol acético (CC10, CF05, CF20, CF30, PA07 y PN09), y los fijadores asimbióticos de nitrógeno (CC01, CF03, CF10, CF13, PA18 y PN03); dos de los cultivos aislados poseen más de una actividad de promoción del crecimiento vegetal (CF10 y PN03), provenientes de la rizósfera de café y piña respectivamente demostraron fijar el nitrógeno de manera asimbiótica y solubilizar los fosfatos. El cultivo de café presenta la mayor cantidad de bacterias fijadoras asimbióticas de nitrógeno atmosférico, el cacao y el yacón, los mejores productores de ácido indol acético, el café y la papaya destacan por las bacterias con los mayores índices de solubilización de fosfato tricálcico (Tabla 2).

A partir de las muestras de suelo tomadas (Tabla 1) de cada una de las parcelas de textura franco-arenosa y franco-limosa principalmente y pH variable entre 3,30 y 8,09 se cuantificó la población de bacterias diazotróficas de la rizósfera de los cultivos de importancia económica

de las provincias de Bagua y Utcubamba de la región Amazonas, Perú. La población de bacterias diazótropas en los ocho cultivos vegetales investigados fue variado, obteniendo poblaciones mayores a los 1100 NMP/g de suelo y también hubo muestras con cantidades por debajo de los 3 NMP/g suelo. Utilizando la técnica de NMP, se determinó como positivos aquellos crecimientos bacterianos que presentaron acidez, turbidez y formación de película a 28°C entre 7 a 10 días de incubación (Figura 2).



Figura 2. Evaluación del crecimiento de bacterias diazótropas por el método de NMP, en suelo rizosférico de cultivos de importancia económica de las provincias de Bagua y Utcubamba, región Amazonas, Perú.

Según la técnica de NMP, los cultivos de *C. arabica* (café), *T. cacao* (cacao) y *C. papaya* (papaya) presentaron la máxima cantidad promedio de bacterias diazótrofes, seguido de *M. esculenta* (yuca), *O. sativa* (arroz), *S. sonchifolius* (yacón), *A. comosus* (piña) y por último *M.*

paradisiaca (plátano). En la rizósfera de los cultivos de café se encontró la mayor cantidad promedio de bacterias diazótrofes (455 NMP/g suelo seco) y en la rizósfera del plátano las menores poblaciones promedio de estas bacterias (40,8 NMP/g suelo seco) (Tabla 3).

Tabla 3. Cuantificación de bacterias diazótrofes por la técnica de Número Más Probable, a partir de suelo rizosférico y su relación con el cultivo vegetal.

Bacterias diazótrofes (NMP/g suelo seco)	Cultivos vegetales							
	Arroz	Cacao	Café	Papaya	Piña	Plátano	Yacón	Yuca
Máximo	1100	1100	1100	1100	460	93	460	1100
Mínimo	15	29	14	14	3	4	23	39
N° parcelas evaluadas	9	7	7	8	7	4	9	6
Promedio	276,8	356,4	455,0	324,3	170,2	40,8	184,8	297,8

4. DISCUSIÓN

La región amazónica destaca por su prometedora diversidad de organismos del suelo, principalmente los microorganismos (Ferreira et al., 2018; Giraldo et al., 2013; Lin et al., 2019), con múltiples ecosistemas que albergan rizobacterias nativas adaptadas a estas condiciones climáticas de bosques tropicales húmedos. La actividad de promoción del crecimiento de las bacterias rizosféricas de los cultivos vegetales es estudiada por diversos investigadores en el mundo, demostrando la gran potencialidad de encontrar bacterias biofertilizantes en cultivos como, maíz, ají, calabaza (Medina et al., 2014), totora y arroz silvestre (Teng et al., 2019), caña de azúcar, árboles frutales (Moreno & Galvis, 2013), cebolla (Afa et al., 2020), nueces (Sutariati et al., 2020), entre otros; en el Perú se reporta estas bacterias en cultivos como el café (Curi et al., 2019), cultivos andinos (Ogata-Gutiérrez et al., 2017), tara (Cordero et al., 2017) y arroz (Ríos-Ruiz et al., 2020) sin encontrar investigaciones de estas bacterias en las provincias de Bagua y Utcubamba de la región Amazonas, Perú, siendo este un reporte preliminar que demuestra la existencia de estas bacterias rizosféricas con potencial biotecnológico como biofertilizantes.

La población de bacterias rizosféricas nativas de los cultivos de *T. cacao*, *A. comosus* y *C. papaya* (Tabla 2) se destacan por poseer más de una actividad de promoción

del crecimiento vegetal como fijación biológica de nitrógeno, solubilización de fosfatos y producción de ácido indolacético, al igual que los resultados obtenidos en el cultivo de *C. arabica* obtenido por Curi et al. (2019) en la provincia de Chanchamayo con una geografía y clima parecido a las provincias de Bagua y Utcubamba. Sin embargo, los cultivos bacterianos aislados a partir de *M. esculenta*, *S. sonchifolius*, *O. sativa* y *M. paradisiaca*, presentaron nula actividad promotora del crecimiento, con excepción de algunas muestras del cultivo de *S. sonchifolius*, del cual se aislaron solo bacterias productoras de ácido indol acético. Esto podría explicarse debido a que la población nativa de bacterias rizosféricas promotoras del crecimiento vegetal se ve amenazada por la sobreexplotación de los suelos, el uso de pesticidas y la agricultura intensiva (Urgiles-Gómez et al., 2021), que se practica desde hace mucho tiempo en el cultivo de arroz en las provincias de Bagua y Utcubamba.

A partir de la rizósfera de *C. arabica*, se logró aislar la mayor cantidad de bacterias promotoras del crecimiento vegetal (Tabla 2) con posible potencial biofertilizante, comparado con los otros cultivos de importancia económica en estudio, lo cual concuerda con los resultados reportados por Muleta et al. (2013). Por otro lado, investigadores como Andrade et al. (2014) y Koua et al. (2020), reportan mayor número de aislamientos con

potencial biofertilizante en banano y cacao respectivamente. Habibi et al. (2019), reporta la predominancia de cultivos bacterianos productores de ácido indol acético, comparado con las bacterias fijadoras de nitrógeno y las solubilizadoras de fosfatos, lo que se asemeja con los resultados encontrados por (Alori et al., 2017), que concluye que los géneros microbianos capaces de solubilizar fosfatos, son escasos, sin embargo, en este estudio de los suelos rizosféricos de las provincias de Bagua y Utcubamba, las bacterias solubilizadoras de fosfatos son abundantes, a pesar que en los suelos tropicales ácidos, el fósforo es uno de los macronutrientes más limitados disponibles para las plantas (Panhwar et al., 2014; Rengel & Marschner, 2005).

El pH del suelo influye significativamente en la composición de la comunidad de bacterias rizosféricas (Edwards et al., 2015; Pii et al., 2016), y las bacterias aisladas con potencial biofertilizante provienen de suelos con amplio rango de pH, desde 3,30 hasta 8,09, siendo el cultivo de piña el que presentó el menor pH. La adaptabilidad de estos microorganismos para colonizar estos tipos de suelo, constituye una gran ventaja para ser utilizados como parte de consorcios microbianos biofertilizantes en suelos ácidos y alcalinos (Tang et al., 2020). Los suelos muestreados en este estudio tienen características variadas; dependientes de la altitud sobre el nivel del mar y la geografía de la región Amazonas; poseen poblaciones microbianas muy heterogéneas que determinan el tipo y cantidad de exudados radiculares de las plantas, modificando las propiedades químicas como el pH del suelo (Wang et al., 2017), así también se conoce que el pH es considerado un factor dominante que afecta la función de la microbiota (Zheng et al., 2019).

Tres de los cultivos vegetales estudiados son monocultivos (arroz, cacao y café), y la mayoría de ciclo perenne, que viven en microecosistemas establecidos por largo periodo de tiempo y sus raíces garantizan la producción de metabolitos secundarios en cantidades suficientes para el desarrollo vegetal (Patel et al., 2020), pero a diferencia de los otros cultivos, a partir de la rizósfera de *O. sativa* no se aislaron bacterias con características sobresalientes como biofertilizantes, en contraste con estudios realizados por otros investigadores (de Souza et al., 2013; Habibi et al., 2019; Ríos-Ruiz et al., 2020). Cultivos vegetales con

disminuida cantidad de bacterias PGPR son vulnerables al ataque de patógenos y a la falta de absorción de nutrientes (Fatawi et al., 2021), porque se ha demostrado que las bacterias promotoras del crecimiento vegetal determinan la configuración de la arquitectura de la raíz mediante interacciones directas (mediada por el genoma) o indirectas (mediada por metabolitos, compuestos orgánicos volátiles y producción de enzimas) con las plantas, proporcionando mayor estabilidad de la planta y absorción de nutrientes y agua del suelo (Kalyanasundaram et al., 2021), que ayuda a superar el estrés por salinidad y mitigar la pérdida en la productividad (Bhat et al., 2020).

Los ocho cultivos amazónicos estudiados tienen bacterias diazotróficas rizosféricas en cantidades variables dependiendo del cultivo vegetal (Tabla 3). Utilizando la técnica de NMP (Figura 2), estas bacterias se cuantificaron y por lo menos una de las muestras de suelo de café, cacao, papaya, arroz y yuca, alcanzaron la máxima cuantificación y en menor cantidad en el cultivo de piña, yacón y plátano. Las bacterias diazotróficas asociadas a los vegetales; además, de aportar con nitrógeno también podrían disminuir los efectos nocivos de las plagas (Hernández-Rodríguez et al., 2014). Estas bacterias fijadoras de nitrógeno suelen adaptarse a las condiciones edafoclimáticas de la región y son predominantes en los cultivos perennes (Bello et al., 2015), como el café, cacao, papaya, yuca, arroz, yacón, piña y plátano, lo cual explica la mayor cantidad promedio de estas bacterias en relación a los cultivos vegetales, respectivamente.

Los suelos tropicales de las provincias de Bagua y Utcubamba de la región Amazonas, se caracterizan por presentar deficiencia en materia orgánica y en consecuencia, son bajos en nitrógeno (Etesami & Adl, 2020), sin embargo, los suelos cafetaleros poseen cepas de microorganismos con alto potencial biotecnológico como biofertilizantes que promueven el crecimiento de las plantas (Santana-Aragone et al., 2017). Las rizobacterias nativas aisladas contribuyen principalmente a la fijación biológica de nitrógeno atmosférico en el suelo (Riaz et al., 2021), la solubilización de fosfatos y la producción de ácido indol acético, proporcionan un soporte biotecnológico para la agricultura sustentable, la producción de alimentos orgánicos y una alternativa para contrarrestar los impactos

ambientales adversos ocasionados por el uso indiscriminado de fertilizantes químicos (Basu et al., 2021), además, el empleo de estas bacterias ayuda a diseñar estrategias para tecnologías agrícolas sostenibles, respetuosas con el medio ambiente y climáticamente inteligentes (Bhat et al., 2020).

5. Conclusiones

La rizósfera de los cultivos de importancia económica de las provincias de Bagua y Utcubamba, región Amazonas, Perú, poseen bacterias con potencial biofertilizante asociadas a cultivos amazónicos, principalmente café, cacao, papaya y piña.

La rizósfera de estos cultivos alberga gran variedad de bacterias fijadoras asimbióticas de nitrógeno, productoras de ácido indol acético y solubilizadoras de fosfatos, sin embargo, la rizósfera de café no presentó bacterias productoras de auxinas, pero si la mayor cantidad de bacterias diazotróficas.

6. Contribución de los autores

J.A., J.M. y M.G.: Concepción, diseño, recolección de datos, revisión crítica del artículo y aprobación de la versión final.

J.A. y M.G.: Bioensayos en campo y laboratorio. Todos los autores han leído el manuscrito final y aprobado la versión.

7. Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

8. Referencias Bibliográficas

- Afa, M., Sadimantara, G., Rahni, N., & Sutariati, G. (2020). Isolation & Characterization Of Rhizobacteria From Local Shallots Rhizosphere As Promoting Growth Of Shallot (*Allium Ascalonicum* L.). 9(03), 6. Agriculture, U. S. (2019). Soil Survey Field and Laboratory Methods Manual- Soil Survey Investigations Report No. 51 (Version 2) Issued 2014.
- Ahemad, M., & Kibret, M. (2014). Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: Current perspective. Journal of King Saud University - Science, 26(1), 1-20.
- Alori, E., Glick, B., & Babalola, O. (2017). Microbial Phosphorus Solubilization and Its Potential for Use in Sustainable Agriculture. Frontiers in Microbiology, 8. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00971>
- Andrade, L., de Souza, G., Nietsche, S., Xavier, A., Costa, M., Cardoso, A., Pereira, M., & Pereira, D. (2014). Analysis of the abilities of endophytic bacteria associated with banana tree roots to promote plant growth. Journal of Microbiology (Seoul, Korea), 52(1), 27-34.
- Argüello Navarro, A., Madiedo Soler, N., & Moreno Rozo, L. (2016). Cuantificación de bacterias diazotróficas aisladas de suelos cacaoteros (*Theobroma cacao* L.), por la técnica de Número Más Probable (NMP). Revista Colombiana de Biotecnología, 18(2), 40-47.
- Banerjee, A., Barih, D., & Joshi, S. (2017). Native microorganisms as potent bioinoculants for plant growth promotion in shifting agriculture (Jhum) systems. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, ahead, 17(1), 127-140.
- Barbosa, A., Cannavan, F., Navarrete, A., Teixeira, W., Kuramae, E., & Tsai, S. (2015). Amazonian Dark Earth and Plant Species from the Amazon Region Contribute to Shape Rhizosphere Bacterial Communities. Microbial Ecology, 69(4), 855-866.
- Basu, A., Prasad, P., Das, S., Kalam, S., Sayyed, R., Reddy, M., & El Enshasy, H. (2021). Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) as Green Bioinoculants: Recent Developments, Constraints, and Prospects. Sustainability, 13(3), 1140.
- Bello, O., García, J., & Cuervo, W. (2015). Cuantificación de diazotófos en la rizósfera del olivo (*Olea europaea* L.) cultivado en Boyacá, Colombia. Acta Agronómica, 65(2), 109-115.
- Bhat, M., Kumar, V., Bhat, M., Wani, I., Dar, F., Farooq, I., Bhatti, F., Koser, R., Rahman, S., & Jan, A. (2020). Mechanistic Insights of the Interaction of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) With Plant Roots Toward Enhancing Plant Productivity by Alleviating Salinity Stress. Frontiers in Microbiology, 11, 1-20.
- Bouyoucos, G. (1962). Hydrometer Method Improved for Making Particle Size Analyses of Soils. Agronomy Journal, 54(5), 464-465.
- Cadena, S., & Martínez, B. (2020). Caracterización de cepas nativas de *Pseudomonas* spp. Y su efecto en_x000D_ la germinación y emergencia de *Zea mays* L. «maíz» en Lambayeque. [Tesis de Bachiller, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo].
- Cárdenas, D., Ramírez, L., & Moreno, L. (2013). Caracterización de actividades promotoras del crecimiento vegetal por rizobacterias y su efecto en cultivo de cilantro (*Coriandrum sativum* L.). Ecoe: Universidad Francisco de Paula Santander.
- Cardenas, M., & Eduardo, M. (2007). Evaluación de la acción de un bioinoculante sobre un cultivo de crisantemo (*Chrysanthemum morifolium* var. Yoko ono) en período de enraizamiento. [Tesis título, Universidad Nacional Javeriana].
- Chen, C., Zhang, J., Lu, M., Qin, C., Chen, Y., Yang, L., Huang, Q., Wang, J., Shen, Z., & Shen, Q. (2016). Microbial communities of an arable soil treated for 8 years with organic and inorganic fertilizers. Biology and Fertility of Soils, 52(4), 455-467.
- Cordero, I., Ruiz-Díez, B., Balaguer, L., Richter, A., Pueyo, J., & Rincón, A. (2017). Rhizospheric microbial community of *Caesalpinia spinosa* (Mol.) Kuntze in conserved and deforested zones of the Atiquipa fog forest in Peru. Applied Soil Ecology, 114, 132-141.
- Curi, M., Jiménez, V., & Ibarra, J. (2019). Cepas bacterianas nativas con actividades promotoras del crecimiento vegetal aisladas de la rizósfera de *Coffea* spp. En Pichanaqui, Perú. Biotecnología Vegetal, 19(4), 285-295.
- De Souza, R., Beneduzi, A., Ambrosini, A., da Costa, P., Meyer, J., Vargas, L., Schoenfeld, R., & Passaglia, L. M. (2013). The effect of plant growth-promoting rhizobacteria on the growth of rice (*Oryza sativa* L.) cropped in southern Brazilian fields. Plant and Soil, 366(1-2), 585-603.
- Döbereiner, J., Baldani, V., & Baldani, J. (1995). Como isolar e identificar bacterias diazotróficas de plantas não-leguminosas. Embrapa SPI.
- Duval, M., Capurro, J., Galantini, J., & Andriani, J. (2015). Utilización de cultivos de cobertura en monocultivo de soja: Efectos sobre el balance hídrico y orgánico. Cienc. Suelo 33(2), 247-261.
- Edwards, J., Johnson, C., Santos-Medellín, C., Lurie, E., Podishetty, N., Bhatnagar, S., Eisen, J., & Sundaresan, V. (2015). Structure, variation, and assembly of the root-associated microbiomes of rice. Proceedings of the National Academy of Sciences, 112(8), E911-E920.
- Etesami, H., & Adl, S. (2020). Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) and Their Action Mechanisms in Availability of Nutrients to Plants. En M. Kumar, V. Kumar, & R. Prasad (Eds.), Phyto-Microbiome in Stress Regulation (pp. 147-203). Springer.
- Fanin, N., Hättenschwiler, S., Schimann, H., & Fromin, N. (2015). Interactive effects of C, N and P fertilization on soil microbial community structure and function in an Amazonian rain forest. Functional Ecology, 29(1), 140-150.

- Fatawi, A., Pujiasmanto, B., Komariah, Zaki, M., & Noda, K. (2021). Application of organic amendments and PGPR on Salibu Rice yield for drought adaptation. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 824(1), 012079.
- Fernández-Ojeda, P., Acevedo, D., Villanueva-Morales, A., Uribe-Gómez, M., Fernández-Ojeda, P., Acevedo, D., Villanueva-Morales, A., & Uribe-Gómez, M. (2016). State of the essential chemical elements in the soils of natural, agroforestry and monoculture systems. Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 7(35), 65-77.
- Ferreira, L. de V. M., Carvalho, F. de, Andrade, J., & Moreira, F. de S. (2018). Growth promotion of common bean and genetic diversity of bacteria from Amazon pastureland. Scientia Agricola, 75(6), 461-469.
- García, F., Muñoz, H., Carreño, C., & Mendoza, G. (2010). Characterization of native strains of Azospirillum spp. And its effect on growth of Oryza sativa L. "rice" in Lambayeque. Scientia agropecuaria, 107-116.
- Giraldo, M., Ramírez J., Galán, A., & Naciones Unidas (Eds.). (2013). Amazonia posible y sostenible. Naciones Unidas.
- Habibi, S., Djedidi, S., Ohkama-Ohtsu, N., Sarhadi, W., Kojima, K., Rallos, R., Ramírez, M., Yamaya, H., Sekimoto, H., & Yokoyama, T. (2019). Isolation and Screening of Indigenous Plant Growth-promoting Rhizobacteria from Different Rice Cultivars in Afghanistan Soils. Microbes and Environments, 34(4), 347-355.
- Hernández-Rodríguez, A., Rives-Rodríguez, N., Acebo-Guerrero, Y., Díaz-de la Osa, A., Heydrich-Pérez, M., & Divan Baldani, V. (2014). Potencialidades de las bacterias diazotróficas asociativas en la promoción del crecimiento vegetal y el control de Pyricularia oryzae (Sacc.) en el cultivo del arroz (Oryza sativa L.). Revista de Protección Vegetal, 29(1), 1-10.
- Jones, D., & Oburger, E. (2011). Solubilization of Phosphorus by Soil Microorganisms. En Phosphorus in Action (Vol. 26, pp. 169-198).
- Kalyanasundaram, G., Syed, N., & Subburamu, K. (2021). Chapter 17- Recent developments in plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) for sustainable agriculture. En B. Viswanath (Ed.), Recent Developments in Applied Microbiology and Biochemistry (pp. 181-192). Academic Press.
- Karagoz, K., ateş, F., Karagoz, H., & Çakmakçı, R. (2012). Characterization of plant growth-promoting traits of bacteria isolated from the rhizosphere of grapevine grown in alkaline and acidic soils. European Journal of Soil Biology, 50, 144-150.
- Kaschuk, G., & Hungria, M. (2017). Diversity and Importance of Diazotrophic Bacteria to Agricultural Sustainability in the Tropics. En Diversity and Benefits of Microorganisms from the Tropics (pp. 269-292).
- Khan, M., Zaidi, A., Ahemad, M., Oves, M., & Wani, P. (2010). Plant growth promotion by phosphate solubilizing fungi – current perspective. Archives of Agronomy and Soil Science, 56(1), 73-98.
- Koua, S., N'golo, D., Alloué-Boraud, W., Konan, F., & Dje, K. (2020). Bacillus subtilis Strains Isolated from Cocoa Trees (Theobroma cacao L.) Rhizosphere for their use as Potential Plant Growth Promoting Rhizobacteria in Côte d'Ivoire. Current Microbiology, 77(9), 2258-2264.
- Landeros-Sánchez, C., Moreno-Seceña, J., Nikolskii, I., & Bakhlaeva-Egorova, O. (2011). Impacto de la agricultura sobre la biodiversidad (pp. 477-491).
- Lin, W., Lin, M., Zhou, H., Wu, H., Li, Z., & Lin, W. (2019). The effects of chemical and organic fertilizer usage on rhizosphere soil in tea orchards. PLOS ONE, 14(5), e0217018.
- López-Ortega, M., Criollo-Campos, P., Gómez-Vargas, R., Camelo-Runsingue, M., Estrada-Bonilla, G., Garrido-Rubiano, M., & Bonilla-Buitrago, R. (2013). Characterization of diazotrophic phosphate solubilizing bacteria as growth promoters of maize plants. Revista Colombiana de Biotecnología, 15(2), 115-123.
- Magalhães, N. dos S., Marengo, R., & Camargo, M. (2014). Do soil fertilization and forest canopy foliage affect the growth and photosynthesis of Amazonian saplings? Scientia Agricola, 71(1), 58-65.
- Medina, J., Chimal, C., Gómez, L., & Aguilar, J. (2014). Aislados bacterianos con potencial biofertilizante para plántulas de tomate. Terra latinoamericana, 32: 273-281.
- Moreno, L., & Galvis, F. (2013). Potencial biofertilizante de bacterias diazotórfas aisladas de muestras de suelo rizosférico. Pastos y Forrajes, 36(1), 33-37.
- Moreno, A., García, V., Reyes, J., Vásquez, J., & Cano, P. (2018). Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal: Una alternativa de biofertilización para la agricultura sustentable. Revista Colombiana de Biotecnología, 20(1), 68-83.
- Muleta, D., Assefa, F., Börjesson, E., & Granhall, U. (2013). Phosphate-solubilising rhizobacteria associated with Coffea arabica L. in natural coffee forests of southwestern Ethiopia. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 12(1), 73-84.
- Myrold, D., Zeglin, L., & Jansson, J. (2014). The Potential of Metagenomic Approaches for Understanding Soil Microbial Processes. Soil Science Society of America Journal, 78(1), 3-10.
- Nehra, V., Saharan, B., & Choudhary, M. (2016). Evaluation of Brevibacillus brevis as a potential plant growth promoting rhizobacteria for cotton (Gossypium hirsutum) crop. SpringerPlus, 5(1), 948.
- Ogata-Gutiérrez, K., Chumpitaz-Segovia, C., Lirio-Paredes, J., Finetti-Sialer, M., & Zúñiga-Dávila, D. (2017). Characterization and potential of plant growth promoting rhizobacteria isolated from native Andean crops. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 33(11), 203.
- Panhwar, Q., Naher, U., Jusop, S., Othman, R., Latif, M., & Ismail, M. (2014). Biochemical and Molecular Characterization of Potential Phosphate-Solubilizing Bacteria in Acid Sulfate Soils and Their Beneficial Effects on Rice Growth. PLOS ONE, 9(10), e97241.
- Patel, J., Yadav, S., Bajpai, R., Teli, B., & Rashid, M. (2020). PGPR secondary metabolites: An active syrup for improvement of plant health. En Molecular Aspects of Plant Beneficial Microbes in Agriculture (pp. 195-208). Elsevier.
- Pii, Y., Borruso, L., Brusetti, L., Crecchio, C., Cesco, S., & Mimmo, T. (2016). The interaction between iron nutrition, plant species and soil type shapes the rhizosphere microbiome. Plant Physiology and Biochemistry, 99, 39-48.
- Quesada, C., Lloyd, J., Anderson, L., Fyllas, N., Schwarz, M., & Czimczik, C. (2011). Soils of Amazonia with particular reference to the RAINFOR sites. Biogeosciences, 8(6), 1415-1440.
- Rahman, S., Siddique, R., & Tabassum, N. (2017). Isolation and identification of halotolerant soil bacteria from coastal Patenga area. BMC Research Notes, 10(1), 531.
- Rengel, Z., & Marschner, P. (2005). Nutrient availability and management in the rhizosphere: Exploiting genotypic differences. The New Phytologist, 168(2), 305-312.
- Reyes, I., Valery, A., & Valduz, Z. (2006). Phosphate-solubilizing microorganisms isolated from rhizospheric and bulk soils of colonizer plants at an abandoned rock phosphate mine. Plant and Soil, 287(1), 1-10.
- Riaz, U., Murtaza, G., Anum, W., Samreen, T., Sarfraz, M., & Nazir, M. Z. (2021). Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) as Biofertilizers and Biopesticides. En K. R. Hakeem, G. H. Dar, M. A. Mehmood, & R. A. Bhat (Eds.), Microbiota and Biofertilizers: A Sustainable Continuum for Plant and Soil Health (pp. 181-196). Springer International Publishing.
- Ríos-Ruiz, W., Torres-Chávez, E., Torres-Delgado, J., Rojas-García, J., Bedmar, E., & Valdez-Nuñez, R. (2020). Inoculation of bacterial consortium increases rice yield (Oryza sativa L.) reducing applications of nitrogen fertilizer in San Martin region, Peru. Rhizosphere, 14, 100200.
- Sahoo, R., Ansari, M., Dangar, T., Mohanty, S., & Tuteja, N. (2014). Phenotypic and molecular characterisation of efficient nitrogen-fixing Azotobacter strains from rice fields for crop improvement. Protoplasma, 251(3), 511-523.
- Salazar-Henao, J., Vélez-Bermúdez, I., & Schmidt, W. (2016). The regulation and plasticity of root hair patterning and morphogenesis. Development, 143(11), 1848-1858.
- Santana-Aragone, D., Colina-Navarrete, E., Castro-Arteaga, C., Cadena-Piedrahita, D., Sotomayor-Morán, A., Galarza-Centeno, E., & López-Villacré, M. (2017). Microorganismos Fijadores De Nitrógeno Y Su Acción Complementaria A La Fertilización Química En El Cultivos De Coffea arabica L. European Scientific Journal, 13(3), 211-222.
- Shin, W., Islam, Md. R., Benson, A., Joe, M., Kim, K., Gopal, S., Samaddar, S., Banerjee, S., & Sa, T. (2016). Role of Diazotrophic Bacteria in Biological

- Nitrogen Fixation and Plant Growth Improvement. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 49, 17-29.
- Sosa, M., Ruiz, E., Tun, J., Pinzón, L., & Reyes, A. (2019). Germinación, crecimiento y producción de glucanasas en *Capsicum chinense* Jacq. Inoculadas con *Bacillus* spp. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 6(16), 137-146.
- Souza, R. de, Ambrosini, A., & Passaglia, L. (2015). Plant growth-promoting bacteria as inoculants in agricultural soils. *Genetics and Molecular Biology*, 38(4), 401-419.
- Sutariati, G., Rahni, N., Madiki, A., Mudi, L., & Fua, J. (2020). Isolation And Viability Test Of Seed Incorporated By Indigenous Rhizobacteria From Areca Nut As Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR). 9(01), 5: 3435-3439.
- Tang, A., Haruna, A., Majid, N. Ab., & Jalloh, M. (2020). Potential PGPR Properties of Cellulolytic, Nitrogen-Fixing, Phosphate-Solubilizing Bacteria in Rehabilitated Tropical Forest Soil. *Microorganisms*, 8(3), 442.
- Teng, Z., Chen, Z., Zhang, Q., Yao, Y., Song, M., & Li, M. (2019). Isolation and characterization of phosphate solubilizing bacteria from rhizosphere soils of the Yeyahu Wetland in Beijing, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(33), 33976-33987.
- Urgiles-Gómez, N., Avila-Salem, M., Loján, P., Encalada, M., Hurtado, L., Araujo, S., Collahuazo, Y., Guachanamá, J., Poma, N., Granda, K., Robles, A., Senés, C., & Cornejo, P. (2021). Plant Growth-Promoting Microorganisms in Coffee Production: From Isolation to Field Application. *Agronomy*, 11(8), 1531.
- Vanegas, J., Flórez-Zapata, N., & Uribe-Vélez, D. (2012). Bioprospección de microorganismos promotores de crecimiento vegetal para su aplicación en el cultivo de arroz (pp. 151-178).
- Wang, R., Zhang, H., Sun, L., Qi, G., Chen, S., & Zhao, X. (2017). Microbial community composition is related to soil biological and chemical properties and bacterial wilt outbreak. *Scientific Reports*, 7(1), 343.
- Zheng, B., Zhang, D., Wang, Y., Hao, X., Wadaan, M., Hozzein, W., Peñuelas, J., Zhu, Y., & Yang, X. (2019). Responses to soil pH gradients of inorganic phosphate solubilizing bacteria community. *Scientific Reports*, 9:25.



SENDERO INTERPRETATIVO EN LAS LOMAS DEL CERRO CAMPANA: APORTE PARA SU CONSERVACIÓN




INTERPRETIVE PATH IN THE HILLS OF CERRO CAMPANA: CONTRIBUTION TO ITS CONSERVATION

María Pilar Ruiz-Santillán ^{1*}, Freddy Mejía Coico ², Janet Gonzales Valdivia ¹

¹ Instituto de Investigación, Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI – Panamericana Norte km 555, Moche, Perú.

² Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de Trujillo, Av. Juan Pablo II s/n – Ciudad Universitaria, Trujillo, Perú.

M. Pilar Ruiz:
Freddy Mejía:
Janet Gonzáles:

 <https://orcid.org/0000-0001-8676-9109>
 <https://orcid.org/0000-0002-4604-5883>
 <https://orcid.org/0000-0002-4207-1320>

Artículo original

Recibido: 12 de setiembre 2021
Aceptado: 15 de noviembre 2021

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo proponer la implementación de un sendero interpretativo denominado: "El cerro Campana y las increíbles especies vegetales que alberga" para contribuir al impulso del turismo sostenible aportando de esa manera a la conservación de la loma costera; ecosistema único con características peculiares. El recurso en la actualidad no tiene uso turístico, un "sendero interpretativo" sería promisorio en términos de protección de la naturaleza. Se realizaron tres visitas en los meses de mayo, julio y noviembre del 2019 para identificación de datos generales e inventario de la vegetación del sendero. Los resultados identifican al ACP como un sitio natural, al que se puede acceder en transporte público o privado hasta el km 576 de la carretera Panamericana Norte y luego a pie por una trocha, el ingreso y recorrido debe tener orientación de un intérprete de naturaleza, la época propicia para visitar el recurso es la época de lomas de junio-setiembre; las actividades turísticas a realizarse son: observación "in situ" de aves, mamíferos, insectos, flora y paisaje; deportes: caminata y senderismo, safari fotográfico, filmación y trabajos de investigación básica y aplicada. La propuesta considera un sendero de tipo lineal ya existente con caminata guiada y siete rasgos a interpretar que inicia en los 145 m.s.n.m y va en ascenso hasta los 573 m.s.n.m. El recurso dispone de condiciones apropiadas para instalar un sendero interpretativo.

Palabras clave: Loma costera, sendero interpretativo, turismo sostenible.

Abstract

The present research aims to propose the implementation of an interpretive trail called: "Cerro Campana and the incredible plant species it houses" to contribute to the promotion of sustainable tourism, thus contributing to the conservation of the coastal hill; unique ecosystem with peculiar characteristics. The resource currently has no tourist use; an "interpretive trail" would be promising in terms of nature protection. Three visits were made in the months of May, July and November 2019 to identify general data and inventory of the vegetation of the trail. The results identify the ACP as a natural site, which can be accessed by public or private transport up to km 576 of the North Pan-American Highway and then on foot along a trail, the entrance and route must be guided by a nature interpreter, the best time to visit the resort is the hill season from June - September; The tourist activities to be carried out are: in situ observation of birds, mammals, insects, flora and landscape; sports: walking and trekking, photographic safari, filming and basic and applied research work. The proposal considers an existing linear type path with a guided walk and seven features to interpret that begins at 145 meters above sea level and goes up to 573 meters above sea level. The resource has appropriate conditions to install an interpretive trail

Keywords: Coastal hill, interpretive trail, sustainable tourism.

* Autor para correspondencia: E. mail: m.ruiz@uct.edu.pe

DOI: <http://dx.doi.org/10.17268/rebiol.2021.41.02.02>

Citar como:

Ruiz-Santillán, M., Mejía, F., & Gonzales, J. 2021. Sendero interpretativo en las lomas del Cerro Campana: aporte para su conservación. REBIOL, 41(2):167-178.



1. Introducción

En nuestro país, existe una franja costera con relieve irregular, formado por pampas, tablazos, terrazas, cerros, colinas, espolones rocosos y puntas con acantilados que pasan los 1000 m.s.n.m., la Corriente de Humboldt que viene del sur y la contracorriente El Niño que llega del norte tienen importante dominio sobre el clima de esta zona (Ferreira, 1983). Durante los meses de invierno, generalmente entre mayo y octubre, una densa cobertura de nubes se ubica principalmente sobre esta región de la costa peruana, como resultado la neblina, se condensa y precipita lentamente bajo la forma de gotitas "garua" y como consecuencia se desarrolla una vegetación marcadamente estacional (León et al., 2002).

Estos fragmentos o islas de vegetación asociadas a neblinas de origen marino conocidos como "lomas" (León, et al., 1996) constituyen comunidades herbáceas que se sitúan en mosaicos multicolores que revisten la costa entre Trujillo y Tacna (Ferreira, 1983). En particular el Cerro Campana (Trujillo, La Libertad) es considerado un ecosistema importante por sus características especiales y la biodiversidad que alberga; y por situarse en el límite norte de este tipo de vegetación en América del Sur (Rodríguez-Rodríguez et al., 2012).

El Área de Conservación Privada (ACP) denominada "Lomas del Cerro Campana" está constituida sobre una superficie de 4564,98 ha inscrita a nombre de la Universidad Nacional de Trujillo, está ubicada en los distritos de Huanchaco, Chicama y Santiago de Cao, provincias de Trujillo y Ascope, departamento de La Libertad. A pesar de contar con una gran diversidad genética de especies y paisajes; aún no se han implementado actividades que promuevan la visita de la población local a la zona. De ahí la necesidad de tener en cuenta un "sendero interpretativo" que en términos de cultura y protección de la naturaleza se considera promisorio, y cuyo componente principal la interpretación; promueve el desarrollo del turismo de manera responsable" (Valderrama, 2015).

Un sendero interpretativo, es una vía que te permite recorrer una zona específica sin mucho esfuerzo, dependiendo del lugar o atracción que quieras visitar. Son experiencias asociadas a recursos específicos, que siguen un camino definido (Lazo & Arróspide, 2011). Mediante la

interpretación ambiental se integra a las personas con la naturaleza a través de la comunicación, construyendo conexiones emocionales, intelectuales y físicas con las características de un ecosistema en particular. Entre sus objetivos sobresalientes se identifican: lograr que el visitante experimente durante la visita una sensación acogedora y gratificante; gestionar el recurso animando a los turistas hacer uso adecuado del área subrayando en todo momento el lugar excepcional en el que se encuentran (Lassalle & Gresa, 2017).

El avance progresivo de la civilización, incendios, presencia de minería no metálica, existencia ilegal de granjas de animales menores, construcción de antenas telefónicas, sobreexplotación de canteras, ampliación del proyecto CHAVIMOCHIC y la indolencia de las autoridades locales y regionales son factores que amenazan el recurso y deterioran progresivamente la biodiversidad y los restos arqueológicos (Rodríguez-Rodríguez et al., 2012). Con el objetivo de fomentar el conocimiento de la vegetación y su conservación la presente investigación propone la implementación de un sendero interpretativo guiado en el ACP Lomas del Cerro Campana, para contribuir al impulso del turismo sostenible, como alternativa orientada a sensibilizar a la comunidad local y regional, buscando cambios de actitud que se conviertan en acciones concretas de defensa del recurso natural.

2. Materiales y Métodos

Descripción del área de estudio

El Área de Conservación Privada (ACP) Lomas del Cerro Campana, se encuentra ubicado al noroeste de la ciudad de Trujillo, en los distritos de Chicama y Santiago de Cao (provincia de Ascope); y el distrito de Huanchaco (provincia de Trujillo), Región La Libertad. Extensión 4564,86 ha (Universidad Nacional De Trujillo, 2016). Presenta un relieve de colinas bajas y pampas costeras que van desde 150 a 950 m.s.n.m. Forma parte de la eco región desierto de Sechura, considerada como alta prioridad de conservación biológica (SERNANP, 2009).

En el mes de mayo del 2019 se realizó la primera visita de reconocimiento al área propuesta para la interpretación e identificación de datos generales según Ficha Técnica del Recurso Turístico (MINCETUR, 2018): ubicación, datos de

georreferencia, clasificación del recurso, fotografía actual, descripción, estado actual, ruta de acceso por tramos y actividades turísticas que se realizarían en el recurso (Anexo 1).

Esta investigación es de tipo exploratoria, descriptiva por observación "in situ", la metodología fue tomada y modificada de la Guía para la implementación de Senderos Interpretativos Rurales (Valderrama, 2015). Los principales componentes para la implementación de senderos son: 1. Planeación (Normativa, Diagnóstico y Delimitación del área del sendero), 2. Inventario de la flora, 3. Diseño y construcción (número de estaciones, longitud, trazado, adecuación del recorrido e infraestructura), 4. Interpretación (texto y guiones, título, bienvenida, objetivo del sendero, audiencia y estructura sinóptica), 5. Administración (administración y manejo, comercialización).

3. Resultados

Planeación

Normativa Vigente

Antecedentes Nacionales

Ley 30100 declara de interés nacional y necesidad pública la protección de la biodiversidad y del patrimonio cultural del Cerro Campana, en el distrito de Huanchaco, provincia de Trujillo, departamento de La Libertad

Resolución Ministerial N° 192-2016-MINAM, reconoce Área de Conservación Privada Lomas del Cerro Campana, ubicada en el departamento de La Libertad, resuelve en el artículo 2 establecer como objetivo general del ACP Lomas del Cerro Campana contribuir a la conservación y preservación de una muestra representativa de la diversidad biológica de las comunidades lomaes del norte del País.

La Resolución de Dirección Ejecutiva N°263-2018-MINAGRI-SERFOR-DE, aprueba los lineamientos para la

elaboración de declaración de manejo de concesiones para ecoturismo que señala que dentro de los programas de desarrollo del producto turístico tener en cuenta un programa de interpretación ambiental que considere senderos interpretativos, centro de interpretación, etc.

Antecedentes Internacionales

Carta del Turismo Sostenible, elaborada en Lanzarote en abril de 1995, fue aprobada en la Conferencia Mundial de Turismo sostenible organizada por la Organización Mundial del Turismo (OMT) y la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), fue la primera y más importante, donde se señala la "necesidad de desarrollar un turismo respetuoso con: las exigencias ambientales, la población aledaña y la estructura socioeconómica del destino" (Pérez, 2020). Declaración de Galápagos Cumbre de autoridades de Turismo y Ambiente de Ibero América y el Caribe Galápagos 30, 31 de mayo 2002, reconoce la importancia que tiene el desarrollo sostenible para la conservación de la diversidad biológica y cultural de los pueblos y destaca la importancia de la educación y concientización de políticas públicas referente a los beneficios del turismo sostenible.

Agenda 2030 y los Objetivos del Desarrollo Sostenible, precisamente el objetivo 8 trabajo decente y crecimiento económico tiene como meta "elaborar y poner en práctica políticas encaminadas a promover un turismo sostenible que cree puestos de trabajo y promueva la cultura y los productos locales". Así mismo el cumplimiento del objetivo 15 vida de ecosistemas terrestres al 2030 tiene como aliado al turismo sostenible no solo para conservar y preservar la diversidad biológica sino también para educar a la población en el respeto a los ecosistemas mediante actividades de sensibilización en el sentido de reducir los residuos y conservar la flora y fauna nativa del área (UNWTO, s.f.).

Diagnóstico

Identificación de potencialidades y limitaciones de la actividad turística en las lomas del cerro Campana. Análisis FODA.

Tabla 1. Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas de la actividad turística en las lomas del Cerro Campana.

FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
<ol style="list-style-type: none"> 1. La flora está representada por 51 familias, 113 géneros y 157 especies que incluye especies con flores y sin flores. Además, taxones endémicos 5 de plantas y 4 de avifauna 2. Lugar geográfico con evidencia arqueológica y cultural. 3. Factores idóneos de un ecosistema de Lomas para la práctica de turismo de investigación, naturaleza y aventura. 4. Disposición de guías familiarizados con el recurso. 5. Trabajo de concientización con Asentamiento Humano el Reposo del Centro Poblado El Milagro 6. Laboratorio de Investigación de la Universidad Nacional de Trujillo. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Posibilidad de beneficiar a las poblaciones aledañas como el asentamiento humano el Reposo a través del desarrollo del ecoturismo. 2. Considerada zona intangible y declarada como una unidad de conservación por ser un lugar histórico-ecológico. 3. Disposición de senderos y espacios llanos para potenciar la realización del senderismo en el área. 4. Potenciar el turismo de investigación como medio para incentivar la conservación del recurso.
DEBILIDADES	AMENAZAS
<ol style="list-style-type: none"> 1. Carece de planes de conservación. 2. Falta de compromiso de instituciones públicas para el desarrollo y conservación del Cerro Campana. 3. Ausencia de fiscalizadores ambientales que controlen y frenen los daños en el recurso. 4. Escasez de óptima infraestructura para el visitante. 5. Inseguridad dentro del recurso. 6. Deterioro de evidencias arqueológicas por la actividad antrópica 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Explotación de canteras: minería no metálica, la extracción de agregados favorece la implementación de caminos para el acceso de maquinaria pesada. 2. Las invasiones y tráfico de terrenos son una amenaza permanente. 3. Granjas avícolas que se establecen en los alrededores en condiciones precarias atraen moscas debido a los malos olores que generan. 4. Actividades de chamanería y curanderismo

Inventario de Recursos y Atractivos: la actividad se desarrolló a partir de las visitas realizadas al recurso, se realizaron recorridos en mayo, julio y noviembre del 2019. En cada una de las visitas se tomaron las coordenadas con ayuda de un GPS map 76CSx marca Garmin. La información se sistematizó tomando como referencia el Manual para la elaboración y actualización del inventario de recursos turísticos, formato planteado por el Ministerio de Comercio Exterior y Turismo MINCETUR (2018) (Anexo 1). Según los resultados se considera un sitio natural, al que se puede acceder en transporte público o privado hasta el km 576 de la carretera Panamericana Norte y luego a pie por una trocha, no se condiciona el ingreso pero si debe tener orientación de un guía, el ingreso y la salida debe

efectuarse durante el día, la época propicia para visitar el recurso es la época de lomas de junio-setiembre; las actividades turísticas que se pueden realizar son la observación *in situ* de aves, mamíferos, insectos, flora y paisaje; deportes; caminata y trekking, safari fotográfico, filmación y también se pueden llevar a cabo trabajos de investigación básica y aplicada.

Definición del propósito del Sendero: En las lomas del Cerro Campana se planificó un sendero interpretativo sobre un camino preexistente (conocido como la ruta de los botánicos) diseñado en función de las comunidades vegetales que habitan en el recurso; el interés por implementar el sendero es dar a conocer a la comunidad

local y regional la extraordinaria riqueza del ecosistema lomal. La implementación del sendero interpretativo traerá beneficios inmateriales, pues, los usuarios durante el recorrido constatarán en primer lugar el valor de las lomas por su riqueza única de especies y en segundo lugar reconocerán la importancia de su conservación.

Delimitación del área del sendero

Selección de área del Sendero Interpretativo: para la elaboración del croquis del sendero se utilizó un GPS map 76CSx Garmin luego se ingresaron los datos al programa Google Earth generando el mapa donde se realizará el recorrido.

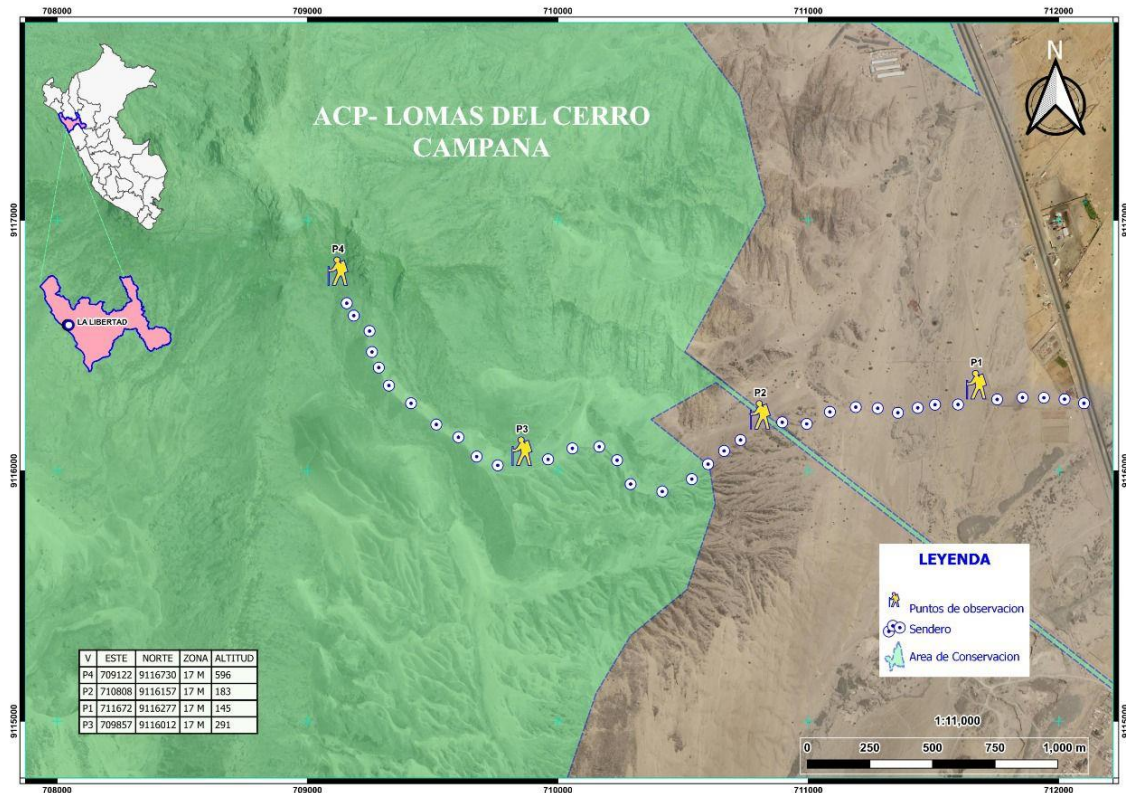


Figura 1. Ubicación del sendero interpretativo en el Área de Conservación Privada Lomas del Cerro Campana.

Identificación de los impactos del Sendero Interpretativo: Los impactos más comunes que se lograría advertir en el sendero del ACP Lomas del cerro Campana son: compactación del suelo en el área de tránsito, la extracción de flores, frutos y semillas, acumulación de residuos, alteración de la calidad visual del paisaje. Es preciso al iniciar el recorrido mencionar las normas de convivencia con la naturaleza y el cuidado del entorno.

Diseño del Sendero de interpretación

Tipo de sendero

De acuerdo a la zona, el sendero será de tipo guiado por un intérprete de naturaleza que realizará acompañamiento

permanente a los visitantes proporcionándoles información sobre las características de la vegetación que se encuentra a lo largo del recorrido. El Comité de Gestión del ACP designará personal entrenado que participará en el guiado. Para la selección de los recursos interpretativos se consideró las siguientes características: ¿Cómo crecen estas especies en el ecosistema lomal?, ¿Qué estructuras han desarrollado las plantas que permiten su adaptación a las condiciones adversas?, ¿Qué tipo de relaciones ecológicas se dan entre estas especies?, ¿Conoce los usos de las especies que habitan las lomas del cerro Campana?, ¿Cómo hacer uso racional de este recurso?

Inventario Flora

Tabla 2: Inventario de la flora del sendero interpretativo: Las lomas del cerro Campana y las increíbles especies vegetales que alberga (2019).

Nombre científico	Nombre común	Familia
<i>Colicodendron scabridum</i> (Kunth)	"sapote"	Capparaceae
<i>Parkinsonia praecox</i> (Ruiz & Pav. Ex Hook.) Hawkins	"palo verde"	Fabaceae
<i>Parkinsonia aculeata</i> L.	"azote de Cristo"	Fabaceae
<i>Cryptocarpus pyriformis</i> Kunth	"chope"	Nyctaginaceae
<i>Haageocereus pacalaensis</i> Backeb.	"rabo de zorro"	Cactaceae
<i>Tiquilia paronychioides</i> (Phil.) AT Richardson	"flor de arena"	Boraginaceae
<i>Atriplex rotundifolia</i> Dombey ex Moq	desconocido	Amaranthaceae
<i>Alternanthera halimifolia</i> (Lam.) Standl. Ex Pittier	"hierba blanca"	Amaranthaceae
<i>Neoraimondia arequipensis</i> (Meyen) Backeb.	"gigantón"	Cactaceae
<i>Tillandsia latifolia</i> Meyen	"achupalla"	Bromeliaceae.
<i>Tillandsia purpurea</i> Ruiz & Pav.	"achupalla"	Bromeliaceae
<i>Tillandsia recurvata</i> (L.) L.	"achupalla"	Bromeliaceae
<i>Cistanthe paniculata</i> (Ruiz & Pav.) Carolin ex Hershk.	desconocido	Montiaceae
<i>Trixis cacalioides</i> (Kunth) D. Don	"glandularia"	Asteraceae
<i>Nolana humifusa</i> (Gouan) MI Johnst.	"nolana"	Solanaceae
<i>Maytenus octogona</i> (L'Hér.) DC.	"realengo"	Celastraceae
<i>Pitcairnia lopezii</i> L.B. Smith	desconocido	Bromeliaceae
<i>Stenomesson flavum</i> (Ruiz & Pav.) Hierba	desconocido	Amaryllidaceae
<i>Opuntia quitensis</i> F.AC Weber	"tuna silvestre"	Cactaceae
<i>Espositoa melanostele</i> (Vaupel) Borg	"lana vegetal"	Cactaceae
<i>Cleistocactus sepium</i> (Kunth) A. Weber	"rabo de zorro"	Cactaceae
<i>Dicliptera peruviana</i> (Lam.) Juss.	"hierba de la ternera"	Acanthaceae
<i>Oxalis megalorrhiza</i> Jacq.	"chulco"	Oxalidaceae
<i>Begonia geraniifolia</i> Hook.	"begonia"	Begoniaceae
<i>Ismene amancaes</i> (Ker Gawl.) Hierba.	"flor de amancaes"	Amaryllidaceae
<i>Furcraea occidentalis</i> Trel.	"cabuya"	Asparagaceae
<i>Racinaea multiflora</i> (Benth.) MASpencer & LBSm	"tillandsia verde"	Bromeliaceae
<i>Solanum multifidum</i> Ruiz & Pav.	"tomate silvestre"	Solanaceae

Diseño y construcción del sendero

Número de estaciones (Figura 2). Se seleccionaron siete rasgos a interpretar (estaciones), sobre un recorrido de 3,5 km considerando una caminata guiada. Estos son:

Estación	Altitud (m.s.n.m.)	Denominación
1°	145	Ecosistema: Loma costera
2°	162	"sapote", "palo verde"
3°	181	"gigantón"
4°	197	comunidad de tillandsiales grises
5°	280	"añasquero chico"
6°	497	"flor de amancay"
7°	573	"tomate silvestre"



Figura 2. Mapa del sendero Interpretativo: Las lomas del Cerro Campana y las increíbles especies vegetales que alberga, según estaciones, altitud y denominación.

Longitud 3,5 km

Trazado. Según el diseño será de tipo lineal significa que tendrá un punto de inicio y final diferente, durante el recorrido en ascenso desde los 145 hasta los 573 msnm se atravesará la zona baja arenosa y el tramo alto rocoso, será una caminata en ascenso desde los 145 hasta los 573 msnm acceso de mediana dificultad con algunas subidas. El tiempo estimado de recorrido es de 130 minutos aproximadamente.

Adecuación del recorrido (modificado de Valderrama, 2015).

Parámetros técnicos para adecuar el sendero

Mantener un ancho de camino de 1,20 m.

Realizar labor de nivelación solo si, la pendiente en el terreno es elevada.

Marcar el sendero con una señalización adecuada, considerando la altitud (m.s.n.m.). Evitar cortar arbustos y/o remover hierbas a menos que sea estrictamente necesario.

Delimitar el sendero con la vegetación nativa.

Parámetros de conservación ambiental dentro del sendero

Incorporar acciones de prevención de la contaminación.

Contemplar medidas de protección de la flora y fauna.

Determinar la capacidad de carga.

Infraestructura:

En principio por tratarse de un sendero natural para la señalización en la parte baja se utilizará las piedras de la vertiente rocosa colocadas en forma piramidal pintadas con señales adecuadas y en el tramo más alto se aprovechará los grandes peñascos para marcar el camino, se decidió por este tipo de señalización pues al recorrido se integra la información del interprete, al mismo tiempo no genera mayor impacto en el ecosistema.

Interpretación

Texto y guiones

Título: El cerro Campana y las increíbles especies vegetales

que alberga.

Bienvenida: el guía dará la bienvenida a los participantes explicando el objetivo y normas de convivencia durante el recorrido con la naturaleza y los demás visitantes.

Objetivo del sendero: Apreciar las especies vegetales que se encuentran en el cerro Campana, haciendo énfasis en su sobrevivencia gracias a mecanismos utilizados por las plantas para adaptarse a un territorio desfavorable donde se evidencia la escasez de agua.

Audiencia: Inicialmente jóvenes y adultos del centro urbano más cercano al ACP, el asentamiento humano el Reposo del centro poblado el Milagro, que se encuentra en la zona de acceso, Km 156 de la carretera Panamericana Norte, con la intención de crear vínculos y dar a conocer la importancia de conservar el ecosistema debido a su fragilidad y el valor que representa por las especies que alberga y los servicios ecosistémicos que brinda a fin de desarrollar conciencia ambiental en la población.

Tabla 3. Estructura sinóptica del tema interpretativo: El Cerro Campana y las increíbles especies vegetales que alberga.

Estación	Título	Recurso	Mensaje interpretativo
0	La bienvenida		Presentación del tema y descripción del sendero
1°	Introducción	Ecosistema lomal	El desarrollo de estructuras adaptativas ante un entorno hostil y cambiante se relaciona con la gran diversidad de especies y familias.
2°	Arbusto en la arena	Sapote	Desarrolla sus raíces hasta una profundidad de 60 metros, toma la humedad del agua subterránea para sobrevivir.
3°	Gigante de las lomas	Gigantón	Tallos suculentos que acumulan agua, excepcional fuente de fibra y agua para animales silvestres.
4°	Soldados en la arena	Achupallas	Las tillandsias se ubican rumbo sur-oeste asociado con la dirección del viento y la humedad que viene del océano.
5°	Arbusto que elimina el mal aire	Añasquero chico	Despeja la energía negativa en las viviendas. Daño, hechicería, susto, mal aire (Bussman & Sharon, 2015).
6°	Flores que engalanan las rocas	Amancaes	Crece entre las rocas, flor vistosa corola en forma de embudo capta la neblina para condensar el agua y establece el entorno de humedad necesaria para la germinación de otras especies.
7°	Reserva de genes	Tomate silvestre	Pariete silvestre del tomate, útil para la búsqueda genes de resistencia a plagas y enfermedades que atacan a la especie cultivada.

Administración: El Comité de Gestión es responsable de la administración del ACP Lomas del cerro Campana.

4. Discusión

El Cerro Campana en su formación presenta dos pisos altitudinales de vegetación: inferior, desde 150 hasta 400 o 500 m.s.n.m. y superior desde 400 o 500 hasta 900 m.s.n.m. (Mostacero, 2007). El sendero fue diseñado para explorar la vegetación entre los 145-573 msnm. La propuesta de construir un sendero interpretativo natural por un camino

ya existente se formuló desde la perspectiva de reducir al mínimo el impacto humano, promoviendo la conservación del ambiente (Valderrama, 2015). A su vez, Chávez & Quiroga (2017), reiteran que los senderos son herramientas que permiten la conservación de la biodiversidad porque facilitan el acceso a ambientes naturales sin que estos se vean afectados drásticamente y tienen como objeto educar y preservar la naturaleza. La existencia de un camino en buen estado denominado la ruta de los botánicos, será aprovechada para implementar el sendero interpretativo

“Las lomas del cerro Campana y las increíbles especies vegetales que alberga”. Al respecto Lazo y Arróspide (2011), señalan que el camino trazado para la interpretación debe recorrerse con facilidad y seguridad.

El recurso en la actualidad no tiene uso turístico por tanto el objetivo del sendero es dar a conocer sus características distintivas con el fin de conservar la biodiversidad existente en el ACP. La zona planteada para el recorrido (Figura 2) presenta un estado de conservación no alterado. Sin embargo, Pollack et al. (2020) advierten que existen amenazas directas dentro del área como actividades de chamanería, curanderismo y florecimiento, además de fogatas que muchas veces ocasionan incendios que acaban con parte de la vegetación. En los alrededores actos delictivos como tráfico de terrenos, operaciones de minería no metálica, granjas avícolas provocan el deterioro del paisaje y amenazan la integridad del ecosistema. Sandoval (2013), recalca que, interpretar un ambiente no significa solamente comunicar acerca de la naturaleza, es preciso fomentar la curiosidad y el interés del visitante por el cuidado del ambiente. Por tal razón, iniciar las actividades de interpretación convocando a los moradores del asentamiento humano el Reposo es fundamental para difundir el valor de este frágil ecosistema por las especies que alberga y los servicios ecosistémicos que brinda a fin de concientizar y sensibilizar a la población.

De acuerdo a la Ficha Técnica elaborada para la propuesta de reconocimiento como Área de Conservación Privada Lomas del cerro Campana se establecen dos zonas: la primera de uso limitado que se destina a la protección y conservación de la riqueza de flora, fauna y paisaje, evitando la tala y quema y con el fin de efectuar actividades de investigación. Y la segunda, una zona de uso múltiple donde es posible la realización de actividades turísticas permitiendo la construcción de infraestructura y mejoramiento de trochas y senderos, en concordancia con la propuesta que presentamos para el diseño y construcción del sendero interpretativo, del mismo modo la directiva de reconocimiento de ACP (R.P. N° 199-2013-SERNANP) obliga a usar el predio para los fines de conservación establecidos en su respectiva ficha técnica.

Según la evaluación realizada en ficha de registro del recurso las características físicas comprenden: valor escénico en especial en época de lomas cuenta con belleza única en las laderas se observa vegetación herbácea con

flores de vistosos colores. En ese sentido, Rodríguez-Rodríguez et al. (2012), manifiestan que se han registrado 230 especies entre plantas espermatofitas y criptógamas esta base de datos incluye cinco especies cuya distribución está limitada a las lomas del cerro Campana. Entre los restos precolombinos se observa la muralla Chimú, según Valladares (2012) no es la única muestra puesto que en toda el área se encuentran remanentes. En efecto, la Resolución Viceministerial N°069-2015-VMPCIC-MC, clasifica el recurso como Paisaje Arqueológico “Cerro Campana” y establece que los Monumentos Arqueológicos Prehispánicos son bienes inmuebles que constituyen evidencia de actividad humana prehispánica con fines de registro, delimitación, investigación, protección, conservación y gestión. Por tanto, es urgente conservarla y llevar a cabo estudios arqueológicos para conocer costumbres y ritos tradicionales de esa época, teniendo en cuenta la amenaza de las actividades antrópicas, resulta irónico que se encuentre en absoluto abandono.

El recurso carece de un plan de conservación, por tanto, el Comité de Gestión tiene la misión de elaborar un instrumento que incorpore técnicas de planificación y gestión ambiental. Garantizando la integridad funcional del área, como base del desarrollo del turismo sostenible (Declaración de Galápagos, 2002), la fortaleza de este concepto según Bertoni (2009) radica en que la definición integra conservación y uso; presentando un abordaje integral a fin de proyectar la conservación y uso sostenible de los recursos naturales. Para tal efecto y de común acuerdo con las autoridades de las comunidades aledañas, se precisará el tipo de servicio que los pobladores proveerán a los visitantes y como se beneficiarán del desarrollo del turismo en la zona. Así mismo Valderrama (2015), señala que es necesario planificar la ubicación de infraestructura apropiada cuyo diseño proteja tanto al ambiente como la seguridad del paisaje.

5. Conclusiones

La implementación del sendero favorecerá la concientización del cuidado del ecosistema y al mismo tiempo su aprovechamiento generando empleo e ingresos en las comunidades aledañas con mínimo impacto. El ACP lomas del cerro Campana cuenta con el potencial

para implementar el sendero interpretativo, queda a criterio del Comité de Gestión concretar la propuesta.

6. Agradecimientos

Al Instituto de Investigación de la Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI y al Dr. César Medina Tafur docente de la Universidad Nacional de Trujillo.

7. Contribución de los autores

María Pilar Ruiz Santillán: concepción y diseño del estudio, adquisición de datos, análisis y la interpretación de los datos.

Freddy Rogger Mejía Coico: adquisición y análisis de datos y revisión crítica del contenido intelectual.

Janet Gonzales Valdivia: revisión crítica del contenido intelectual y aprobación definitiva de la versión que se presenta.

7. Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de interés.

8. Referencias Bibliográficas

Bertoni, M. (2009). Turismo sostenible: su interpretación y alcance operativo. *Revista Colombiana de Geografía* 17, 155-163.

Bussmann, R. & Sharon, D. (2015). Plantas medicinales de los Andes y la Amazonia. La Flora mágica y medicinal del Norte del Perú. GRAFICART SR Trujillo. <https://docplayer.es/49414724-Plantas-medicinales-de-los-andes-y-la.html>.

Chávez, D. & Quiroga, Y. (2017). Propuesta de un Sendero Interpretativo Ambiental en el Agroparque los soches, finca El Bosque. [Tesis para título, Universidad Agustiniana. Bogotá Colombia].

Declaración de Galápagos. (2002). Cumbre de Autoridades de Turismo y Ambiente de Ibero América y el Caribe. Galápagos 30, 31 de mayo 2002. https://www.sica.int/busqueda/busqueda_archivo.aspx?Archivo=decl_8007_2_06042006.htm

Ferreira, R. (1983). Los tipos de vegetación de la costa peruana. *Anales Jard. Bot. Madrid* 40(1): 241-256.

Lazo, C. & Arróspide, G. (2011). Guías técnicas de proyectos de ecoturismo. Guía de Interpretación del Patrimonio Natural y Cultural. Ministerio de Comercio Exterior y Turismo. PROYECTO PERUBIODIVERSO (PBD). <https://www.mincetur.gob.pe/wp-content/uploads/documentos/turismo/consultorias/directoriosManuales/Guias-Interpretacion-Patrimonio-Cultural.pdf>

Lassalle, M. & Gresa, P. (2017). Programas de educación ambiental. Editorial Síntesis.

León, B., Young, K. y Cano, A. (1996). Observaciones sobre la flora

vascular de la costa central del Perú. *Arnaldoa* 4 (1): 67-85.

León, B., Cano, A. & Young, K. (2002). Los helechos de las lomas costeras del Perú. *Arnaldoa* 9(2): 7-41.

Ministerio de Comercio Exterior y Turismo (MINCETUR). (2018). Manual para la elaboración y actualización del inventario de recursos turísticos. Impresiones & Publicidad Vizerza S.A.C. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/401761/Manual_para_la_Elaboracion_y_actualizacion_del_inventario_de_recursos_turisticos.pdf

Mostacero, J., Mejía, F., Zelada, W. & Medina, C. (2007). Biogeografía del Perú. Instituto Pacífico S.A.C.

Organización Mundial del Turismo (OMT) y Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) (1995). Conferencia Mundial del Turismo Sostenible Carta del Turismo Sostenible. Realizada en Lanzarote, Islas Canarias, España, en abril de 1995. <https://www.entornoturistico.com/wp-content/uploads/2017/11/Carta-del-Turismo-Sostenible-Lanzarote-Espana-CC%83a-1995.pdf>

Perú, Congreso de la República. (2013). Ley N° 30100, 10 de octubre, declara de interés nacional y necesidad pública la protección de la biodiversidad y del patrimonio cultural del Cerro Campana, en el distrito de Huanchaco, provincia de Trujillo, departamento de La Libertad. *Diario Oficial El Peruano* 31 octubre 2013. <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/ley-y-que-declara-de-interes-nacional-y-necesidad-publica-la-p-ley-n-30100-1008079-1/>

Perú, Ministerio de Cultura. (2015). Resolución Viceministerial N°069-2015-VMPCIC-MC, 3 de junio, modifica el artículo 1° de la Resolución Directoral Nacional N° 676/INC de fecha 20 de mayo de 2007, en el extremo que se refiere a la clasificación como "Sitio Arqueológico Cerro Campana", el cual debe ser consignado como "Paisaje Arqueológico Cerro Campana". <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/209600/rvm069.pdf>

Perú, Ministerio del Ambiente (2016). Resolución Ministerial N° 192-2016-MINAM, 26 de julio, reconoce Área de Conservación Privada Lomas del Cerro Campana, ubicada en el departamento de La Libertad. *Diario Oficial El Peruano* <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/reconocimiento-area-de-conservacion-privada-lomas-del-cerro-campa-resolucion-ministerial-no-192-2016-minam-1409551-3/>

Perú, Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2018). Resolución de Dirección Ejecutiva N°263-2018-MINAGRI-SERFOR-DE, 21 de noviembre, aprueba los lineamientos para la elaboración de declaración de manejo de concesiones para ecoturismo. *Diario Oficial El Peruano* separata especial Normas Legales. 22 noviembre 2018. <https://elperuano.pe/NormasElperuano/2018/11/22/1715099-1/1715099-1.htm>

Pérez, R. (2020). Los convenios internacionales y la promoción internacional del turismo sostenible. *Anuario Español de Derecho Internacional* 16:105-157.


Pollack, L., Rodríguez, E., Leiva, S., Alvítez, E., Briceño, J. & Gayoso, G. (2020) Amenazas y desastres antrópicos frecuentes en el Área de Conservación Privada (ACP) Lomas Cerro Campana (provincias Trujillo y Ascope, región La Libertad, Perú). *Arnaldoa* 27(1): e53-e63.

Rodríguez-Rodríguez, E., Liza, V., Martínez, B., Pollack, L., Leiva, S., Zapata, M. & Mora, M. (2012). Loma el cerro Campana,

- Patrimonio natural y cultural de la región La Libertad. Pueblo cont. 23(2): 330 – 336.
- Sandoval, E. (2013). Ecoturismo Operación Técnica y Gestión Ambiental. Ed. Trillas.
- Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP). (2009). Plan Director de las Áreas Naturales Protegidas (Estrategia Nacional). https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/d.s.016-plan_director.pdf
- Universidad Nacional de Trujillo (2016). Ficha técnica para la propuesta de reconocimiento del Área de Conservación Privada “Lomas del Cerro Campana” Naturaleza y Cultura Internacional.
- Valderrama, E. (2015). Guía para la implementación de Senderos Interpretativos en áreas rurales. [Tesis para título, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Colombia].
- Valladares, P. (2012). Evidencia cultural en el cerro Campana. Pueblo cont. 23(2): 272 – 291.
- United Nations World Trade Organization (UNWTO). (s.f.) El turismo en la Agenda 2030. <https://www.unwto.org/es/turismo-agenda-2030>

ANEXO:

Anexo 1. Ficha de Registro del Recurso Turístico

Nombre del Recurso	Área de Conservación Privada Lomas del Cerro Campana				
Ubicación	La Libertad	Trujillo	El Milagro	Carretera Panamericana Norte Km 576	
Datos de Georreferencia	Latitud 7°58'30" S		Longitud 79°06'30" W		UTM: 708509.5 9117988.3
Clasificación Recurso	Sitio Natural		Montaña		Cerro
Creación	Año de creación: Resolución Directoral N°24-2016-SERNANP-DDE Ley 30100: Ley que declara de interés nacional y necesidad pública la protección de la biodiversidad y del patrimonio cultural del cerro Campana en el distrito de Huanchaco provincia de Trujillo departamento de La Libertad.				
Fotografía noviembre 2019					
Ruta de acceso x tramo	UNT-km 576	Terrestre	Bus privado	Via asfaltada	10 km/15 min
	Ovalo Mochica – km 576 PN	Terrestre	Transporte público	Via asfaltada	6 km/10 min
	Km 576 – base del Cerro Campana	Terrestre	A pie	Trocha	4 km/30 min
	Base del Cerro Campana – letrero ACP	Terrestre	A pie	Trocha	1,8 km/25 min
	Letrero ACP – Cueva de don Pablito	Terrestre	A pie	Trocha	5 km/50 min
Tipo de ingreso	No hay condiciones para el ingreso se recomienda tener la orientación del Comité de Gestión del ACP Lomas del Cerro Campana - Universidad Nacional de Trujillo. El ingreso y salida del recurso debe ser durante el día				
Época propicia para la visita al recurso	Todo el año	En época de "lomas" junio-setiembre			
Actividades turísticas que se pueden realizar	Observación de naturaleza	Aves, mamíferos,	Insectos	Flora	Paisaje
Deporte de aventura	Caminata		Trekking		
Otros	Investigación básica	Investigación + desarrollo + innovación	Safari fotográfico	Filmación	Observación <i>in situ</i> de DB



ETIOLOGÍA DE INFECCIONES URINARIAS Y PREVALENCIA DE *Escherichia coli* PRODUCTORA DE BETALACTAMASAS DE ESPECTRO EXTENDIDO Y CARBAPENEMASAS

ETIOLOGY OF URINARY INFECTIONS AND PREVALENCE OF *Escherichia coli*, PRODUCER OF EXTENDED SPECTRUM BETALACTAMASES AND CARBAPENEMASES

Sharon Díaz-Velásquez¹, Karem Castañeda-Torres¹, Cinthya Santa Cruz - López^{2*}, Fransk Carrasco - Solano¹, Mario Moreno-Mantilla¹


¹ Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Calle Juan XXIII N° 391 - Ciudad Universitaria, Lambayeque, Perú.

² Facultad de Tecnología Médica, Universidad Nacional de Jaén, Jr. Cuzco S/N - Ciudad Universitaria, Jaén, Cajamarca, Perú.


Sharon Díaz-Velásquez:

 <https://orcid.org/0000-0002-5438-181X>


Karem Castañeda-Torres:

 <https://orcid.org/0000-0003-2251-4021>


Cinthya Santa Cruz-López:

 <https://orcid.org/0000-0002-7352-058X>

Fransk Carrasco-Solano:

 <https://orcid.org/0000-0002-9526-7116>

Mario Moreno-Mantilla:

 <https://orcid.org/0000-0003-2559-0759>

Artículo original

Recibido: 09 de septiembre 2021

Aceptado: 17 de noviembre 2021

Resumen

Las infecciones ocasionadas por bacterias resistentes a múltiples antibióticos son de preocupación mundial. Por lo que, la investigación determinó la etiología de infecciones urinarias y la prevalencia de *Escherichia coli* productora de betalactamasas de espectro extendido y carbapenemasas en pacientes atendidos en la ciudad de Chiclayo, durante mayo a diciembre del 2018. Se trató de un estudio descriptivo, transversal y prospectivo con diseño no experimental. La población estuvo conformada por 201 pacientes con sospecha de infección urinaria. Se incluyeron muestras de orina de pacientes de ambos sexos atendidos en dos laboratorios clínicos privados. El aislamiento e identificación de bacterias causantes de infecciones urinarias se realizó en Agar Mac Conkey y CLED, seguido de la identificación bioquímica y determinación de susceptibilidad antibiótica in vitro utilizando el método de disco difusión en agar. Para la detección fenotípica de cepas de *E. coli* productoras de betalactamasas de espectro extendido (BLEE) y carbapenemasas se emplearon los métodos de Jarlier y BLUE CARB, respectivamente. El patógeno bacteriano más frecuente fue *E. coli* (57,71%), seguido de *Staphylococcus coagulasa negativa* (13,93%) y *Klebsiella* sp. (8,46%). Se observó mayor resistencia a la ampicilina, amoxicilina-ácido clavulánico y norfloxacino. El 55,17% de cepas de *E. coli* aisladas presentó resistencia a los antibióticos. El 68,75% de las cepas de *E. coli* produjeron BLEE y el 31,25% carbapenemasas. En conclusión, la bacteria más aislada de infecciones urinarias fue *E. coli*, determinándose una alta prevalencia de cepas productoras de BLEE y carbapenemasas con mayor frecuencia en mujeres entre 39 y 46 años.

Palabras clave: Betalactamasas, carbapenémicos, infección por *Escherichia coli*, resistencia a los antibióticos, tracto urinario.

Abstract

Infections caused by bacteria resistant to multiple antibiotics are of worldwide concern. Therefore, the research determined the etiology of urinary tract infections and the prevalence of *Escherichia coli* producer of extended-spectrum beta-lactamase-producing and carbapenemases in patients treated in the city of Chiclayo, during May to December 2018. This was a descriptive, cross-sectional, prospective study with non-experimental design. The population consisted of 201 patients with suspected urinary tract infection. Urine samples from patients of both sexes attended in two private clinical laboratories were included. The isolation and identification of bacteria causing urinary tract infections was performed on Mac Conkey and CLED Agar, followed by biochemical identification and determination of antibiotic susceptibility in vitro using the agar diffusion disc method. For phenotypic detection of extended-spectrum beta-lactamase (BLEE) and carbapenemase-producing *E. coli* strains, the Jarlier and BLUE CARB methods were used, respectively. The most frequent bacterial pathogen was *E. coli* (57.71%), followed by coagulase-negative *Staphylococcus* (13.93%) and *Klebsiella* sp. (8.46%). Greater resistance was observed to ampicillin, amoxicillin-clavulanic acid and norfloxacin. Resistance to antibiotics was observed in 55.17% of the isolated *E. coli* strains. A total of 68.75% of the *E. coli* strains produced BLEE and 31.25% carbapenemases. In conclusion, *E. coli* was the bacterium most frequently isolated from urinary tract infections, with a high prevalence of BLEE and carbapenemase-producing strains, with a higher frequency in women between 39 and 46 years of age.

Keywords: Antibiotic resistance, beta-lactamases, carbapenems, *Escherichia coli* infection, urinary tract.

* Autor para correspondencia: E. mail: cisantacruz@gmail.com

DOI: <http://dx.doi.org/10.17268/rebiol.2021.41.02.03>

Citar como:

Díaz-Velásquez, S., Castañeda-Torres, S., Cruz-López, C., Carrasco-Solano, F. & Moreno-Mantilla, M. 2021. Etiología de infecciones urinarias y prevalencia de *Escherichia coli* productora de betalactamasas de espectro extendido y carbapenemasas. REBIOL, 41(2):179-186.



1. Introducción

Las infecciones ocasionadas por bacterias multirresistentes a los antibióticos son de preocupación mundial. El riesgo de morbimortalidad es hasta tres veces más que con infecciones originadas por bacterias sensibles (Saldarriaga et al., 2015). Entre las más frecuentes se encuentran las infecciones del tracto urinario (ITU). Anualmente se presentan entre 2 a 3 nuevos casos de ITU por cada 100 individuos alrededor del mundo (Flores-Mireles et al., 2015), generando un alto impacto sobre la salud humana (Quiñones et al., 2020).

Las bacterias que ocasionan infecciones urinarias, generalmente forman parte de la microbiota intestinal. Los factores de virulencia que poseen les permiten adherirse, colonizar y migrar al tracto urinario (Valdevenito & Álvarez, 2018). *Escherichia coli* es la especie bacteriana asociada a más del 90% de infecciones urinarias no complicadas, siendo el germen más aislado en pacientes ambulatorios (Echevarría-Zarate, 2006).

La resistencia de esta enterobacteria a múltiples antibióticos dificulta la recuperación del paciente e incrementa los costos sanitarios, ya que se requiere mayor tiempo de hospitalización (Quiñones et al., 2020). *E. coli* utiliza diversos mecanismos, uno de los más importantes es la producción de betalactamasas de espectro extendido (BLEE) (Flores-Mireles et al., 2015; Alarcón et al., 2020). Asimismo, posee gran capacidad para adquirir genes de resistencia a carbapenemasas, quinolonas mediadas por plásmidos, metilasas de ARNr 16S y genes *mcr* (Poirel et al., 2018).

Las bacterias que producen BLEE son capaces de romper el anillo betalactámico. Además, inhiben el mecanismo de acción de antimicrobianos como las penicilinas, aztreonam y cefalosporinas, incluso las de tercera y cuarta generación (excepto las cefamicinas) (Astocondor-Salazar, 2018). Mientras que, las especies productoras de carbapenemasas inactivan a los antibióticos carbapenémicos, que son de gran utilidad para tratar infecciones por bacterias Gram negativas productoras de BLEE. Sumado a ello pueden afectar a los inhibidores de las enzimas betalactamasas (Rodríguez et al., 2018; Quiñones et al., 2020).

Estos mecanismos de resistencia son frecuentes tanto en el ámbito hospitalario como comunitario. En el ambiente hospitalario pueden aparecer por la estancia prolongada de los pacientes, utilización de métodos invasivos y terapia

de amplio espectro. Mientras que, en el entorno comunitario se producen principalmente por el uso masivo e inadecuado de los antibióticos (González et al., 2019; Losada et al., 2020). Al respecto, un estudio realizado en el hospital Cayetano Heredia (Perú) evidenció una alta frecuencia *E. coli* productora de BLEE (40,85%) en pacientes ambulatorios, siendo el uso previo de antibióticos, el factor más significativo (Castillo-Tokumori et al., 2017).

Es así que el diagnóstico oportuno, identificación y patrón de susceptibilidad de los uropatógenos es primordial para un tratamiento y seguimiento adecuado de los pacientes. De modo que se eviten fracasos del tratamiento y se originen cuadros clínicos de mayor gravedad. Ante ello, se planteó como objetivo determinar la etiología de infecciones urinarias y la prevalencia de *Escherichia coli* productora de betalactamasas de espectro extendido y carbapenemasas en pacientes atendidos en la ciudad de Chiclayo, durante mayo a diciembre del 2018.

2. Materiales y Métodos

Estudio descriptivo, transversal y prospectivo con diseño no experimental.

Población y muestra

La población estuvo conformada por 201 pacientes ambulatorios con diagnóstico presuntivo de infección urinaria. Los pacientes fueron atendidos en los laboratorios clínicos privados "Genmédica" y "Norlab" ubicados en el distrito de Chiclayo, provincia Chiclayo, departamento Lambayeque, Perú. Se incluyeron muestras de orina provenientes de pacientes de ambos sexos y que fueron atendidos entre los meses de mayo a diciembre del 2018.

Aislamiento, identificación y susceptibilidad antibiótica

Para el aislamiento e identificación de los patógenos bacterianos se emplearon medios de cultivo como el Agar Mac Conkey y el agar cistina-lactosa deficiente en electrolitos (CLED). Además, se utilizaron medios bioquímicos como el Citrato, TSI, LIA, INDOL, caldo RM-VP (marca Merck). La identificación de *Staphylococcus* se realizó mediante tinción Gram, prueba de catalasa, oxidasa y coagulasa.

La susceptibilidad antibiótica *in vitro* se determinó por el método de disco difusión en agar. Se emplearon antibióticos como la amikacina, ampicilina, imipenem, ciprofloxacino, norfloxacino, ácido nalidíxico, cefotaxima,

ceftriaxona, aztreonam, ceftazidima, amoxicilina-ácido clavulánico (Calderón et al., 2002).

Detección fenotípica de *E. coli* productoras de BLEE y Carbapenemasas

La presencia de *E. coli* productora de betalactamasas de espectro extendido se determinó con el método de Jarlier (Calderón et al., 2002). Los discos utilizados fueron cefotaxima (30 ug) y ceftazidima (30 ug) y aztreonam (30 ug), ceftriaxona (30 ug) y amoxicilina/ácido clavulánico (20/10 ug). La prueba se consideró positiva al observarse efecto sinérgico entre la amoxicilina/ácido clavulánico y los discos de cefotaxima, ceftriaxona, ceftazidima y aztreonam, semejante a la "cola de un pez".

La detección fenotípica de *E. coli* productora de carbapenemasas se realizó mediante la prueba de BLUE CARB (Malbrán, 2014). Se consideró la prueba como positiva al observar viraje de color (amarillo o verde) en el tubo que contenía la solución A, imipenem y la cepa en estudio respecto a un control negativo de color azul o verde.

Instrumento de recolección de datos

Se empleó como instrumento una ficha de recolección elaborada para el estudio. Se contó con la autorización de los laboratorios "Genmédica" y "Norlab". Además, se mantuvo estricta confidencialidad de los datos de los pacientes y solo se utilizaron con fines de investigación, de acuerdo a lo establecido en la Declaración de Helsinki.

Análisis estadístico de los datos

Los resultados fueron procesados con el programa Microsoft Office Excel® 2016 y Minitab® 19 para Windows® versión 8. Se utilizaron medidas de estadística descriptiva como las frecuencias relativas, absolutas y porcentajes.

3. Resultados

Se analizaron 201 muestras de orina de pacientes atendidos en dos laboratorios clínicos privados de la ciudad de Chiclayo. Las especies bacterianas más prevalentes fueron la *E. coli* (57,71%), *Staphylococcus coagulasa negativa* (13,93%), *Klebsiella* sp. (8,46%), *Proteus* sp. (6,97%) y *Enterobacter* sp. (5,47%) (figura 1).

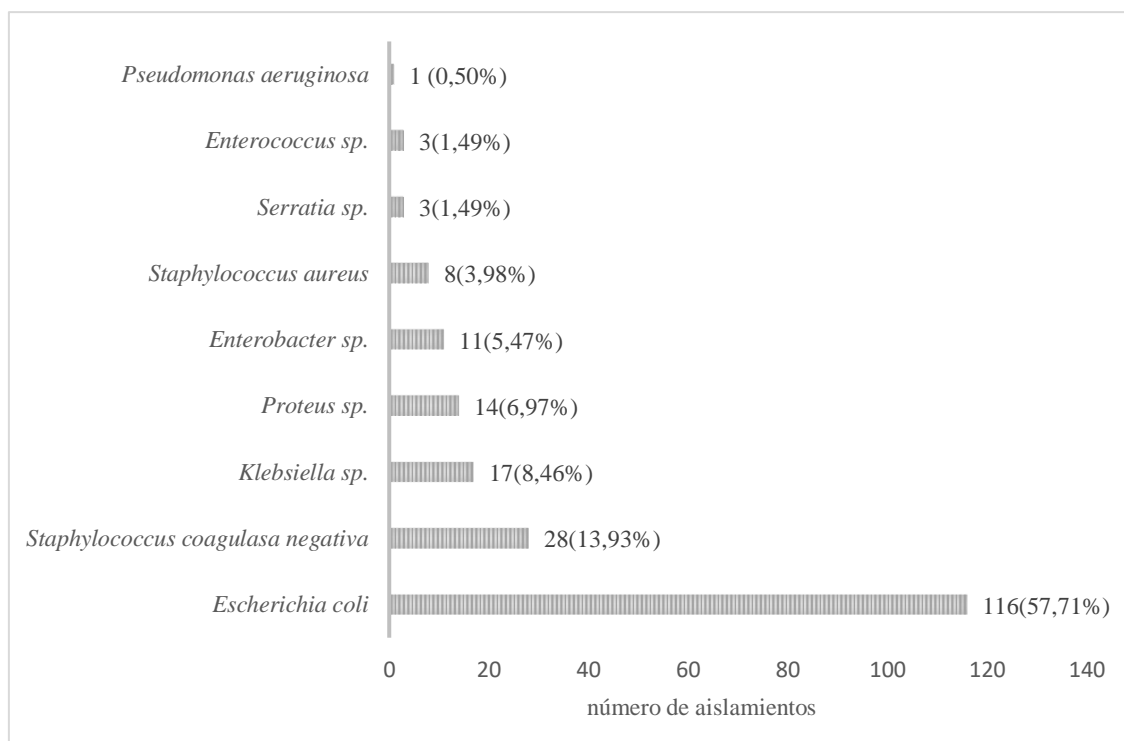


Figura 1. Especies bacterianas aisladas de pacientes ambulatorios con infecciones urinarias.

En la tabla 1, se reporta la susceptibilidad antibiótica de las bacterias aisladas. Estos patógenos presentaron mayor

sensibilidad a la amikacina (79,60%), seguido de cefotaxima (71,64%), ceftazidima (69,15%), ceftriaxona (67,16%) y

ciprofloxacino (62,69%). Por otro lado, se evidencia mayor resistencia a la ampicilina (39,80%), amoxicilina-ácido clavulánico (34,83%) y norfloxacino (25,37%).

Tabla 1. Susceptibilidad antibiótica de las bacterias aisladas de pacientes ambulatorios con infecciones urinarias.

Antibióticos	Susceptibilidad antibiótica							
	Sensible		Intermedio		Resistente		Total	
	N	%	N	%	N	%	N	%
Ceftriaxona	135	67,16	36	17,91	30	14,93	201	100,00
Ciprofloxacino	126	62,69	39	19,40	36	17,91	201	100,00
Ampicilina	86	42,79	35	17,41	80	39,80	201	100,00
Norfloxacino	106	52,74	44	21,89	51	25,37	201	100,00
Amoxicilina - ácido Clavulánico	96	47,76	35	17,41	70	34,83	201	100,00
Amikacina	160	79,60	27	13,43	14	6,97	201	100,00
Imepenen	129	64,18	41	20,40	31	15,42	201	100,00
Ácido Nalidíxico	99	49,25	54	26,87	48	23,88	201	100,00
Ceftazidima	139	69,15	33	16,42	29	14,43	201	100,00
Aztreonam	119	59,20	45	22,39	37	18,41	201	100,00
Cefotaxima	144	71,64	31	15,42	26	12,94	201	100,00

En la figura 2, se evidencia que el 55,17% de cepas de *E. coli* aisladas de pacientes ambulatorios con infecciones urinarias presentó resistencia a diversos antibióticos.

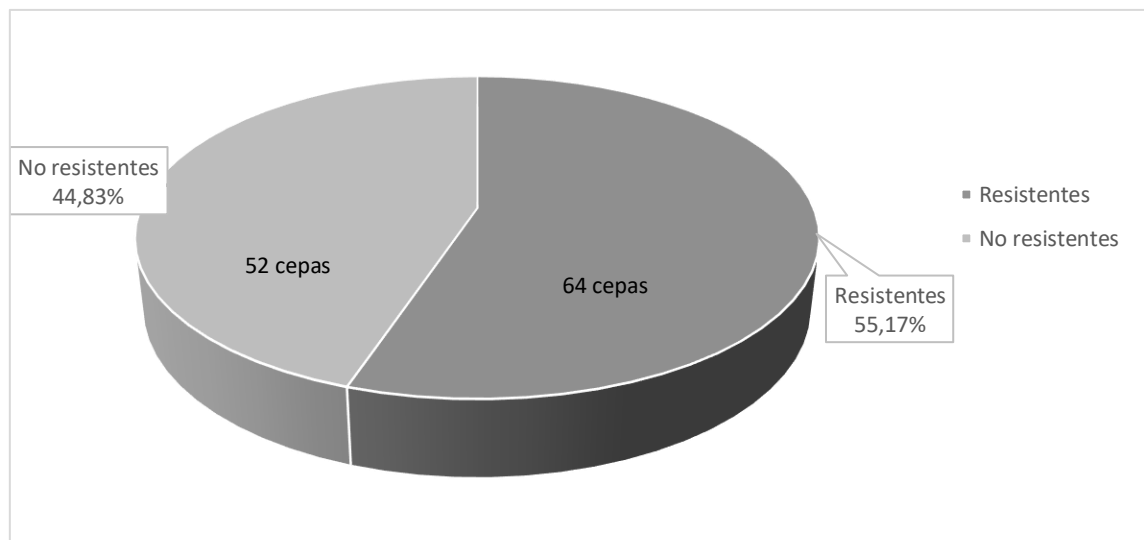


Figura 2. Resistencia antibiótica de cepas de *E. coli* aisladas de pacientes ambulatorios con infecciones urinarias.

La tabla 2 muestra que 68,75% de cepas de *E. coli* producían betalactamasas de espectro extendido y el 31,25% carbapenemasas. Además, en las mujeres se aisló

mayor cantidad de cepas productoras de BLEE y carbapenemasas (79,69%).

Tabla 2. Prevalencia de *E. coli* productora de betalactamasas y carbapenemasas según el género de pacientes ambulatorios con infección urinaria.

GÉNERO	BLEE		CARBAPENEMASAS		TOTAL	
	(+)		(+)			
	N	%	N	%		
Masculino	9	14,06	4	6,25	13	20,31
Femenino	35	54,69	16	25,00	51	79,69
Total	44	68,75	20	31,25	64	100,00

Los pacientes con edades comprendidas entre 39 a 46 años presentaron mayor prevalencia de infecciones urinarias ocasionadas por *E. coli* productoras de betalactamasas de espectro extendido (23,44%) y

carbapenemasas (7,81%). Así también, en el grupo etario de 47 a 54 años se observó una importante prevalencia de estas enzimas (23,45%) (tabla 3).

Tabla 3. Prevalencia de *E. coli* productoras de betalactamasas de espectro extendido y carbapenemasas aisladas según el grupo etario de pacientes ambulatorios con infecciones urinarias.

Grupo etario	BLEE		Carbapenemasas		TOTAL	
	(+)		(+)			
	N	%	N	%	N	%
15 – 22 años	2	3,13	1	1,56	3	4,69
23 – 30 años	4	6,25	1	1,56	5	7,81
31 – 38 años	8	12,50	5	7,81	13	20,31
39 – 46 años	15	23,44	5	7,81	20	31,25
47 – 54 años	9	14,06	6	9,38	15	23,45
55 - 62 años	6	9,38	2	3,13	8	12,50
TOTAL	44	68,75	20	31,25	64	100,00

4. Discusión

En el estudio se evaluaron 201 muestras de orina de pacientes atendidos en dos laboratorios privados de la ciudad de Chiclayo (Perú). Los patógenos bacterianos aislados con mayor frecuencia fueron *E. coli* (57,71%), *Staphylococcus* coagulasa negativa (13,93%) y *Klebsiella* sp. (8,46%). Estos resultados guardan relación con los obtenidos Davila-Bellodas et al. (2018), quienes reportaron que *E. coli* (43,82%) y *Staphylococcus* coagulasa negativa (10,67%) fueron los uropatógenos más aislados en pacientes ambulatorios atendidos en Chiclayo. Asimismo, otros estudios tanto locales como internacionales encontraron que las especies bacterianas más aisladas en pacientes con infección urinaria fueron *Escherichia coli*,

Klebsiella pneumoniae y *Klebsiella* sp. (Morales-Espinosa et al., 2020; Miranda et al., 2019; Castrillón et al., 2019).

Al evaluar la susceptibilidad antibiótica de los gérmenes aislados se observó mayor sensibilidad a la amikacina, cefotaxima, ceftazidima, ceftriaxona y ciprofloxacino. Mientras que, mostraron importante resistencia a la ampicilina (39,80%), amoxicilina-ácido clavulánico (34,83%) y norfloxacino (25,37%) (Tabla 1). Resultados similares reportaron diversos estudios realizados en México, Perú y Colombia donde se evidenció alta sensibilidad frente a la amikacina (87,7%-100,0%) y significativa resistencia a la ampicilina (72,6-74,1%) (Morales-Espinosa et al., 2020; Miranda et al., 2019; Castrillón et al., 2019).

A diferencia de lo encontrado en esta investigación, Pacherrres-Bustamante et al. (2019) demostraron mayor resistencia antibiótica al ciprofloxacino (78,60%). Dicho

estudio identificó bacterias aisladas de pacientes en unidad de cuidados intensivos de un hospital del norte peruano. Esto se explicaría por qué muchas de las especies bacterianas aisladas por dichos autores, ya han adquirido resistencia a los fármacos empleados convencionalmente. Para el tratamiento de una infección urinaria adquirida en la comunidad frecuentemente se prescriben antimicrobianos empíricamente. Sin embargo, la resistencia a estos fármacos incrementa constantemente y la tasa de efectividad del tratamiento ha decaído de forma significativa (Galindo-Méndez et al., 2018). Sumado a ello, *E. coli* es un patógeno bacteriano capaz de afectar a pacientes con respuesta inmune deficiente. Sus fimbrias permiten que se adhiera y colonice fácilmente el epitelio vaginal y uretral (Luna-Pineda et al., 2018).

La producción de BLEE puede conferir a las bacterias resistencia contra antibióticos como las penicilinas y cefalosporinas (primera, segunda y tercera generación) y a monobactámicos (aztreonam) (Urquiza et al., 2018). Son enzimas codificadas por genes que se encuentran en el cromosoma o plásmidos y pueden producirse de manera constitutiva o inducible (Sedighi et al., 2015).

Actualmente se han registrado más de 200 tipos de enzimas BLEE codificadas por los genes TEM, SHV y CTX-M. Las cepas productoras de BLEE también desarrollan resistencia al cloranfenicol, trimetoprim-sulfametoxazol, aminoglucósidos y quinolonas, lo que reduce significativamente las opciones de tratamiento disponibles (Cabrera et al., 2019; Sedighi et al., 2015). En el caso de la resistencia a las quinolonas se relaciona con genes que codifican la sobre expresión de bombas de eflujo como el gen MarA (García-Tello et al., 2014).

Asimismo, los genes que codifican la aparición de las carbapenemasas también se encuentran frecuentemente mediadas por plásmidos. Los patógenos que sintetizan estas enzimas presentan resistencia frente a todos los fármacos β -lactámicos. Además, algunos fármacos que podrían utilizarse para el tratamiento presentan alta toxicidad, elevando la mortalidad de los pacientes afectados. Sumado a ello ya se ha reportado resistencia a estos antimicrobianos (ceftazidima-avibactam) que sirven para combatir ciertos patógenos (Astocondor-Salazar, 2018).

En este estudio se encontró que el 55,17% de cepas de *E. coli* presentaron resistencia a diversos antibióticos. Además, el 68,75% de estas cepas eran productoras de

BLEE y un 31,25% productoras de carbapenemasas. Diversos estudios peruanos evidencian la elevada resistencia de *E. coli* productora de BLEE (Miranda et al., 2019; Castillo-Tokumori et al., 2018; Calle et al., 2017).

Respecto a las cepas productoras de carbapenemasas, un estudio realizado con cepas provenientes de 12 regiones del Perú durante el año 2019, determinó una prevalencia del 59,7%, de las cuales el 42,2% provenían de Enterobacteriaceae. En la región Lambayeque se presentó un 4,9% de aislamientos de carbapenemasas. Estos resultados evidencian la rápida diseminación de las cepas resistentes en el Perú. Sin embargo, solo se incluyeron cepas provenientes del MINSA (18,4%) y ES SALUD (81,6%), debido a la poca información reportada acerca de los pacientes ambulatorios (Mayta-Barrios et al., 2021).

Así también, una investigación realizada en la ciudad de Trujillo (Perú) reportó un 7% de carbapenemasas principalmente de clase A. Este resultado difiere con lo encontrado en esta investigación. En dicho estudio se evaluó menor cantidad de cepas de *E. coli* (76 cepas) y se incluyeron a pacientes atendidos en el Instituto Regional de Enfermedades Neoplásicas -IREN Norte (Gonzales et al., 2020).

Todo ello resulta un inconveniente para contar con una estadística actualizada que permita tener valores reales de este problema. Cabe señalar que muchos pacientes con infecciones urinarias no se atienden en hospitales o centros médicos, ya que optan por consultorios privados o automedicarse. Por lo que no existe un registro unificado de este tipo de infecciones, lo que dificulta realizar un adecuado seguimiento de las mismas.

En la tabla 2 se detalla que las infecciones del tracto urinario ocasionadas por *E. coli* productoras de BLEE (54,69%) y carbapenemasas (25,00%) fueron más prevalentes en las mujeres respecto a los varones. Estos resultados se asemejan a los obtenidos por Miranda et al. (2019), quienes realizaron un estudio empleando los urocultivos de pacientes geriátricos. Sin embargo, difieren de lo encontrado en otros estudios donde este tipo de infecciones ha sido asociado con mayor frecuencia al sexo masculino (Calle et al., 2017). Las infecciones más comunes en las mujeres son las urinarias, pero la tendencia se equilibra o se torna a favor de los varones en pacientes mayores de 50 años.

Asimismo, las cepas BLEE y carbapenemasas positivas se aislaron con mayor frecuencia en pacientes con edades

comprendidas entre 39 a 46 años (31,25%) y 47 a 54 años (23,45%), respectivamente. Un estudio que determinó que la infección urinaria por *E. coli* productoras de BLEE tienen relación directamente proporcional con la edad, siendo más recurrentes en individuos mayores de 45 años (Calle et al., 2017). Las infecciones urinarias pueden afectar a personas de cualquier edad y género; sin embargo, se vuelven más complicadas en edades más avanzadas. Además, por lo general estos pacientes ya han padecido anteriormente infecciones urinarias lo que facilita la aparición de cepas resistentes con mayor frecuencia. Entre las limitaciones del estudio es importante destacar que al no contarse con las historias clínicas de los pacientes no se consideraron datos importantes como el uso de antibióticos previo al examen de laboratorio. Además, no se cuenta con información acerca del padecimiento de infecciones recurrentes u otras patologías que pudieran haber enriquecido aún más los resultados de esta investigación. Sin embargo, los datos acerca de bacterias como *E. coli* y su capacidad para producir betalactamasas y carbapenémicos son de gran importancia para evitar la aparición de cepas cada vez más resistentes, ya que la vigilancia epidemiológica juega un rol clave en la lucha contra la resistencia antibiótica.

5. Conclusiones

En conclusión, la bacteria más aislada de infecciones urinarias fue *E. coli*, encontrándose alta prevalencia de cepas productoras de BLEE y carbapenemasas, lo que evidencia que estos microorganismos ya dejaron de ser exclusivos de unidades de cuidados intensivos y otros ambientes de riesgo hospitalario. Cada vez existe mayor evidencia de su presencia, además aparecen con mayor frecuencia cepas productoras de carbapenemasas que limitan aún más las opciones de tratamiento poniendo en riesgo la salud de los pacientes.

6. Contribución de los autores

SDV y KCT, participaron de la concepción y diseño del estudio, búsqueda bibliográfica, recolección de los datos. CSCL, participó de la búsqueda bibliográfica, análisis estadístico de los datos y elaboración del borrador del manuscrito y la revisión crítica del contenido intelectual.

FCS y MMM, participaron en la búsqueda bibliográfica, participó en la elaboración del borrador la revisión crítica del contenido intelectual.

Todos los autores aprobaron la versión final del manuscrito.

7. Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de interés.

8. Referencias Bibliográficas

- Alarcón, G., Allauca, M., Tapia, L., & Bastidas, T.M. (2020). Infección urinaria por *Escherichia coli* multirresistente. RECIMUNDO, 4(1), 99-107.
- Astocondor-Salazar, L. (2018). Betalactamasas: la evolución del problema. Revista Peruana De Investigación En Salud, 2(2), 42-49.
- Cabrera, L., Díaz, L., Díaz, S., Carrasco, A., & Ortiz, G. (2019). Multirresistencia de *Escherichia coli* y *Klebsiella pneumoniae* provenientes de pacientes con infección del tracto urinario adquirida en la comunidad. Rev Cubana Med Gen Integr, 35 (1), e814.
- Calderón, E., Yagui, M., & Sacsquispe, C. (2002). Manual de procedimientos para la prueba de sensibilidad antimicrobiana por el método de difusión disco. Lima: Instituto Nacional de Salud.
- Calle, A., Colqui, K., Rivera, D. & Cieza, J. Factores asociados a la presentación de infecciones urinarias por *Escherichia coli* productoras de betalactamasas de espectro extendido. (2017). Rev Med Hered, 28,142-149.
- Castillo-Tokumori, F., Irey-Salgado, C., & Málaga, G. (2017). Worrisome high frequency of extended-spectrum beta-lactamase-producing *Escherichia coli* in community-acquired urinary tract infections: a case-control study. Int J Infect Dis, 55, 16-19.
- Castrillón, J., Machado-Alba, J., Gómez, S., Gómez, M., Remolina, N., & Ríos, J.J. (2019). Etiología y perfil de resistencia antimicrobiana en pacientes con infección urinaria. Infectio, 23(1), 45-51.
- Davila-Bellodas, K., Cruz-Silva, R., Moreno-Mantilla, M., Carrasco-Solano, F., Arellano-Sánchez, C., Silva-García, M. & Lloclla-Gonzales, H. (2018). Etiología, susceptibilidad antibiótica y detección de betalactamasas en bacterias aisladas de ITU en pacientes atendidos en el Centro Médico Salud y Vida, Chiclayo. Revista Experiencia En Medicina Del Hospital Regional Lambayeque, 4(2), 61 - 66.
- Echevarría-Zarate, J., Sarmiento, E., & Osorio-Plenge, F. (2006). Infección del tracto urinario y manejo antibiótico. Acta Médica Peruana, 23(1), 26-31.
- Flores-Mireles, A., Walker, J., Caparon, M., & Hultgren, S. (2015). Urinary tract infections: epidemiology, mechanisms of infection and treatment options. Nat Rev Microbiol, 13(5), 269-284.
- Galindo-Méndez, M. (2018). Caracterización molecular y patrón de susceptibilidad antimicrobiana de *Escherichia coli* productora de β -lactamasas de espectro extendido en infección del tracto urinario adquirida en la comunidad. Revista chilena de infectología, 35(1), 29-35.
- García-Tello, A., Gimbernat, H., Redondo, C., Arana, D., Cacho, J., Angulo, J. (2014). Betalactamasas de espectro extendido en las infecciones del tracto urinario causadas por enterobacterias: aproximación a su conocimiento y pautas

- de actuación. *Actas Urol Esp.*, 38(10), 678-684.
- González, Y., Huayán, G., Zavaleta-Verde, D., Mercado, P., Castillo, R. (2020). Detección de genes de resistencia a carbapenémicos en *Escherichia coli* y *Klebsiella pneumoniae* aislados de un centro de salud de Trujillo – Perú. *REBIOL*, 40(2), 160–169.
- González, J., Maguiña, C., & González, F. (2019). La resistencia a los antibióticos: un problema muy serio. *Acta méd. Peru*, 36(2), 145-151.
- Losada, I., Barbeito, G., García-Garrote, F., Fernández-Pérez, B., Malvar A., & Hervada, X. (2020). Estudio de sensibilidad de *Escherichia coli* productores de infecciones del tracto urinario comunitarias en Galicia. Período: 2016-2017. *Atención Primaria*, 52(7), 462-468.
- Luna-Pineda, V., Ochoa, S., Cruz-Córdova, A., Cázares-Domínguez, V., Vélez-González, F., Hernández-Castro, R., & Xicohtencatl-Cortes, J. (2018). Infecciones del tracto urinario, inmunidad y vacunación. *Boletín médico del Hospital Infantil de México*, 75(2), 67-78.
- Malbrán, C. (2014). BLUE CARB-Detección rápida de carbapenemasas directo de placas de cultivo. Buenos Aires, INEI-ANLIS.
- Mayta-Barrios, M., Ramírez - Illescas, J., Pampa-Espinoza, L., & Yagui-Moscoco, M. (2021). Caracterización molecular de carbapenemasas en el Perú durante el 2019. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, 38(1), 113-118.
- Miranda, J., Pinto, J., Faustino, M., Sánchez-Jacinto, B., & Ramírez, F. (2019). Resistencia antimicrobiana de uropatógenos en adultos mayores de una clínica privada de Lima, Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, 36(1), 87-92.
- Morales-Espinosa, R., Contreras, I., Duran A., Olivares, A., Valencia, C., García, Y., & González-Pedraza A. (2020). Patterns of in vitro antimicrobial susceptibility of Gram-negative bacteria isolated from urinary tract infections in outpatients of a clinic in southern Ciudad de México. *Rev Clin Med Fam*, 13(2), 131-138.
- Pacherres-Bustamante, L., Aguilar-Gamboa, F., & Silva-Díaz, H. (2019). Frecuencia y características epidemiológicas de las bacterias productoras de betalactamasas de espectro extendido en la unidad de cuidados intensivos de un hospital del norte del Perú. *Revista Experiencia En Medicina Del Hospital Regional Lambayeque*, 5(2), 70-75.
- Poirel, L., Madec, J., Lupo, A., Schink, A., Kieffer, N., Nordmann, P., & Schwarz, S. (2018). Antimicrobial Resistance in *Escherichia coli*. *Microbiol Spectr*, 6(4), 1-27.
- Quiñones, D., Betancourt, Y., Carmona, Y., Pereda, N., Álvarez, S., Soe, M., & Kobayashi, N. (2020). *Escherichia coli* extraintestinal, resistencia antimicrobiana y producción de betalactamasas en aislados cubanos. *Revista Cubana de Medicina Tropical*, 72(3), e605.
- Rodríguez, J., Gutiérrez, B., & Machuca, I. (2018). Treatment of infections caused by extended spectrum-beta-lactamase-, AmpC- and carbapenemase producing Enterobacteriaceae. *Clin Microbiol Rev*, 31(2), e00079-17.
- Saldarriaga, E., Echeverri-Toro, L., & Ospina, S. (2015). Factores clínicos asociados a multiresistencia bacteriana en un hospital de cuarto nivel. *Infectio*, 19(4), 161-167.
- Sedighi, I., Arabestani, M., Rahimbakhsh, A., Karimitabar, Z., & Alikhani, M.Y. (2015). Dissemination of Extended-Spectrum β -Lactamases and Quinolone Resistance Genes among Clinical Isolates of Uropathogenic *Escherichia coli* in Children. *Jundishapur J Microbiol*, 8(7), 99-107.
- Urquiza, G., Arce, J., & Alanoca, G. (2018). Resistencia bacteriana por betalactamasas de espectro extendido: un problema creciente. *Rev. Méd. La Paz*, 24(2), 77-83.
- Valdevenito, J., & Álvarez D. (2018). Infección urinaria recurrente en la mujer. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 29(2), 222-231.






EFECTO DE LA ADICIÓN DE ROCA FOSFÓRICA Y ALFALFA EN EL CONTENIDO DE NITRÓGENO, FÓSFORO Y POTASIO DE TRES MUESTRAS DE BIOL

EFFECT OF THE ADDITION OF PHOSPHORIC ROCK AND ALFALFA ON THE CONTENT OF NITROGEN, PHOSPHORUS AND POTASSIUM OF THREE BIOL SAMPLES

Tany Yalú Azaña Colchado^{1*}; Ana Luisa Sánchez Ramos¹; José Manuel Villanueva Carlos¹

¹Facultad de Ciencias, Universidad Nacional del Santa, Perú. Av. Universitaria s/n. Ciudad Universitaria, Urbanización Bellamar, Nuevo Chimbote, Ancash, Perú.

Tany Azaña Colchado:
Ana Sánchez Ramos:
José Villanueva Carlos:

 <https://orcid.org/0000-0002-5309-8705>
 <https://orcid.org/0000-0003-3158-040X>
 <https://orcid.org/0000-0002-5056-0001>

Artículo original

Recibido: 24 de agosto 2021
Aceptado: 04 de noviembre 2021

Resumen

El presente trabajo evalúa el efecto de adicionar roca fosfórica y alfalfa en el proceso fermentativo de biol y su posterior contenido de nitrógeno, fósforo y potasio como nutrientes esenciales para el desarrollo y crecimiento foliar y radicular de las plantas. Para lo cual se usó un biodigestor por lote, donde se desarrolló el proceso fermentativo por un período de 90 días que fueron determinados por los valores de pH obtenidos por monitoreo constante, finalizado el proceso y obtenido el biol se procedió a realizar pruebas químicas para determinar la concentración de nitrógeno, fósforo y potasio en todas las muestras, obteniendo como resultado que el Tratamiento 3 (T3) que contenía alfalfa y roca fosfórica sobresalió en NPK con valores de 5,36% de nitrógeno, 0,63 mg/L de fósforo y 5,32 mg/L de potasio convirtiéndose en el biol óptimo para el uso en las plantas.

Palabras clave: Alfalfa, fósforo, nitrógeno, potasio, roca fosfórica.

Abstract

This work evaluates the effect of adding phosphoric rock and alfalfa in the fermentation process of biol and its subsequent content of nitrogen, phosphorus and potassium as essential nutrients for the development and foliar and root growth of plants. For which a batch biodigester was used, where the fermentation process was developed for a period of 90 days that were determined by the pH values obtained by constant monitoring, after the process was finished and the biol was obtained, chemical tests were carried out to determine the concentration of nitrogen, phosphorus and potassium in all the samples, obtaining as a result that Treatment 3 (T3) containing alfalfa and phosphoric rock excelled in NPK with values of 5.36% nitrogen, 0.63 mg/L of phosphorus and 5.32 mg/L of potassium becoming the optimal biol for use in plants.

Keywords: Alfalfa, nitrogen, potassium, phosphate rock, phosphorus.

* Autor para correspondencia: tany.azana@outlook.com

DOI: <http://dx.doi.org/10.17268/rebiol.2021.41.02.04>

Citar como:

Azaña, T., Sánchez A., & Villanueva J. 2021. Efecto de la adición de roca fosfórica y alfalfa en el contenido de nitrógeno, fósforo y potasio de tres muestras de biol. REBIOL, 41(2):187-194.



1. Introducción

La producción agrícola orgánica se ha convertido en la principal forma de reciclar residuos sólidos de origen vegetal y animal, por ser usados en la elaboración de compost, humus, bioles y otros (Hermann et al., 2011). Estos productos son obtenidos a través de procesos fermentativos aeróbicos o anaeróbicos según el tipo de bioabono que se requiera; puesto que, estudios previos han indicado que la aplicación de fertilizantes orgánicos cumplen con los requisitos de la agricultura sostenible y presentan ventajas sobre fertilizantes químicos (Guo et al., 2010). De estos procesos nace una alternativa de fertilización líquida llamada biol, que se ha desarrollado principalmente en países de América del Sur como una solución práctica y económica a los problemas agrícolas y ambientales (Winarso et al., 2016).

El biol, es un biofertilizante líquido obtenido por fermentación anaeróbica que estimula en las plantas la formación de raíces, crecimiento de flores, frutos y el desarrollo general de las mismas, que aplicado en pequeñas cantidades, promueve el desarrollo y proliferación de microorganismos que optimizan la estructura de los suelos y reduce las infecciones fúngicas y bacterianas (Fongaro et al., 2014). El proceso de elaboración de biol es realizado en ambientes anaeróbicos con el objetivo de promover el crecimiento de bacterias fermentativas que convierten los compuestos orgánicos simples producidos durante el proceso de hidrólisis en productos intermedios, principalmente ácidos orgánicos volátiles que dan lugar al incremento de la acidez del medio y por ende inhiben la presencia de microorganismos que inducen la putrefacción (Marín, 2015).

Durante el inicio fermentativo los nutrientes presentes en la materia orgánica serán aprovechados por las bacterias como el sustrato que da inicio al crecimiento, desarrollo y posterior degradación del mismo con el fin de obtener biofertilizante rico en contenido de nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio (Rojas, 2014). Esto últimos, indispensables para el desarrollo de las plantas y del aumento de las propiedades físico- químicas del suelo (Ning et al., 2017). Así también la calidad del biol está determinada por el tipo de materia orgánica usada en el proceso fermentativo, puesto que la carga de proteínas, carbohidratos y grasas presentes al ser transformadas en moléculas simples serán aprovechadas por las plantas (Feiz & Ammenberg, 2017).

Para llevar a cabo los procesos fermentativos es necesario de contenedores herméticos conocidos como biodigestores, que por su diseño dan las condiciones ambientales óptimas para la biotransformación de la materia orgánica en su interior (Ning et al., 2017). La materia orgánica empleada juega también un papel indispensable en este proceso puesto que determinará la calidad del biofertilizante (Feiz & Ammenberg, 2017) por esta razón se hace uso de excretas animales, desechos frutales y hojas secas con la finalidad de liberar los nutrientes que mejoren el desarrollo de las plantas.

Por lo antes mencionado y ante la posibilidad de obtener un biofertilizante (biol) con mayor biodisponibilidad de NPK, resulta importante realizar un estudio sobre la evaluación de la biodisponibilidad química de nutrientes asociada a la producción de biol enriquecido con roca fosfórica y alfalfa. Debido a que el uso de fertilizantes para el acondicionamiento de los suelos resulta costoso y muchas veces perjudicial para los suelos; además, que no todos los sustratos de origen natural se adaptan a los tipos de suelos existentes a causa de los diferentes valores pH y conductividad que presentan.

Por lo que la finalidad del presente trabajo fue determinar el efecto de la adición de roca fosfórica y alfalfa en el proceso fermentativo del biol y el contenido de nitrógeno, fósforo y potasio en las muestras de biol en estudio a través de análisis químicos que ayudaron a la conclusión del estudio.

2. Materiales y Métodos

Construcción del biodigestor

Tal y como se observa en la figura 1; se diseñaron biodigestores por lote, usando tanques de polietileno de 30 L de capacidad modificados y adaptados para el control durante el proceso fermentativo: en la parte inferior del tanque a 30 cm de altura de la base se efectuó un agujero de 2 cm de diámetro en el que se acopló un tubo PVC de ½ plg de 7 cm de longitud, el mismo que fue conectado por un extremo a una válvula de PVC de ½ plg para el muestreo y control del pH de la fracción líquida de la fermentación (biol). En la parte superior sobre la tapa del tanque se acoplaron dos tubos de PVC de ½ plg, el primero de 100 cm de longitud conectado en el centro de la tapa del tanque e introducido hacia el interior del mismo para agitar la mezcla de materia orgánica.



Figura 1. Biodigestores por lote, usados en el proceso fermentativo de la materia orgánica. Se observan los tratamientos en estudio, así como el control.

Preparación y adaptación de la materia orgánica

El acondicionamiento de la materia orgánica en el biodigestor, tal y como se indica en la tabla 1, se inició con la dilución de 18 kg de estiércol vacuno en 36 L de agua

alcanzando una relación 1:3 para lograr homogeneidad en la mezcla, de forma seguida se adicionó los restos frutales de mango, durazno y manzana previamente seccionados en partes de 1,5 cm de longitud aproximadamente para

una degradación rápida y eficiente; posteriormente se adicionaron roca fosfórica y alfalfa tal y como lo indica la tabla 1.

Tabla 1. Distribución del tipo de materia orgánica en Kg, de acuerdo a cada tratamiento en estudio.

TRATAMIENTO	MATERIA ORGÁNICA				
	Estiércol vacuno (Kg)	Residuos de fruta (Kg)	Agua (L)	Alfalfa (Kg)	Roca fosfórica (Kg)
Control	18	1	36	0	0
T1	15	1	36	3	0
T2	15	1	36	0	3
T3	12	1	36	3	3

Tiempo de retención y medida de pH

El tiempo de retención de la materia orgánica en el proceso fermentativo estuvo determinado por los valores de pH, es decir desde un pH ácido de inicio de fermentación hasta un pH neutro de fin de fermentación.

Determinación de la calidad química en muestras de biol

Determinación del contenido de fósforo

Las evaluaciones del contenido de fósforo se iniciaron con la purificación de las muestras de biol, para lo cual se tomaron 5 mL de cada muestra y por separado se colocaron en un matraz, se adicionó 4 g de carbón activado sobre las mismas y 100 mL de NaHCO₃ al 0,5 N, se dejó actuar por 5 min y se filtró usando papel Wattman N° 25, este proceso fue realizado dos veces para eliminar la mayor cantidad de impurezas presentes en las muestras (Harris, 2007).

Se tomó 1 mL del líquido resultante y se adicionó 5 mL de solución de molibdato de amonio y 1 mL de solución diluida de SnCl₂, se aforó a 25 mL con agua destilada y se dejó reposar durante 10 min, para finalmente realizar la lectura usando espectrofotómetro a una longitud de onda de 660 nm y se determinó la concentración de fósforo de acuerdo a la ecuación obtenida a partir de la curva de calibración previamente realizada.

Determinación del contenido de nitrógeno total

Se usaron 5 mL de las muestras biol (por cada tratamiento) y por separado se colocó en un matraz kjeldahl, se adicionó

3g de mezcla catalizadora más 4 mL de solución digestora, se homogeneizó la mezcla hasta lograr el aumento de temperatura y presenciar un viraje hacia un color verde; de forma seguida se adicionaron 10 mL de agua destilada, 12 mL de ácido sulfúrico (H₂SO₄) al 4% y 2 gotas de rojo fenol, así como 15 mL de solución concentrada de NaOH al 40%. Finalmente se tituló con HCl 0,05 N hasta que vire de azul a amarillo tomándose nota del volumen gastado. Para determinar el porcentaje de nitrógeno se usó la siguiente formula calculándose por el método volumétrico el porcentaje de nitrógeno (Olivares et al., 2012).

$$\%N = \frac{(Vm - Vb) \times NHCl \times 14 \times 100}{mg \text{ de muestra}}$$

Donde:

%N: Nitrógeno total

Vm: Volumen de HCl gastado en la muestra

Vb: Volumen de HCl gastado en el blanco

N: Normalidad de HCl

14: factor de conversión ácido-base

Determinación del contenido de potasio

Se usó el método de espectrofotometría de tipo UV-VIS usado por (Ramos et al., 2006), así como la determinación de curva de calibración. Se tomó 2,5 mL de cada tratamiento de biol y por separado, se agregó 25 mL de acetato de amonio 1N, la mezcla fue agitada por 10 min y

se dejó reposar por un período de 10 min, luego se filtraron las muestras usando papel Wattman N° 25; el líquido resultante constituyó el extracto de la muestra a partir del cual se realizaron las lecturas en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 780 nm. La concentración de potasio se determinó a partir de la curva de calibración realizada para el fósforo propia del autor.

3. Resultados

En la figura 2, se muestra el comportamiento del pH desde el inicio del proceso fermentativo de la materia orgánica hasta la conversión a biol. Se observa que los valores de pH al día 15 fueron ácidos y que progresivamente fueron estabilizándose a pH neutro, registrando valores de 7 a 7,12 tanto en la muestra control como en los tratamientos en estudio.

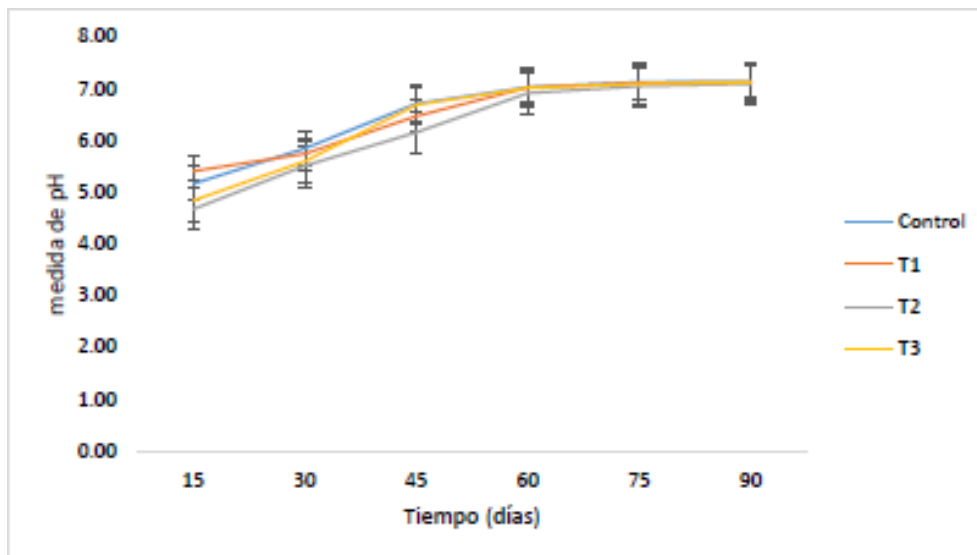


Figura 2. Monitoreo del comportamiento de pH en la muestra control y tratamientos durante los 90 días del proceso fermentativo de la materia orgánica hasta la obtención del biol. T1: tratamiento enriquecido con alfalfa, T2: tratamiento enriquecido con roca fosfórica, T3: enriquecido con alfalfa y roca fosfórica.

Por otro lado, en la figura 3, se muestran las variaciones de temperatura durante el proceso fermentativo como parte de parámetros ambientales bajo los cuales se llevó a cabo

el proceso, observando oscilaciones de temperatura entre los 17,1°C y los 22,8°C durante todo el tiempo de fermentación de la materia orgánica.

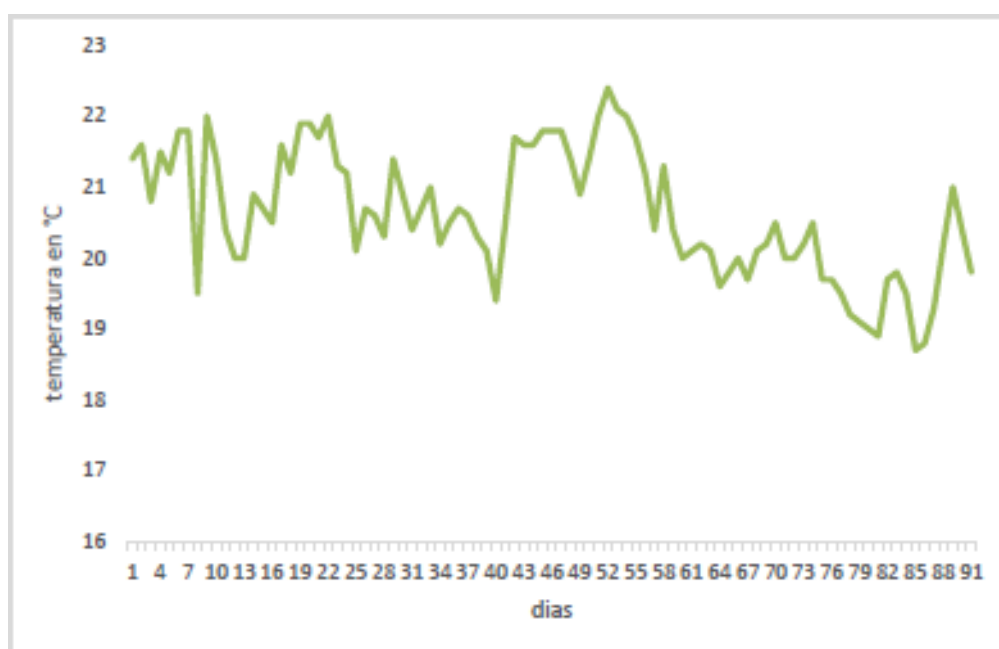


Figura 3. Variaciones de temperatura general en °C respecto a los 90 días del proceso fermentativo de la materia orgánica.

En la figura 4, los tratamientos T1 y T3 presentan mayores porcentajes de nitrógeno con 4,44 % y 5,36% respectivamente, la alfalfa estuvo presente en ambos

tratamientos como materia orgánica en el inicio de la fermentación, lo que indicaría los valores de nitrógeno elevados a diferencia de los tratamientos T2 y el control.

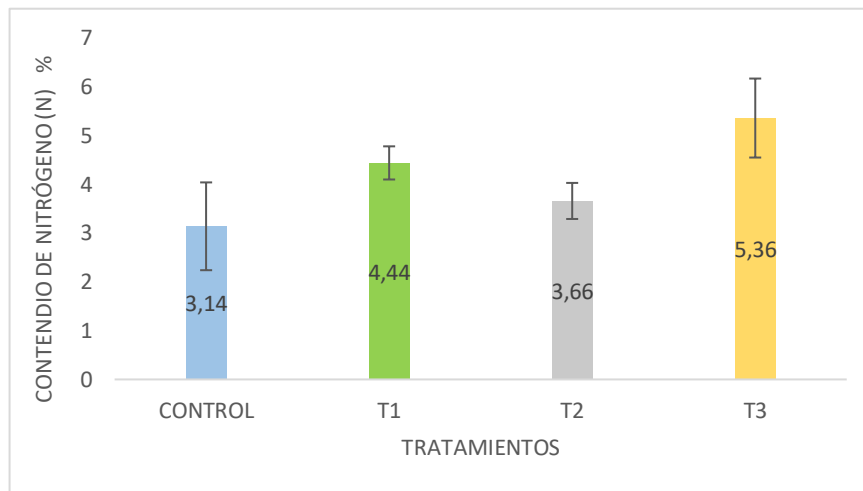


Figura 4. Contenido de nitrógeno en porcentaje (%) en las muestras de biol, provenientes del control y tratamientos 1, 2 y 3.

En la Figura 5, se observa la determinación del contenido de fósforo en mg/L en las muestras en estudio, siendo los tratamientos T2 y T3 con mayor contenido de nitrógeno con 0,62 mg/L y 0,63 mg/L respectivamente a

comparación del control y T1. Los tratamientos con mayor contenido de fósforo estuvieron enriquecidos con roca fosfórica como parte de la materia orgánica usado en el proceso de fermentación.

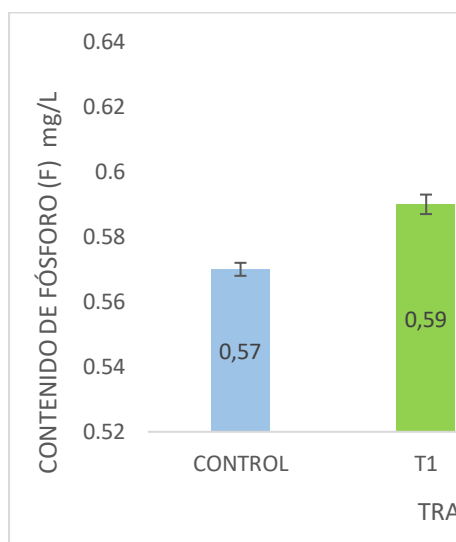


Figura 5. Contenido de fósforo en mg/L en las muestras de biol provenientes del control y tratamientos 1, 2 y 3.

Finalmente, en la figura 6, se observa el contenido de las muestras en estudio, siendo la muestra Control y el T3 las

que presentaron mayores contenidos de potasio con 4,78 mg/L y 5,37 mg/L respectivamente.

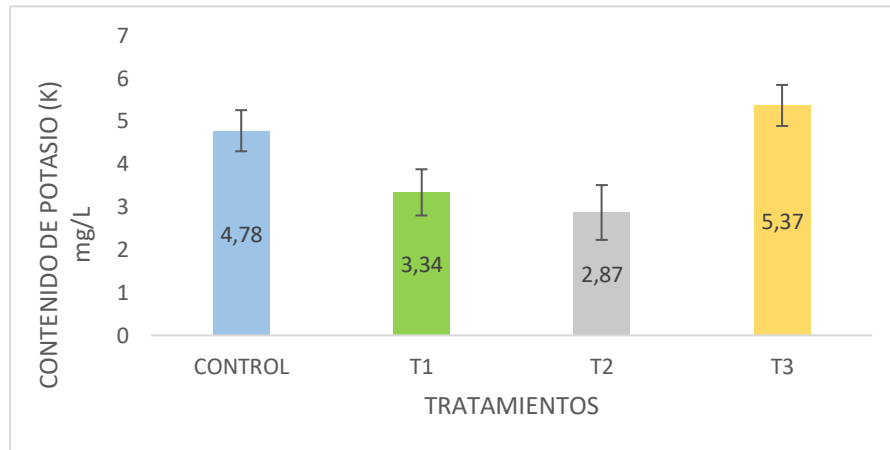


Figura 6. Contenido de Potasio en mg/L en las muestras de biol provenientes del control y tratamientos 1, 2 y 3.

Los resultados reportados mostraron diferencias estadísticamente significativas entre las medias de un tratamiento y otro, obteniendo un valor-P de la prueba F menor que 0,05 con un nivel de confianza de 95%, realizadas bajo un análisis ANOVA simple, usando el software Statics Graphic.

4. Discusión

Los valores de pH tienen una influencia directa sobre la producción de biol, por su acción sobre los procesos microbianos; razón por la cual se observan pH ácidos en la fase inicial de la fermentación tal como se indica en la figura 2, Ramos & Terry (2014), explica que este hecho se debe a que la conversión de la materia orgánica produce la liberación de ácidos orgánicos. De acuerdo a los resultados obtenidos del monitoreo de pH durante el período de fermentación en los cuatro tratamientos, se obtuvieron valores iniciales de pH ácidos que oscilan entre 4,67 a 5,16, siendo los tratamientos T2 y T3 los que mostraron mayor acidez con valores de 4,67 y 4,84 respectivamente. Sánchez-Monedero et al. (2001), mencionan que la baja de pH más pronunciada se debe a las condiciones anaeróbicas del biodigestor, puesto que se forman mayores cantidades de ácidos orgánicos además que tiene una influencia directa con el tipo y calidad de materia orgánica usada. En la segunda fase se produce la alcalinización de la materia orgánica, debido a la pérdida de los ácidos orgánicos y la generación de amoníaco procedente de la descomposición de proteínas, por lo que se obtuvieron valores de pH 6,15 y 6,45 y finalmente valores de pH de 7,01 que tienden a la

neutralidad por la formación de compuesto húmicos que le confieren la propiedad de tampón (Salamanca, 2009).

Por otra parte, la concentración NPK en el biol, depende de la materia orgánica usada y su capacidad de solubilización durante el proceso fermentativo (Leblanc et al., 2007), con relación al contenido de P se obtuvieron mayores concentraciones en los tratamientos T2 y T3 con 0,62 mg/L y 0,63 mg/L respectivamente; ambos tratamientos fueron enriquecidos con roca fosfórica como parte de la materia orgánica inicial en el biodigestor. Zapata & Roy (2007) mencionan que el pH ácido de los suelos, un alto contenido de materia orgánica y la disponibilidad de agua son los factores que influyen en la reactividad de la roca fosfórica aumentando su solubilización y por ende su efectividad agronómica; siendo el proceso fermentativo un ambiente óptimo para lograr su solubilización en fosfatos que son reflejados en los valores mayores de P en los tratamientos T2 y T3 a diferencia del T1 y control. Patiño & Sánchez (2014), han sugerido que una concentración de 0,2 mg/L de fósforo es suficiente para un desarrollo óptimo de las plantas.

Del mismo modo se determinó la concentración final de nitrógeno en los tratamientos en estudio, siendo los tratamientos T1 y T3 que presentaron mayores concentraciones de N con 4,41% y 5,36% respectivamente, ambos tratamientos fueron enriquecidos con alfalfa como parte de la materia orgánica en el proceso fermentativo. Duarte (2016) explica que la alfalfa contiene elevadas concentraciones de nitrógeno en sus nódulos obtenido mediante la relación simbiótica con el *Rizhobium* en el suelo durante su crecimiento; además, provee los elementos

químicos y medicinales que eliminan y controlan algunas plagas (Restrepo, 2011). Según Rendón (2013) realizaron enriquecimiento de biofertilizantes a base de codornaza y alfalfa obteniendo valores de 4,40% de nitrógeno. Por otro lado, Peralta et al. (2016), explica que el estiércol es una fuente rica en nitrógeno pero que su degradación dependerá de la humedad de la misma y la dieta a la que el animal fue sometido.

Finalmente, y como se muestra en la figura 6, se determinaron que la concentración de potasio se presentó con mayores valores en el Control y T3 con valores de 4,78 mg/L y 5,37 mg/L respectivamente. Dichos valores se deben al uso de estiércol vacuno como parte de la materia orgánica en el inicio de la fermentación (Figuroa et al., 2010). Cabos et al. (2019), elaboró biol solo usando estiércol vacuno y obtuvo valores de 1103,8 mg/L de potasio, lo que indica que la excreta animal es la fuente principal de potasio en los bioabonos, este hecho explica los mayores valores de potasio obtenidos en el control y el T3.

5. Conclusiones

Se determinó la adición de roca fosfórica y alfalfa como parte de la materia orgánica en la producción de biol por fermentación anaeróbica, aumenta los valores de NPK en el producto final, es así que el tratamiento 3 (T3) presentó los mayores valores de estos nutrientes con 5,36% de nitrógeno, 0,63 mg/L de fósforo y 5,37 mg/L de potasio, convirtiendo al biol enriquecido en un bioabono con valores óptimo que pueden ser usados en las plantas para lograr su desarrollo y crecimiento masal y radicular.

6. Contribución de los autores

T, Azaña: Redacción del artículo y desarrollo experimental.

A. Sánchez: Desarrollo experimental y datos estadísticos.

J. Villanueva: Elaboración de protocolos.

7. Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de interés.

8. Referencias Bibliográficas

Cabos, J., Bardales, C., León, C., & Gil, L. (2019). Evaluación de las concentraciones de Nitrógeno, Fósforo y Potasio del biol y biosol

obtenidos a partir de estiércol de ganado vacuno en un biodigestor de geomembrana de policloruro de vinilo. *Arnaldoa*, 26(3), 1165-1176.

Duarte, G. (2007). Fertilización de alfalfa. *Producción Animal*, 1-5. https://www.produccionanimal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas_cultivadas_alfalfa/53-fertilizacion.pdf

Feiz, R., & Ammenberg, J. (2017). Assessment of feedstocks for biogas production, part I: A multicriteria approach. *Resources conservation and recycling*, 122, 373-387.

Figuroa, U., Cueto-Wong, A., Delgado, J., Núñez-Hernández, G., Reta-Sánchez, G., Quiroga-Garza, H., Faz-Contreras, R., & Márquez-Rojas, J. (2010). Estiércol de bovino lechero sobre el rendimiento y recuperación aparente de nitrógeno en maíz forrajero. *Terra Latinoamericana*, 28(4), 361-369.

Fongaro, G., Vianelli, A., Magri, M., Elmahdy, E., Biesus, L., Kich, J., Kunz, A., & Barardi, M. (2014). Utility of specific biomarkers to assess safety of swine manure for biofertilizing purposes. *Science of The Total Environment*, 479-480, 277-283.

Guo, J., Liu, J., Zhang, Y., Shen, L., Han, X., Zhang, W., Christie, P., Goulding, K., Vitousek, P., & Zhang, S. (2010). Significant Acidification in Major Chinese Croplands. *Science*, 327(1), 1008-1010.

Harris, D. (2007). *Análisis químico cuantitativo* (6ta ed.). Reverte. España.

Hermann, B., Debeer, L., De Wilde, B., Blok, K., & Patel, K. (2011). To compost or not to compost: Carbon and energy footprints of biodegradable materials' waste treatment. *Polymer degradation and stability*, 96(6), 1159-1171.

Leblanc, H., Cerrato, M., Miranda, A., & Valle, G. (2007). Determinación de la calidad de abonos orgánicos a través de bioensayos. *Tierra Tropical*, 3(1), 97-107.

Marin, S. (2015). Biodegradabilidad anaeróbica de fracción orgánica de residuos urbano pretratado mediante esterilización [Tesis para título, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de minas y energía. España].

Ning, C., Gao, P., Wang, B., Lin, W., Jiang, N., & Cai, K. (2017). Impacts of chemical fertilizer reduction and organic amendments supplementation on soil nutrient, enzyme activity and heavy metal content. *Journal of Integrative Agriculture*, 16(8), 1819-1831.

Olivares-Campos, M., Hernández-Rodríguez, A., Vences-Contreras, C., Jáquez-Balderrama, J., & Ojeda-Barrios, D. (2012). Lombricomposta y composta de estiércol de ganado vacuno lechero como fertilizantes y mejoradores de suelo. *Universidad y ciencia*, 28(1), 27-37.

Patiño, C., & Sánchez, M. (2014). Efecto de la aplicación de roca fosfórica y la inoculación con bacterias solubilizadoras de fosfatos sobre el crecimiento del ají (*Capsicum annum* L.). *Acta Agronómica*. 63(2), 1-13.

Peralta, L., Juscamaíta, J., & Meza, V. (2016). Obtención y caracterización de abono orgánico líquido a través del tratamiento de excretas del ganado vacuno de un establo lechero usando un consorcio microbiano ácido láctico. *Ecología Aplicada*, 15(1), 1-10.

Ramos, A., Durango, J., Grandett, G., Díaz, B., & Barrera, J. (2006). Evaluación de las diferentes formas de potasio en suelos de la zona platanera de Córdoba. *Agronomía Colombiana*, 24(2), 334-339.

Ramos, D., & Terry, E. (2014). Generalidades de los abonos orgánicos: importancia del bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. *Cultivos tropicales*, 35(4), 52-59.

Rendón, A. (2013). Elaboración de abono orgánico tipo biol a partir de estiércol de codorniz enriquecido con alfalfa y roca fosfórica para elevar su contenido de nitrógeno y fósforo. [Tesis para título, Universidad técnica de Ambato. Ecuador].

Restrepo, J. (2011). Elaboración de abonos orgánicos fermentados y biofertilizantes foliares: experiencias con agricultores en Mesoamérica y Brasil. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Costa Rica.

Rojas, H. (2014). Estudio del efecto de la aplicación de microorganismos efectivos en la calidad de biol en un proceso de biodigestión anaeróbica [Tesis para título, Universidad Nacional Agraria La

Molina. Perú].

- Salamanca, J. (2010). Diseño, construcción y puesta en marcha de un biodigestor a escala piloto para la generación de biogás y fertilizante orgánico [Tesis para título, Universidad San Francisco de Quito. Ecuador].
- Sánchez-Monedero, M., Roig, A., Paredes, C., & Bernal, P. (2001). Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures. *Bioresource Technology*, 78(3), 301-308.
- Winarso, S., Pandutama, H., & Dwi, D. (2016). Effectivity of Humic Substance Extracted from Palm Oil Compost as Liquid Fertilizer and Heavy Metal Bioremediation. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 9, 146-157.
- Zapata, F., & Roy, R. (2007). Utilización de las rocas fosfóricas para una agricultura sostenible. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. FAO.



ESPECIES VEGETALES CON POTENCIAL FITORREMEDIAADOR DE LOS HUMEDALES DE LA CUENCA BAJA DEL RÍO MOCHE, LA LIBERTAD- PERÚ

PLANT SPECIES WITH PHYTOREMEDIATION POTENTIAL OF THE WETLANDS OF THE LOWER MOCHE RIVER BASIN, LA LIBERTAD- PERU

Ivy Karina Fasanando-Lescano ^{1*}, José Mostacero-León ¹, Armando Efraín Gil-Rivero ¹, Anthony J. De La Cruz-Castillo¹, Segundo Eloy López-Medina¹, Jesús Manuel Charcape-Ravelo²

¹ Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de Trujillo, Av. Juan Pablo II s/n – Ciudad Universitaria, Trujillo, Perú.

² Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de Piura, Urb. Miraflores S/N, Castilla, 20002, Piura, Perú.

Ivy K. Fasanando- Lescano:



<https://orcid.org/0000-0002-2401-3215>

José Mostacero-León:



<https://orcid.org/0000-0003-2556-3013>

Armando E. Gil-Rivero:



<https://orcid.org/0000-0002-4521-5588>

Anthony J. De La Cruz-Castillo:



<https://orcid.org/0000-0002-5409-6146>

Segundo E. López-Medina:



<https://orcid.org/0000-0001-7719-8607>

Jesús M. Charcape-Ravelo:



<https://orcid.org/0000-0002-9595-1663>

Artículo original

Recibido: 27 de agosto 2021

Aceptado: 27 de noviembre 2021

Resumen

Los humedales de la cuenca Baja del Río Moche, son ecosistemas de valor ecológico, al brindar numerosos servicios ecosistémicos; destacando su eficiencia en la biorremediación y depuración de aguas contaminadas con relaves mineros, residuos sólidos y cloacales. Esta acción se debe a la presencia de especies vegetales con alta capacidad de retener estos contaminantes, depurando los ecosistemas. Ante la necesidad de identificar estas especies vegetales, se propuso como objetivo de investigación determinar las especies vegetales con potencial fitorremediador de los humedales de la cuenca Baja del Río Moche, La Libertad-Perú. Para ello se realizaron exploraciones botánicas periódicas que permitieron recabar datos taxonómicos y fitogeográficos de las especies vegetales, acompañado a la colecta y posterior determinación botánica de las mismas, en el *Herbario Truxillense* de la Universidad Nacional de Trujillo (HUT). Se reportaron 43 especies de flora con potencial fitorremediador de los humedales de la cuenca Baja del Río Moche; distribuidas en 38 géneros y 20 familias, donde las Poaceae (10 especies), Cyperaceae (5 especies), Asteraceae (4 especies), Fabaceae y Polygonaceae (3 especies), fueron las más representativas por su número de especies.

Palabras clave: Fitorremediación, humedales, La Libertad, río Moche, vegetales.

Abstract

The wetlands of the Lower Moche River basin are ecosystems of ecological value, as they provide numerous ecosystem services; highlighting its efficiency in bioremediation and purification of water contaminated with mining tailings, solid waste and sewage. This action is due to the presence of plant species with a high capacity to retain these pollutants, purifying ecosystems. Given the need to identify these plant species, it was proposed as a research objective to determine the plant species with phytoremediation potential of the wetlands of the Lower Moche River basin, La Libertad- Peru. For this, periodic botanical explorations were carried out that allowed collecting taxonomic and phytogeographic data of the plant species, accompanied by the collection and subsequent botanical determination of the same, in the *Truxillense Herbarium* of the National University of Trujillo (HUT). 43 species of flora with phytoremediation potential were reported from the wetlands of the Lower Moche River basin; distributed in 38 genera and 20 families, where the Poaceae (10 species), Cyperaceae (5 species), Asteraceae (4 species), Fabaceae and Polygonaceae (3 species), were the most representative for their number of species.

Keywords: La Libertad, Moche River, phytoremediation, vegetables, wetlands.

* **Autor para correspondencia:** ifasanando@unitru.edu.pe

DOI: <http://dx.doi.org/10.17268/rebiol.2021.41.02.05>

Citar como:

Fasanando-Lescano, I., Mostacero-León, J., Gil-Rivero, A., De La Cruz-Castillo, A., López-Medina, S., & Charcape-Ravelo, J. 2021. Especies vegetales con potencial fitorremediador de los humedales de la cuenca baja del río Moche, La Libertad-Perú. REBIOL, 41(2): 195-203.



1. Introducción

En la región La Libertad, el río Moche cumple un rol hídrico fundamental para las jurisdicciones de Trujillo, Otuzco, Julcán y Santiago de Chuco. A lo largo de la estratificación de la cuenca, se conforman comunidades ribereñas y acuáticas ricas en flora y fauna, Como consecuencia de la influencia del río Moche, afluente principal del valle Santa Catalina, han formado en la parte baja de la cuenca varios humedales naturales, entre ellos los de Salaverry, Moche y Huanchaco. Estos humedales son afloramientos del río, donde ha crecido una flora que ha soportado los embates y la influencia negativas de la contaminación (Mostacero et al., 2007; Sánchez, 2007; Vargas, 2015).

Sobre todo, la minería informal de Quiruvilca, que ha ocasionado graves impactos negativos por la emisión de relaves mineros, perjudicando a la población local, al emplear sus aguas para uso agropecuario y agrícola (Herrera & Millones, 2012; Sánchez, 2007). Siendo evidente la existencia de una escasa capacitación que se ve reflejado en el inadecuado manejo de los humedales a nivel nacional por parte de los organismos públicos y privados (Ministerio del Ambiente, 2015). Sin embargo, la presencia de estos humedales constituye ser beneficiosa por brindar numerosos servicios ecosistémicos, entre ellos destaca: La retención y regulación del recurso hídrico, fuente de recursos alimenticios y medicinales, además de ser un ecosistema que brinda recreación social, por ser áreas de belleza paisajística para distracción familiar (Aponte & Cano, 2018; Loza & Mendoza, 2017).

Se ha comprobado que muchas especies vegetales



presentes en los humedales tienen potencial fitorremediador, es decir captan metales pesados a consecuencia de la actividad minera realizada en la parte alta de la cuenca del río Moche (Carrillo et al., 2015). Reportándose hasta 56 especies en los Humedales Altoandinos de La Libertad, 67 especies en los humedales de Santa Rosa, 51 especies en los Pantanos de Villa y 20 especies en los Humedales de Ventanilla; predominando las familias: Asteraceae, Juncaceae y Poaceae, en los diferentes humedales ubicados en Perú (Aponte & Cano, 2018; Muñoz et al., 2018).

Para poder menguar o disminuir los impactos negativos del río Moche, es necesario hacer el estudio de las principales especies vegetales. Ante ello se propuso como objetivo de investigación inventariar las especies vegetales con potencial fitorremediador de los humedales de la cuenca Baja del Río Moche, La Libertad-Perú; información que servirá de base para formular las estrategias de manejo y conservación necesarias en estas áreas (Mostacero et al., 2021).

2. Materiales y métodos

Lugar de ejecución y toma de muestra

Para la realización de la presente investigación se hicieron 8 exploraciones botánicas entre los años 2018 y 2020, abarcando las 4 estaciones del año; donde se evaluaron, las especies con potencial fitorremediador de los humedales de la Cuenca Baja del Río Moche, aplicando un muestreo Sistemático estratificado, con un tamaño de muestra $N=6$ (Figura 1).



Figura 1. Humedales de la cuenca Baja del Río Moche, La Libertad- Perú

Determinación taxonómica

La colecta de los especímenes botánicos, se realizó paralelamente a la toma de datos en campo. Seguido a ello, las plantas fueron transportadas en prensa botánica, al *Herbarium Truxillense* (H.U.T.) de la Universidad Nacional de Trujillo; donde fueron determinados taxonómicamente por comparación con los especímenes registrados en esta Institución; agenciándose a su vez de bibliografía especializada referidas a la flora peruana como la de Brako & Zarucchi (1993) y Mostacero et al. (2009); además de los portales virtuales: Tropicos (<https://www.tropicos.org/home>) y The Plant List (<http://www.theplantlist.org/>) que permitieron validar la taxonomía.

Análisis de datos

La información obtenida, fue analizada y organizada en tablas y gráficos, previamente complementadas con la

información presentada en tesis, artículos científicos y libros sobre taxonomía y biorremediación; datos que permitieron realizar el inventario taxonómico y fitogeográfico final de las especies vegetales con potencial fitorremediador de los humedales de la cuenca Baja del Río Moche; que se detallarán en los puntos posteriores.

3. Resultados

La tabla 1, muestra los datos referentes a los caracteres taxonómicos (familia, nombre científico, vulgar y hábito), así como características fitogeográficas (Coordenadas UTM y Distribución altitudinal) de las 43 especies de flora con potencial fitorremediador de los humedales de la cuenca Baja del Río Moche. Flora distribuida en 38 géneros y 20 familias; apreciándose a su vez, las familias botánicas más representativas por su número de especies en la Figura 2.

Tabla 1. Especies vegetales con potencial fitorremediador de los humedales de la cuenca Baja del Río Moche, La Libertad-Perú.

N°	FAMILIA/NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE VULGAR	HÁBITO	UTM	DISTRIBUCIÓN ALTITUDINAL
AMARANTHACEAE					
1	<i>Alternanthera albotomentosa</i> Suess.	"hierba blanca"	hierba	17L0718867 9099370	Hasta los 500 m.s.n.m.
ASTERACEAE					
2	<i>Acmella oppositifolia</i> (Lam.) R.K.Jansen	-	hierba	17L0718821 9099308	Hasta los 500 m.s.n.m.
3	<i>Baccharis salicina</i> Torr. & A.Gray	"chilco"	arbusto	17L0720856 9094534	Hasta los 1500 m.s.n.m.
4	<i>Tessaria integrifolia</i> Ruiz & Pav.	"pájaro bobo"	arbusto	17L0721481 9093071	Hasta los 700 m.s.n.m.
5	<i>Wedelia latifolia</i> DC.	"zunchillo"	hierba	17L0720821 9094527	Hasta los 600 m.s.n.m.
BORAGINACEAE					
6	<i>Heliotropium curassavicum</i> L.	"cola de alacrán"	hierba	17L0721481 9093071	Hasta los 250 m.s.n.m.
7	<i>Wigandia urens</i> (Ruiz & Pav.) Kunth	"ortiga mayor"	arbusto	17L0718867 9099371	Hasta los 800 m.s.n.m.
BRASSICACEAE					
8	<i>Nasturtium officinale</i> R.Br.	"berro"	hierba	17L0706629 9108126	Hasta los 3000 m.s.n.m.
CLEOMACEAE					
9	<i>Cleome spinosa</i> Jacq.	"barvas de chivo"	arbusto	17L0718868 9099367	Hasta los 400 m.s.n.m.
COMMELINACEAE					

10	<i>Commelina fasciculata</i> Ruiz & Pav.	"orejita de ratón"	hierba	17L0718867 9099371	Hasta los 800 m.s.n.m.
CONVOLVULACEAE					
11	<i>Cressa truxillensis</i> Kunth		hierba	17L0721481 9093071	Hasta los 100 m.s.n.m.
CYPERACEAE					
12	<i>Cyperus alternifolius</i> L.	"junco"	hierba	17L0718821 9099308	Hasta los 250 m.s.n.m.
13	<i>Cyperus corymbosus</i> Rottb.	"junco sombrero"	hierba	17L0718867 9099371	Hasta los 200 m.s.n.m.
14	<i>Eleocharis elegans</i> (Kunth) Roem. & Schult.	"velita grande"	hierba	17L0718867 9099370	Hasta los 300 m.s.n.m.
15	<i>Eleocharis geniculata</i> (L.) Roem. & Schult.	"velita chica"	hierba	17L0718867 9099370	Hasta los 300 m.s.n.m.
16	<i>Schoenoplectus californicus</i> (C.A.Mey.) Soják	"totora"	hierba	17L0706843 9107837	Hasta los 50 m.s.n.m.
EUPHORBIACEAE					
17	<i>Ricinus communis</i> L.	"higuerilla"	arbusto	17L0718792 9099325	Hasta los 1500 m.s.n.m.
FABACEAE					
18	<i>Acacia macracantha</i> Willd.	"espinó"	árbol	17L0721481 9093071	Hasta 1500 m.s.n.m.
19	<i>Crotalaria angustifolia</i> (Gagnep.) Niyomdham	"cascabelillo"	árbol	17L0718867 9099371	Hasta los 400 m.s.n.m.
20	<i>Mimosa pellita</i> Willd.	"uña de gato"	arbusto	17L0718872 9099371	Hasta los 600 m.s.n.m.
MALVACEAE					
21	<i>Sidastrum paniculatum</i> (L.) Fryxell	"pichana"	hierba	17L0721481 9093071	Hasta los 600 m.s.n.m.
ONAGRACEAE					
22	<i>Ludwigia octovalvis</i> (Jacq.) P.H.Raven	"flor de clavo"	sufrutice	17L0718867 9099371	Hasta los 400 m.s.n.m.
23	<i>Ludwigia peploides</i> (Kunth) P.H.Raven	"flor de clavo"	hierba	17L0721481 9093071	Hasta los 400 m.s.n.m.
PASSIFLORACEAE					
24	<i>Passiflora punctata</i> L.	"granadilla de culebra"	hierba	17L0720865 9094527	Hasta los 600 m.s.n.m.
PLANTAGINACEAE					
25	<i>Veronica anagallis-aquatica</i> L.	"verónica"	hierba	17L0718821 9099308	Hasta los 200 m.s.n.m.
POACEAE					
26	<i>Brachiaria mutica</i> (Forssk.) Stapf	"gramalote"	hierba	17L0721481 9093071	Hasta los 300 m.s.n.m.
27	<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	"grama dulce"	hierba	17L0721701 9093059	Hasta los 200 m.s.n.m.
28	<i>Distichlis humilis</i> Phil.	"grama salada"	hierba	17L0721701 9093059	Hasta los 50 m.s.n.m.
29	<i>Distichlis spicata</i> (L.) Greene	"grama salada"	hierba	17L0721701 9093059	Hasta los 50 m.s.n.m.
30	<i>Paspalidium paludivagum</i> (Hitchc. & Chase) Parodi	"grama"	hierba	17L0721481 9093071	Hasta los 300 m.s.n.m.
31	<i>Paspalum racemosum</i> Lam.	"gramalote"	hierba	17L0718867 9099371	Hasta los 600 m.s.n.m.

32	<i>Polypogon interruptus</i> Kunth	"grama"	hierba	17L0718867 9099371	Hasta los 300 m.s.n.m.
33	<i>Setaria parviflora</i> (Poir.) M.Kerguelen	"rabo de zorro"	hierba	17L0718867 9099371	Hasta los 200 m.s.n.m.
34	<i>Sporobolus virginicus</i> (L.) Kunth	"grama"	hierba	17L0721701 9093059	Hasta los 100 m.s.n.m.
35	<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud.	"carricillo"	hierba	17L0721481 9093071	Hasta los 800 m.s.n.m.
POLYGONACEAE					
36	<i>Persicaria hydropiperoides</i> (Michx.) Small	"pica-pica"	hierba	17L0718867 9099370	Hasta los 400 m.s.n.m.
37	<i>Rumex crispus</i> L.	"lengua de vaca"	hierba	17L0718821 9099308	Hasta los 3000 m.s.n.m.
38	<i>Rumex obtusifolius</i> L.	"lengua de vaca"	hierba	17L0718867 9099370	Hasta los 3000 m.s.n.m.
SALICACEAE					
39	<i>Salix humboldtiana</i> Willd.	"sauce"	árbol	17L0718867 9099371	Hasta los 2500 m.s.n.m.
TYPHACEAE					
40	<i>Typha angustifolia</i> L.	"inea", "cigarrillo"	hierba	17L0720737 9094555	Hasta los 200 m.s.n.m.
VERBENACEAE					
41	<i>Lantana camara</i> L.	"hierba de la maestransá"	hierba	17L0720865 9094528	Hasta los 300 m.s.n.m.
42	<i>Phyla nodiflora</i> (L.) Greene	"turre hembra"	hierba	17L0718896 9099382	Hasta los 500 m.s.n.m.
VITACEAE					
43	<i>Cissus verticillata</i> (L.) Nicolson & C.E.Jarvis	"uvilla de culebra"	hierba	17L0720856 9094533	Hasta los 700 m.s.n.m.

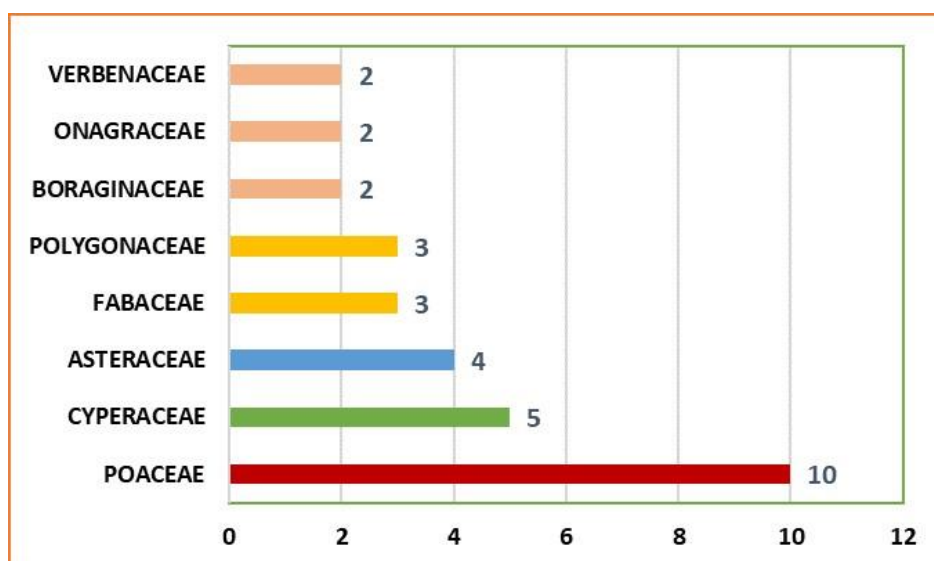


Figura 2. Familias más representativas de la flora con potencial fitorremediador de los humedales de la cuenca Baja del Río Moche, La Libertad- Perú.



Figura 3. *Acacia macracantha* Willd.



Figura 4. *Cleome spinosa* Jacq.



Figura 5. *Persicaria hydropiperoides* (Michx.) Small.



Figura 6. *Typha angustifolia* L.

4. Discusión

Las acciones antrópicas negativas, como es el caso de las actividades de extracción minera y las malas prácticas para el manejo de residuos sólidos y aguas residuales, han conllevado a la gravedad del río Moche, amenazando la salud de los seres vivos y del ambiente. Ante ello, es necesario el surgimiento de tecnologías que busquen remediar los graves impactos ocasionados por el hombre;

siendo la biorremediación, un proceso clave en la remediación y/o reparación de cuerpos de agua contaminados, empleando para tal fin, especies vegetales, bacterias, algas u hongos capaces de bioacumular, biodegradar y/o estatizar metales pasados (Cota et al., 2018; Nieves et al., 2019).

Ahora bien, la Tabla 1, detalla que en los humedales de la cuenca Baja del Río Moche, La Libertad- Perú, se reportan 43 especies de potencial fitorremediador, distribuidas en

38 géneros y 20 familias (Figura 2 y 3). Destacando la familia Poaceae en primer lugar, por tener hasta 10 especies, las Cyperaceae con 5 especies y las Asteraceae con 4 especies. Reportes de Fuentealba & Mejía (2016), corroboran este resultado por las familias de mayor representatividad en los humedales costeros del Perú. Sin embargo, Mostacero et al (2021), sostiene una mayor representatividad de la familia Asteraceae, para los humedales altoandinos del Perú; y es que son las especies enmarcadas dentro de estas familias; las que presentan esa potencialidad de captar, acumular y /o metabolizar contaminantes presentes en agua, suelo o aire; por lo que la fitorremediación se constituye hoy por hoy en una tecnología eficiente y sostenible para la depuración de ecosistemas (Delgadillo et al., 2011; Tello et al., 2015).

Como evidencia del potencial fitorremediador en vegetales, investigaciones de Hernández & Luna (2016), sostienen que los humedales son reservorio de especies potenciales, como *Typha angustifolia*, de la cual se ha demostrado su capacidad de fitorremediación de nitrógeno amoniacal y hierro. Por otro lado, Pedrosa et al (2011) y Ortega et al (2011), afirman la eficiencia de *Salix humboldtiana* en la bioacumulación de zinc y *Gynerium sagittatum* en la bioacumulación de mercurio.

Asimismo, dentro de la familia Poaceae, como especies potenciales tenemos a *Brachiaria mutica* (Forssk.) Stapf "gramalote", debido a su potencial en la fitorremediación de Cadmio, el cual alcanza el 95% de eficiencia al inocularse consorcios bacterianos (Ahsan et al., 2019). A su vez reportes de Acosta & Bustamante (2020), Burgos & Diez, (2015) y Medrano (2021), afirman que *Cynodon dactylon* (L.) Pers. "grama dulce", *Distichlis humilis* Phil. "grama salada", *Distichlis spicata* (L.) Greene "grama salada", son eficientes fitorremediadoras de aguas y suelos contaminados por cadmio y azufre. Mientras que *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. "carricillo", es empleada en el tratamiento de aguas residuales domésticas y mineras, debido a su alta capacidad de bioacumular hierro, aluminio e hidróxido férrico (Silva et al., 2021).

De las especies de Cyperaceae en mención (Tabla1), destaca *Cyperus alternifolius* "junco", del cual se tiene conocimiento su capacidad de bioacumular cadmio y plomo en tallo y hoja hasta los 1,69323 ppm (Escobar, 2019). De la misma manera Colchón & Flores (2021),

sostiene que *Cyperus corymbosus* Rottb. "junco sombrero", tiene potencial fitorremediador, el cual se ve incrementado en un 77,55 % ante la presencia de consorcios de bacterias rizósfericas. Asu vez Burgos & Vallejo (2019), sostienen haber demostrado la capacidad de *Eleocharis elegans* (Kunth) Roem. & Schult. "velita grande" y *Eleocharis geniculata* (L.) Roem. & Schult. "velita chica" en la absorción del metal aluminio, con un 82,75% de eficiencia. Por otro lado, destaca *Schoenoplectus californicus* "totora", de la cual existe reportes de ser una especie de alta eficiencia en depurar ecosistemas contaminados con metales pesados. Reportes de Ayasta et al. (2017), corroboran la eficacia de *Schoenoplectus californicus* "totora", al depurar aguas residuales y metales pesados como: cromo, arsénico y cadmio, los cuales son los principales contaminantes del río Moche a consecuencia de las actividades mineras en la cuenca alta del mismo (Sánchez, 2019).

Para la familia Asteracea (Tabla 1), destaca *Baccharis salicina* Torr. & A. Gray "chilco", de la cual se ha demostrado una alta capacidad biorremediadora de suelos contaminados con arsénico, acumulando este contaminante en la raíz, el tallo y las hojas (Cepeda, 2018). En el caso de *Tessaria integrifolia* Ruiz & Pav. "pájaro bobo", Rojas (2020) sostiene una alta capacidad de bioacumular Pb y Zn en zonas influenciadas por la minería informal en el río Tulumayo. Mientras que Mamani (2015), ha demostrado la eficiencia de bioacumular mercurio al evaluar la flora ribereña del río Inambari, donde se ubica una concesión minera en la región de Madre de Dios. A su vez Yáñez & Bárcenas (2012), afirman que esta especie es capaz de tolerar y fitorremediar aguas contaminadas con hidrocarburos con 3 y 6% de concentración.

5. Conclusiones

Se reportan 43 especies de flora con potencial fitorremediador de los humedales de la cuenca Baja del Río Moche, las que están distribuidas en 38 géneros y 20 familias; siendo las más representativas por su número de especies: Poaceae (diez especies), Cyperaceae (cinco especies), Asteraceae (cuatro especies), Fabaceae y Polygonaceae (tres especies).

Es necesario continuar con la realización de proyectos y/o investigaciones del tipo básica, que busquen conservar e impulsar en todo momento la sostenibilidad y sustentabilidad de estos recursos promisorios; a la par de incentivar y promover investigaciones aplicadas que permitan implementar nuevas tecnologías dentro del área de la fitorremediación en particular y la biotecnología como tal en general.

6. Contribución de los autores

I. K. Fasanando-Lescano: Concepción de la idea, interpretación de datos y aprobación final de informe

J. Mostacero-León: Concepción de la idea, interpretación de datos y aprobación final de informe

A. E. Gil-Rivero: Ejecución del trabajo de campo

A. J. De La Cruz-Castillo: Redacción de informe

S. E. López-Medina: Recolección y procesamiento de datos

J. M. Charcape-Ravelo: Ejecución del trabajo de campo.

6. Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de interés.

7. Agradecimientos

Un agradecimiento especial al Herbarium Truxillense (HUT) de la Universidad Nacional de Trujillo, Perú; por el apoyo logístico y de ambientes brindados, posibilitando de esta manera la realización de la presente investigación.

7. Referencias Bibliográficas

Acosta, L., Bustamante, D. (2020). Caracterización de microorganismos oxidantes del azufre y su potencial para la recuperación de suelo sódico con la aplicación de azufre. [Tesis para la obtención del Título, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Perú].

Ahsan, M.T., Tahseen, R., Ashraf, A., Mahmood, A., Najam-ul-haq, M., M. Arslan., Afzal, M. (2019). Effective plant-endophyte interplay can improve the cadmium hyperaccumulation in *Brachiaria mutica*. *World J Microbiol Biotechnol*, 35, 188.

Aponte, H. & Cano, A. (2018). Flora vascular del humedal de Carquín-Hualmay, Huaura (Lima, Perú). *Ecología Aplicada*, 17(1), 69-76.

Ayasta, J., Saavedra, L., Tarrillo, L. (2017). Efectividad de la rizofiltración de la especie "junco" (*Schoenoplectus californicus*) en relación con la calidad de agua de la cuenca alta del Río Moche en condiciones experimentales.

Noviembre 2016-Febrero 2017. [Tesis para la obtención del Título, Universidad de Lambayeque, Perú].

Brako, L., Zarucchi, J. (1993). Catálogo de las Angiospermas y Gimnospermas del Perú. USA: Ed. Bot. Missouri Bot. Garden.

Burgos, I., & Vallejo, J. (2019). Determinación de la remoción de aluminio por la especie *Eleocharis Elegans* (Juaquillo) y su absorción atómica. [Tesis para la obtención del Título, Universidad Estatal Amazónica, Ecuador].

Burgos, M., & Diez, S. (2015). Eficiencia de la remoción de cromo hexavalente, Cr⁶⁺, por plantas en humedales artificiales de flujo subsuperficial, 2014. [Tesis para la obtención del Título de Biólogo Microbiólogo, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Perú].

Carillo, G., Andrade, J., Hernández, y Cobos, V. (2015). La Fitorremediación: una opción limpia para un problema sucio. *Bioagrobiencias*, 2(8), 22-27.

Cepeda, I. (2018). Determinación de la capacidad biorremediadora de las especies *Baccharis latifolia* (Ruiz & Pav.) Pers y *Verbesina crassiramea* S.F. Blake sobre suelos contaminados con arsénico. [Tesis para la obtención del grado de Maestro, Universidad Francisco José De Caldas, Colombia].

Colchón, R. & Flores, V. (2021). Caracterización de consorcios de bacterias rizósfericas tolerantes al Cr+6 aisladas de malezas y su influencia en la fitorremediación de suelo contaminado. [Tesis para la obtención del Título, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Perú].

Cota, K., Nuñez, J., Delgado, M., & Martínez, A. (2018). Biorremediación: actualidad de conceptos y aplicaciones.

Delgadillo, A. E., González, C. A., Prieto, F., Villagómez, J. R., & Acevedo, O. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 14(2), 597-612.

Escobar, G. (2019). Bioacumulación de cadmio y plomo en *Arundo donax* L., *Cyperus alternifolius* y *Leonotis nepetifolia* en sedimentos aluviales en Samne, La Libertad-Perú. [Tesis para título, Universidad Nacional de Trujillo, Perú].

Fuentealba, B., & Mejía, M. (2017). Caracterización ecológica y social de humedales altoandinos del Parque Nacional Huascarán. *Aporte Santiaguino*, 9(2), 303-316.

Hernández, N., & Luna, J. (2016). Prueba piloto para la evaluación de la eficiencia de las plantas fitorremediadoras del humedal Las Tinguas, en el tratamiento de aguas residuales domésticas. [Tesis para obtener el título, Universidad de La Salle, Colombia].

Herrera, P. & Millones, O., (2012). ¿Cuál es el costo de la contaminación minera sobre los recursos hídricos en el Perú? *Economía y Sociedad*, 79,45-49.

Loza, A. & Mendoza, W. (2017). Evaluación poblacional y estado de conservación de *Telmatobius macrostomus* Peters, 1873 (Anura: Telmatobiidae) en humedales altoandinos, Región Pasco-Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 19(2), 145-156.

Mamani, L. (2015). Evaluación de la flora ribereña y su posible uso en la fitorremediación del mercurio en una concesión minera de la región Madre de Dios. [Tesis para título, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú].

Medrano, K. (2021). Biorremediación del *Cynodon* sp. a suelos contaminados con plomo generada por el transporte de minerales en el Callao. [Tesis para Bachiller, Universidad Católica Sedes Sapientiae, Perú].

Ministerio del Ambiente. (2015). Estrategia Nacional de Humedales. Dirección General de Diversidad Biológica. Lima, Perú. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2015/01/Anexo-Decreto-Supremo-N%C2%B0-004-2015-MINAM2.pdf>

Mostacero, J., Mejía, F., & Gamarra, O. (2009). *Fanerógamas del Perú: Taxonomía, utilidad y ecogeografía*. Trujillo, Perú:

Editorial CONCYTEC.

- Mostacero, J., Mejía, F., Zelada, W., & Medina, C. (2007). Biogeografía del Perú. Asamblea Nacional de Rectores. Universidad Nacional de Trujillo. Perú.
- Mostacero, J., Yabar, H., López, E., Zelada, W., De la Cruz, A., & Gil, A. (2021). Identification, Mapping and Ethnobotany of Plant Species in the Peruvian High Andean Wetlands: Stimulating Biodiversity Conservation Efforts towards Sustainability. *Journal of Sustainable Development*, 14(2), 66-81.
- Muñoz, A., Hauenstein, E., Faúndez, L. & Möller, P. (2018). Flora and vegetation of Lejía lagoon, a desert ecosystem of the high Puna in northern Chile. *IDESIA*, 36(2), 173-180.
- Nieves, Y., Parra, N., Villanueva, S., & Henríquez, M. (2019). Tech note: bioremediation, enemy of cadmium. *Revista Ingeniería NC*, 26(1), 96-104.
- Ortega, R., Beltrán, J., & Marrugo, J. (2011). Acumulación de mercurio (Hg) por caña flecha (*Gynerium sagittatum*) (Aubl) Beauv. In vitro. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 13(1), 33-41.
- Pedrosa, M. et al. (2011). Utilization of Willow (*Salix humboldtiana* Willd) as a species for phytoremediation of zinc industry waste. *Sci. For.*, Piracicaba, v. 39, n. 89, p. 117-123.
- Rojas, R. (2020). Evaluación de la rizoabsorción en plantas (*Tessaria integrifolia* L., *Ricinus communis* L. y *Piper aduncum* L.) de la ribera del río tulumayo (chanchamayo, junín) influenciadas por efluentes mineros. [Tesis para título, Universidad Científica del Sur, Perú].
- Sánchez, M. (2007). Incumplimiento del artículo 11° de la Ley General del Ambiente y la contaminación minera del Río Moche-Quiruvilca, 2016. [Tesis para Título, Universidad César Vallejo. Trujillo, Perú].
- Sánchez, M. (2019). Propuesta de fitorremediación para coliformes fecales utilizando la especie *Schoenoplectus californicus* en la Comunidad de Illangama de Guaranda, provincia Bolívar. [Tesis para Título, Universidad de Guayaquil, Ecuador].
- Silva, J., Leal, A., Arismendi, J., & Pérez, A. (2021). Uso de humedales de flujo subsuperficial con *Phragmites australis* como alternativa de biorremediación de fuentes superficiales afectadas por drenajes ácidos de minas de carbón. *Tecnología y ciencias del agua*, 12(6), 196-238.
- Tello, W., Salvatierra, L., Pérez, L. (2015). Evaluación de los mecanismos de eliminación de Pb²⁺ en sistemas de fitorremediación en lotes operados con *Salvinia biloba raddi* (acordeón de agua). *Energeia*, 13(13), 10-17.
- Vargas, C., (2015). Gestión integrada del agua de riego en la Cuenca Baja del Río Moche, Trujillo-Perú. [Tesis de maestría, Universidad de Piura, Perú].
- Yáñez, P., & Bárcenas, M. (2012). Determinación de los niveles de tolerancia a hidrocarburos y potencial de fitorremediación de cuatro especies vegetales del sector Baeza-El Chaco, Ecuador. *LA GRANJA, Revista de ciencias de la vida*, 15(1), 27-48.



DIMENSIONES DE LA ACTITUD AMBIENTAL EN UNIVERSITARIOS DE LA CIUDAD DE TRUJILLO, 2020

DIMENSIONS OF THE ENVIRONMENTAL ATTITUDE IN STUDENTS FROM THREE UNIVERSITIES OF THE CITY OF TRUJILLO, 2020

María Pilar Ruiz-Santillán¹, Genara Antonia Castillo Contreras^{1*}

¹Instituto de Investigación Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI, Carretera Panamericana Norte Km 555 Moche, Trujillo Perú.

María Pilar Ruiz-Santillán:



<https://orcid.org/0000-0001-8676-9109>

Genara Antonia Castillo Contreras:



<https://orcid.org/0000-0003-1934-6784>

Artículo original

Recibido: 05 de octubre 2021

Aceptado: 23 de noviembre 2021

Resumen

El objetivo de la presente investigación fue elaborar un instrumento que permita evaluar la actitud ambiental a través de sus componentes: afectivo, conductual y cognitivo, con una muestra de 396 jóvenes pertenecientes a tres universidades de la provincia de Trujillo Departamento de La Libertad Perú. Los participantes desarrollaron un cuestionario virtual en Google Forms, diseñado específicamente para propósitos de este estudio, construido en base a la escala de actitudes ambientales hacia problemas específicos. Según los resultados, los jóvenes se ubican en la escala A (alto) en las dimensiones afectiva y conductual y en la cognitiva en la escala B (medio), en cuanto a la actitud ambiental global se sitúan en nivel alto con actitud ambientalista líder, es decir, revelan muy buena actitud y afectividad, además manifiestan un claro conocimiento de la situación actual y futura del ambiente.

Palabras clave: Actitud ambiental, afectivo, cognitivo, conductual.

Abstract

The objective of this research was to establish the characteristics of the environmental attitude in university students, which were identified through the components: affective, behavioral and cognitive, with a sample of 396 young people belonging to three universities in the province of Trujillo Department of La Libertad Peru. The participants developed an online questionnaire elaborated in Google Forms, specifically designed for the purposes of the study, built on the basis of the scale of environmental attitudes towards specific problems. According to the results, young people are located on the A scale (high) in the affective and behavioral dimensions and in the cognitive one on the B scale (medium), in terms of the global environmental attitude they are located at a high level with a leading environmental attitude, that is, they reveal a very good attitude and affectivity, and they also show a clear knowledge of the current and future situation of the environment. The results of this study can be used for future research.

Keywords: Affective, behavioural, cognitive, environmental attitude.

* **Autor para correspondencia:** g.castillo@uct.edu.pe

DOI: <http://dx.doi.org/10.17268/rebiol.2021.41.02.06>

Citar como:

Ruiz-Santillán, M., & Castillo, G. 2021. Dimensiones de la actitud ambiental en universitarios de la ciudad de Trujillo, 2020, 41(2):204-212.



1. Introducción

Los problemas asociados con la alteración del ambiente, que deben ser enfrentados sin demora incluyen desde el crecimiento exponencial de la población, polución dentro de casas y oficinas, lluvia ácida hasta los pesticidas. Es preciso, incorporar adicionalmente dentro de la problemática, el consumo de recursos por parte de los ricos de la tierra y la conducta humana básicamente en su vinculación con la biosfera. Debido a que, el problema ambiental es originado por la comunidad en su totalidad y todos resultamos afectados en mayor o menor medida debe hacerse frente en conjunto y desde una perspectiva multidisciplinaria (Bolaños, s.f.).

La actitud es un componente fundamental para descubrir nuestro comportamiento, por esa razón, se han diseñado modelos para definir sus componentes, de estos el modelo tridimensional (establecido por Smith, 1947 y descrito por Rosenberg & Holland, 1960, citado por Díaz, 2010), precisa que, ante un estímulo, tenemos respuestas valorativas de tres tipos: afectiva, cognitiva y conductual.

Comprobada la crisis ambiental que vivimos, es apremiante el entendimiento de la importancia de respetar y proteger el entorno natural, esta circunstancia obliga a un cambio de actitudes en las relaciones entre las personas y la naturaleza, tomando en cuenta su valor propio y no solo su utilidad. Este cambio de actitudes tendrá efectos positivos no solo en la salud del planeta, sino también en las personas (Américo et al., 2013). En el mundo de la Educación Superior es fundamental la enseñanza de actitudes y valores de protección al ambiente (Hayat et al., 2021). Los docentes no solo deben limitarse al plan de estudios, independientemente del curso que ofrecen tienen la responsabilidad de dar notoriedad al tema ambiental.

Existe desconocimiento acerca de la opinión de los jóvenes sobre la problemática ambiental que se da a nivel local, nacional y global, y la actitud con la que enfrentarán y solucionarán los problemas que aquejan a la humanidad, por esta razón, el objetivo de esta investigación fue elaborar un instrumento que proporcione información y evalúe la actitud ambiental de los universitarios, mediante la valoración de las dimensiones afectiva, cognitiva y conductual. Ya que, los cuestionarios se construyen con el objetivo de recabar datos (Bueno & Martínez, 2011), es necesario demostrar su utilidad y calidad evaluando la variable con precisión para así, garantizar su validez (Oviedo & Campo-Arias, 2005).

2. Materiales y métodos

Elaboración del cuestionario

De acuerdo a la revisión bibliográfica realizada, la actitud es la respuesta ante el entorno, el sujeto según la teoría tridimensional (establecido por Smith, 1947 y descrito por Rosenberg & Holland, 1960, citado por Díaz, 2010) de la actitud hace frente de tres maneras:

Afectiva: sentimientos positivos y negativos

Conductual: intenciones y tendencias

Cognitiva: Creencias, conocimientos e ideas (Universitat de Barcelona, 2021).

Tipo de Estudio y Población

Descriptivo, transversal realizado entre mayo y julio del 2020 vinculado a la elaboración del "cuestionario actitud ambiental en universitarios". Participaron de manera voluntaria en la investigación 396 universitarios, 246 mujeres y 150 hombres, con edades comprendidas entre los 17-53 (promedio 23,98 años), 143 de la Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI (UCT), 149 de la Universidad César Vallejo (UCV) y 104 de Universidad Nacional de Trujillo (UNT). El cuestionario se diseñó en Google Forms y se aplicó virtualmente, debido al aislamiento social por la pandemia. El enlace fue enviado a algunos docentes de las Universidades participantes quienes fueron los encargados de hacer llegar el link a sus estudiantes. La participación de los jóvenes fue voluntaria. Se identificaron las variables: sociodemográficas edad, género, universidad (UCT, UCV, UNT) y del cuestionario: variables independientes resultados de los diferentes ítems asignados en el cuestionario (y distribuidos en dimensión: Afectiva 10 ítems: 1, 3, 4, 7, 8, 10, 16, 20, 24, 29; Conductual 14 ítems: 2, 6, 17, 18, 19, 21, 23, 25, 26, 28, 30, 31, 33, 34; Cognitiva 12 ítems: 5, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 22, 27, 32, 35, 36) y dependiente cada una de las dimensiones: cognitiva, afectiva, conductual y actitud ambiental global.

Valoración de las respuestas

Las respuestas se evaluaron en un formato de: "SI", "A VECES", "NO" y se consideraron las siguientes categorías por dimensión:

Afectiva: bajo C (10-16), medio B (17-23), alto A (24-30),

Conductual: bajo C (14-23), medio B (24-33), alto A (34 - 42),

Cognitiva: bajo C (12-19), medio B (20-27), alto A (28-36)

El puntaje para la evaluación de la actitud ambiental global se obtuvo de la suma de las dimensiones Afectiva, Conductual y Cognitiva, que fueron distribuidos en los siguientes rangos:

Nivel Bajo (30-60): Actitud ambientalista despreocupada, muestran actitud y conducta inadecuada y desconocimiento de la situación actual del ambiente.

Nivel Medio (61-85): Actitud ambientalista moderada, muestran buena conducta y afectividad, además manifiestan conocimiento de la situación actual del ambiente.

Nivel Alto (86-108): Actitud ambientalista líder, muestran muy buena conducta y afectividad, además manifiestan un claro conocimiento de la situación actual y futura del ambiente.

Análisis Estadístico

Con el propósito de realizar el estudio estadístico descriptivo se elaboró una base de datos en el Programa Excel para estimar promedio, mediana, moda, puntaje mínimo y máximo, desviación estándar, asimetría y curtosis. El contenido del cuestionario se validó de acuerdo a la formulación de ítems y dimensiones, a través de juicio de expertos y la aplicación de una prueba piloto con 29 estudiantes de la UCT (que no participaron de la investigación), y mediante el Coeficiente alfa de Cronbach se estableció la consistencia interna del cuestionario.

3. Resultados

Son dos momentos en la investigación, primero la elaboración y aplicación del cuestionario a los estudiantes que participaron en la prueba piloto, hasta la obtención de

resultados mediante estadística descriptiva, que se muestra en la Tabla 1 y en segundo lugar la recolección de datos vía virtual con el instrumento validado por juicio de expertos y sometido a prueba piloto hasta el análisis estadístico que se muestra en la Tabla 2.

Tabla 1. Estadísticos Descriptivos Prueba Piloto en base a las respuestas del "Cuestionario de actitud ambiental en universitarios".

Componente	Promedio	Mediana	Moda	Desv Est	Mín	Máx	Curtosis	Asimet
Afectivo	27,344	28	28	2,022	22	30	0,761	-0,870
Cognitivo	29,275	30	30	2,914	21	35	1,493	-0,637
Conductual	37,172	38	38	3,576	26	42	2,199	-1,238
Actitud	93,793	95	98	6,020	81	102	-0,527	-0,596

X: promedio, SD: Desviación estándar, Min: Mínimo, Max: Máximo, Asimet: Asimetría.

Tabla 2. Estadísticos Descriptivos en base a las respuestas del "Cuestionario de actitud ambiental en universitarios".

Componente	Promedio	Mediana	Moda	SD	Mín	Máx	Curtosis	Asimet
Afectivo	27,191	28	29	2,486	10	30	6,269	-1,703
Cognitivo	25,987	26	28	2,638	18	33	0,0986	-0,112
Conductual	37,338	38	40	3,431	16	42	3,268	-1,141
Actitud Global	90,517	91	94	5,896	50	103	5,817	-1,379

X: promedio, SD: Desviación estándar, Min: Mínimo, Max: Máximo, Asimet: Asimetría

En la Figura 1 podemos observar que la distribución está sesgada a la derecha, debido a los valores de los coeficientes de asimetría -1,703 y Curtosis 6,269. Para el análisis descriptivo representado en la Tabla 2 se pone de manifiesto que los estudiantes alcanzaron puntaje mínimo diez y máximo treinta, el promedio de los datos se ubica en 27,191, con datos muy concentrado hacia la media. Adicionalmente, se debe señalar que según los hallazgos los estudiantes muestran en la dimensión afectiva una escala A (24-30).

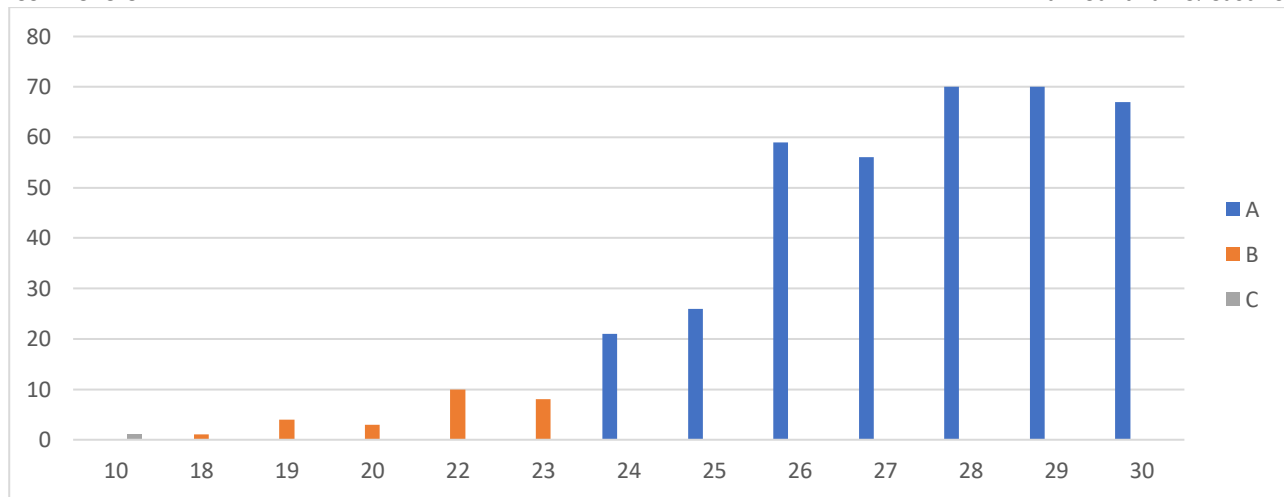


Figura 1. Distribución de la dimensión Afectiva de la Actitud ambiental, se muestra el puntaje obtenido en las siguientes categorías: C (10 - 16) bajo; B (17-23) medio; A (24-30) alto.

En la Figura 2, podemos observar que la distribución está sesgada a la derecha, debido a los valores de los coeficientes de asimetría $-1,141$ y Curtosis $3,268$. Para el análisis descriptivo representado en la Tabla 2 se pone de manifiesto que los estudiantes alcanzaron puntajes entre

los 16 (mínimo) y 42 (máximo), el promedio de los datos se ubica en $37,338$, con datos muy concentrado hacia la media. Adicionalmente, se debe señalar que según los hallazgos los estudiantes muestran en la dimensión Conductual, escala A (34-42).

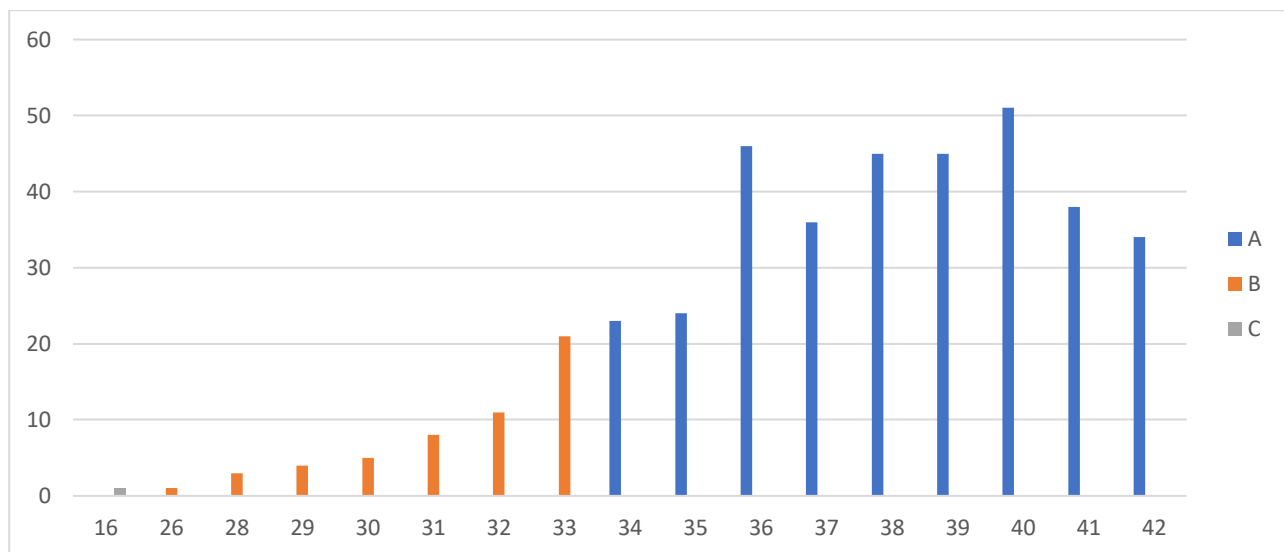


Figura 2. Distribución de la dimensión Conductual de la Actitud ambiental, se muestra el puntaje obtenido en las siguientes categorías: C (14-23) bajo; B (24-33) medio; A (34-42) alto.

En la Figura 3, podemos observar que la distribución, debido a los valores de los coeficientes de asimetría $-0,112$ y Curtosis $0,0986$, se asemeja a una distribución normal. Para el análisis descriptivo representado en la Tabla 2 se pone de manifiesto que los estudiantes alcanzaron

puntajes entre los 18 (mínimo) y 33 (máximo), el promedio de los datos se ubica en $25,987$, con datos muy concentrado hacia la media. Adicionalmente, se debe señalar que según los hallazgos los estudiantes muestran en la dimensión Cognitiva, escala B (20-27).

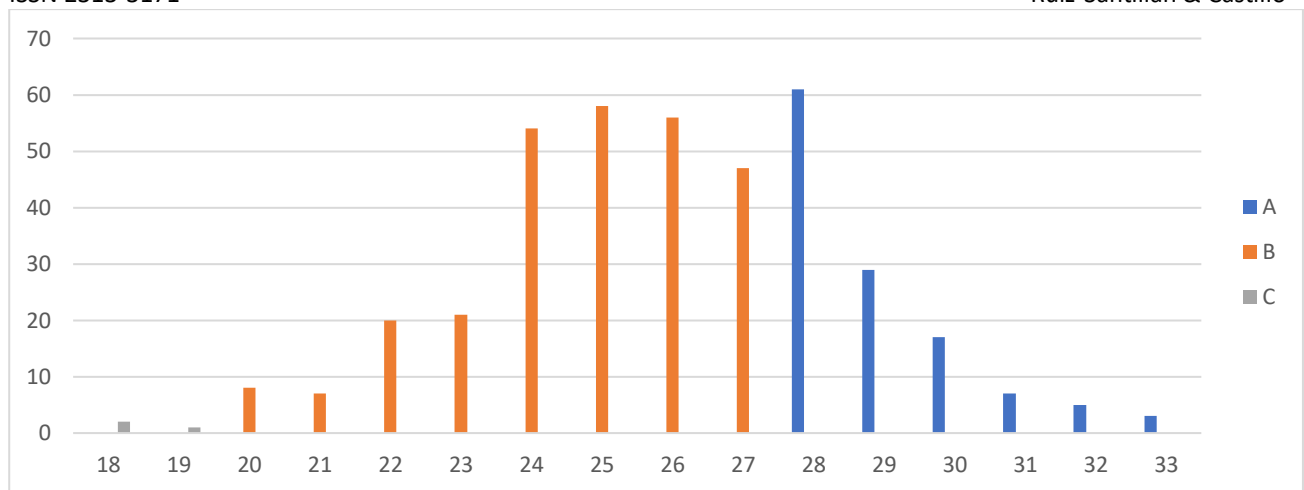


Figura 3. Distribución de la dimensión Cognitiva de la Actitud ambiental, se muestra el puntaje obtenido en las siguientes categorías: C (12-19) bajo; B (20-27) medio; A (28-36) alto.

En la Figura 4, podemos observar que la distribución está ligeramente sesgada a la izquierda, debido a los valores de los coeficientes de asimetría -1,379 y Curtosis 5,817. Para el análisis descriptivo representado en la Tabla 2 se pone de manifiesto que los estudiantes alcanzaron puntajes entre

los 50 (mínimo) y 103 (máximo), el promedio de los datos se ubica en 25,987, con datos muy concentrado hacia la media. Adicionalmente, se debe señalar que según los hallazgos los estudiantes muestran Actitud Ambientalista Líder escala A (86-108).

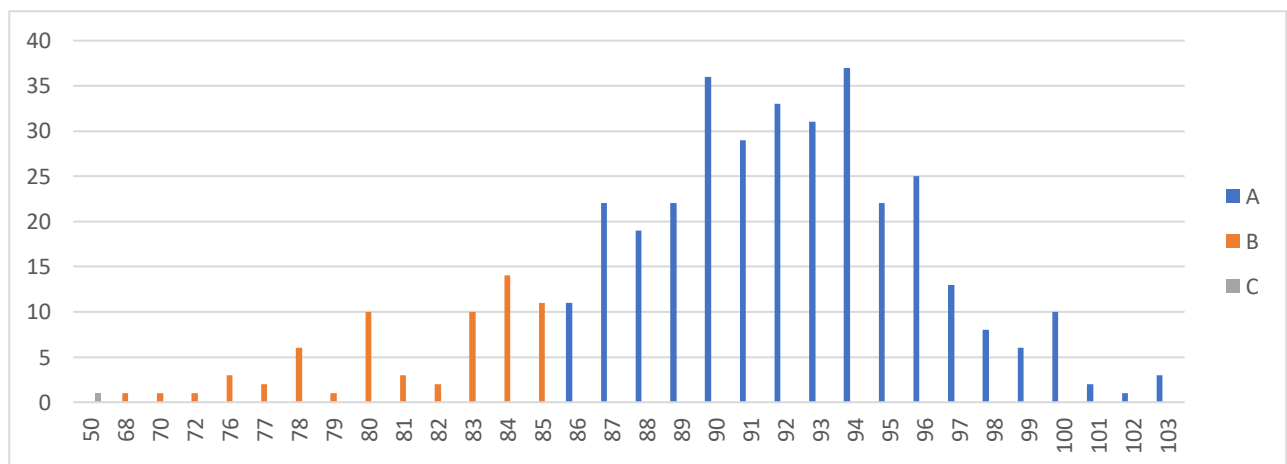


Figura 4. Distribución de la Actitud Ambiental Global, se muestra el puntaje obtenido en las siguientes categorías: C (30-60) Actitud ambientalista despreocupado; B (61-85) Actitud ambientalista moderado; A (86-108) Actitud Ambientalista líder.

En la figura 5, podemos observar que en las tres universidades la mayoría de participantes alcanzaron puntaje de Actitud Ambientalista líder en el grupo UCT el

84,61%, en UCV el 82,55% y en UNT 82,69% y Actitud Ambientalista moderada: UCT 15,39%, UCV 17,45% y UNT 17,31%.

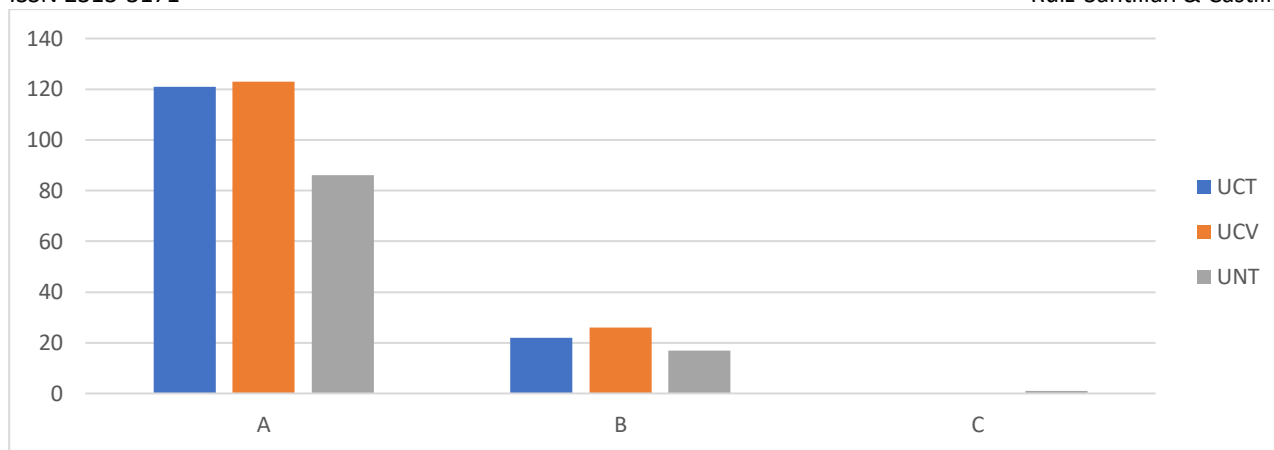


Figura 5. Actitud Ambiental Global, según Universidades y puntaje obtenido en las siguientes categorías: C (30-60) Actitud ambientalista despreocupado; B (61-85) Actitud ambientalista moderado; A (86-108) Actitud Ambientalista líder.

4. Discusión

El "Cuestionario de actitud ambiental para universitarios" fue diseñado en base a las tres dimensiones de la actitud ambiental; y presentado a los estudiantes en un solo bloque constituido por 36 ítems; basado en la escala de actitudes ambientales hacia problemas específicos (Moreno et al., 2005) y desarrollado específicamente para propósitos de la investigación; los ítems incorporaron afirmaciones que pretendían medir en la dimensión afectiva; sentimientos positivos "siento que mis acciones contribuyen al cuidado del ambiente" y negativos "Me molesta cuando las personas de mi entorno utilizan el celular de forma innecesaria". En la dimensión conductual, las intenciones "intento reciclar pilas, pero desconozco los puntos de acopio" y tendencias "apago y desconecto el televisor cuando me voy a dormir". En la dimensión cognitiva, los conocimientos "utilizar aerosoles contribuye con la reducción de la capa de ozono", las creencias "en navidad está permitido comprar sin medida" e ideas "utilizar bolsas plásticas diariamente daña el medio ambiente"; para comprobar su especificidad fue sometido a prueba piloto, juicio de expertos y análisis de consistencia.

Uno de los métodos de validación apropiados para verificar la fiabilidad y validez de un estudio es someterlo a juicio de expertos, el mismo que deberá reunir dos criterios: validez y fiabilidad. La validez de contenido identifica el diseño de una prueba (ítems del cuestionario) y a la vez debe medir realmente aquello que procura estimar (Robles & Rojas,

2015). El "Cuestionario de actitud ambiental para universitarios" fue sometido a juicio de expertos para validez de contenido se replanteó el ítem 8 a sugerencia de los especialistas, porque en su perspectiva la afirmación era desorientadora y podía ocasionar una incorrecta percepción en los estudiantes. En cuanto a la fiabilidad no indicaron modificaciones, toda vez que en su opinión las premisas significan lo mismo para todos lo que van a resolver el instrumento.

Abeille et al. (2015), hacen énfasis que en los estudios donde se diseñan instrumentos de recolección de datos, debe tener como antecedente haber realizado una prueba piloto, puesto que contribuye a mejorar la validez y confiabilidad de los procedimientos. En ese sentido, antes de iniciar la investigación se aplicó el cuestionario a veintinueve estudiantes de la Universidad Católica de Trujillo. En los resultados analizados mediante estadística descriptiva observamos resultados similares a los de la investigación (Tabla 2). El 50% de los estudiantes tienen puntaje menor o igual a 95 y la mayor frecuencia es 98. En cuanto al análisis de coeficientes de asimetría y curtosis, presenta distribución sesgada a la derecha y muestra Actitud Ambientalista líder (categoría A 86-108).

Oviedo & Campo-Arias (2005), señalaron que, la Confiabilidad determina el grado en que un instrumento de varios elementos mide consistentemente una muestra de la población, una de las formas básicas de medirla, correlaciona los puntajes obtenidos por una escala (cuestionario) con los resultados; este método se utilizó en la presente investigación empleando el coeficiente alfa de

Cronbach, (considerada una propiedad inherente del patrón de respuesta de la población estudiada ya que el valor alfa cambia según la población). Según los hallazgos de la investigación se obtuvieron los siguientes resultados por dimensiones: conductual: 0,73; afectiva: 0,65; cognitiva: 0,2; no se determinó para la actitud global porque Oviedo & Campo-Arias (2005), consideraron que este coeficiente es de gran utilidad cuando se usa para determinar la consistencia interna por dimensiones. El valor mínimo aceptado es 0,7. Según los hallazgos los valores del coeficiente para las dimensiones conductual y afectiva tienen buena consistencia interna; sin embargo, En la dimensión cognitiva encontramos baja consistencia interna.

Actitud es la predisposición a responder de una manera consistente ante una clase de estímulos con un tipo de respuestas (Universitat de Barcelona, 2021). El instrumento elaborado permite detectar rasgos distintivos en la muestra, examinando los porcentajes deducimos que en la dimensión afectiva, adquirieron puntaje A (24-30) a través de los hallazgos demostramos (Figura 1) que el mayor porcentaje de estudiantes tienen facilidad para expresar los sentimientos positivos y negativos hacia el ambiente. En la dimensión conductual obtuvieron puntaje A (34-42), las respuestas van en el sentido de buenas intenciones y tendencias (Figura 2) para con el entorno, En la dimensión Cognitiva alcanzaron puntaje B (20-27) mediante exploración de creencias, conocimientos e ideas (Figura 3). Los ítems de conocimiento contienen aseveraciones de aceptación por parte de los científicos y el público en general y pretenden medir el conocimiento de un problema ambiental específico en los universitarios, tal es el caso de la afirmación: utilizar aerosoles contribuye con la reducción de la capa de ozono, se registraron los siguientes resultados: SI (54,54%), A VECES (10,85%) y NO (34,59%) a través de las respuestas demostramos que el 44,44% de los estudiantes desconoce la contribución de los aerosoles a la reducción de la capa de ozono. El ozono (O₃), es un gas que forma una capa en la estratósfera, cuya función es defendernos de la radiación ultravioleta tipo B (UV-B), considerada peligrosa para la existencia de vida en la tierra. En particular, uno de los agentes contaminantes que más dañan la capa de ozono son: los clorofluorocarbonos (CFCs), y su derivado el monóxido de cloro (ClO), utilizado como combustible en los aerosoles, refrigerantes y solventes, entre otros (Sánchez, 2008).

En lo que se refiere al ítem: Considero que reforestar con árboles nativos contribuye mínimamente al cuidado del suelo. La deforestación es un tema de actualidad debido al impacto que causa en el planeta, de ahí, la urgencia de reforestar, conserva y recuperar árboles nativos (García et al., 2018). En el sentido de restaurar, se refiere a la reforestación con especies nativas, puesto que, se adquieren beneficios adicionales como: proporcionar plantas de valor cultural y económico, mantener la biodiversidad, incrementar la productividad del suelo, controlar la cantidad y calidad del agua (Bloomfield & Calle, s.f.). Las respuestas expuestas por los universitarios fueron SI 59,59%, A VECES 14,14% y NO 26,26%, a través de los porcentajes obtenidos ponemos de manifiesto que los estudiantes ignoran los beneficios que trae la repoblación con especies nativas.

El agua es un recurso renovable SI (45,95%), A VECES (8,58%) y NO (45,45%). El porcentaje de respuestas positivas y negativas es similar Fernández (2012), informó que el agua es un recurso renovable pero finito, el ciclo hidrológico natural tiene su propia dinámica, es un movimiento a gran escala que integra la precipitación, escurrimiento, evapotranspiración e infiltración. Najjar et al., (2018), en un estudio realizado con jóvenes entre 12-14 años, precisaron que el entendimiento de los estudiantes de los conceptos relacionados con el cuidado del agua queda reflejada de forma teórica, no incorpora identificación con la conservación de los recursos hídricos. Diez (2017), manifiesta que las creencias, son ideas ya asumidas por la sociedad y con la que el sujeto en su desarrollo se encuentra y adopta como interpretación de la realidad. Una de estas es la creencia: Considero que los pañales descartables facilitan la vida, de acuerdo a los hallazgos de este estudio se deduce que el 28,78% de los estudiantes consideran que la premisa es afirmativa y el 37,37 % negativa. Registramos los siguientes resultados: para el ítem en navidad está permitido comprar sin medida el 64,14% de estudiantes consigna una respuesta negativa Natalichio (2011), identificó las cualidades de un consumidor responsable: persona informada y consciente de sus hábitos de consumo, que sabe comprar y analizar el producto; haciéndose cargo no solamente de los impactos sociales y ambientales sino también de los desechos que estos generan.

Idea es el término que usamos para denominar el resultado de la actividad intelectual (Diez, 2017). De acuerdo a los

hallazgos el 88,63% de los estudiantes, considera que los empaques de aluminio de productos alimenticios envasados generan contaminación. Comprobamos diariamente que el uso de empaques nos favorece la vida, sin embargo, una vez utilizados se transforman en residuos que generan contaminación. También se ha demostrado que el aluminio es el único metal completamente reciclable, en particular, a pesar de su utilidad se ha encontrado un amplio espectro de efectos tóxicos en relación con el ambiente y la salud humana (Torrellas, 2013).

Considero que eliminar el aceite usado por el desagüe no contamina el agua. De acuerdo a los hallazgos el 67,42% respondió que eliminar el aceite usado por el desagüe NO contamina el agua y el 26,01% precisa que SI. En hogares, hoteles, restaurantes el aceite tiene amplio uso en las frituras donde sufren cambios y alteraciones que hacen necesario su desecho, que si se realiza en forma inadecuada eliminándolo por el desagüe, se constituye en una gran fuente de contaminación, porque un litro de aceite usado, contiene aproximadamente 5 000 veces más carga contaminante que el agua residual que circula por las redes de saneamiento y puede llegar a contaminar 40 000 litros de agua (González & González, s.f.).

Moreno, Corraliza & Ruiz (2005), confirman en su investigación que los participantes muestran una actitud proambiental mayoritaria, visto el alto grado de acuerdo obtenido para el conjunto de ítems, pero algo menor en cuanto a la facilitación de la conducta proambiental y la norma social, Del mismo modo, a través de los resultados de nuestra investigación los universitarios muestran actitud ambientalista líder, es decir, el 83,33 % (Figura 5) revelan muy buena afectividad, además manifiestan un claro conocimiento de la situación actual y futura del ambiente.

5. Conclusiones

La suma de las tres dimensiones permite identificar al 83,33% de estudiantes con una actitud ambientalista líder con muy buena afectividad y conducta, además de manifestar un adecuado conocimiento de la situación actual y futura del ambiente.

Los participantes de la investigación: revelan nivel A en afectividad y conducta; sin embargo, en la dimensión cognitiva muestran nivel B.

El "Cuestionario de actitud ambiental en universitarios", desarrollado es válido y confiable según juicio de expertos y prueba piloto, en cuanto a la consistencia interna las dimensiones afectiva y conductual muestran valor mínimo aceptado y la dimensión cognitiva nivel muy bajo.

4. Contribución de los autores

María Pilar Ruiz Santillán y Genara Antonia Castillo Contreras: la concepción y el diseño del estudio, la adquisición de datos, el análisis y la interpretación de los datos, el borrador del artículo y la revisión crítica del contenido intelectual, la aprobación definitiva de la versión que se presenta.

5. Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de interés.

6. Agradecimientos

Al Instituto de Investigación de la Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI, a docentes y estudiantes de: Universidad Católica de Trujillo, Universidad César Vallejo y Universidad Nacional de Trujillo quienes de manera voluntaria participaron en la investigación.

7. Referencias Bibliográficas

- Abeille, E., Soto, A., Muñoz, V., Sánchez, R., Carrera, S., Pérez, E., & Landeros, E. (2015). Características de la prueba piloto: Revisión de artículos publicados en enfermería. 14(3): 169-175.
- Amérigo, M., García, J., & Sánchez, T. (2013). Actitudes y comportamiento hacia el medio ambiente natural. Salud medioambiental y bienestar emocional. Universitas Psychologica, 12(3), 845-856.
- Bloomfield, G., & Calle, A. (s.f.). Principios para la restauración de bosques tropicales: La reforestación. Yale School of forestry & environmental studies y Smithsonian Tropical Research Institute.
<http://elti.fesprojects.net/2013Azuelo/a.calle.reforestacion.pdf>
- Bolaños, F. (s.f.). Dimensiones del problema ambiental contemporáneo. Universidad Autónoma de México.
http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/ifig/DIMENSIONE_S_DEL_PROBLEMA_AMBIENTAL_CONTEMPORANEO_Articulo.pdf.
- Bueno de la Fuente, G., & Martínez, D. (2011). Informe de Resultados de la Prueba Piloto. Cuestionario sobre los hábitos de los profesores universitarios para compartir, intercambiar y reutilizar los materiales didácticos en un entorno digital: el uso de los repositorios. Universidad Carlos III de Madrid. <https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/16004/inform?sequence=1>
- Díaz, A. (2010). Actitudes y Conductas en Educación. Innovación y

- Experiencias Educativas 37: 1-11.
- Diez, A. (2017). Más sobre la interpretación (II). Ideas y creencias. *Rev. Asoc. Esp. Neuropsiq.* 37(131): 127-143.
- Fernández, A. (2012). El agua: un recurso esencial. *Química Viva* 11(3): 147-170.
- García, A., Echeverría, C., Montero, E., Villar, E., Arévalo, I., Hernández, J., González, V., Rubio, J., Carvajal, R., & Baños, L. (2018). Reforestación y conservación de árboles nativos en el corregimiento de San Rafael municipio de San Sebastián, Magdalena. *Modul. Arquit. CUC* 20 (1): 95-108.
- González, I., & Gonzales, J. (s.f.). Aceites usados de cocina. Problemática ambiental, incidencias en redes de saneamiento y coste del tratamiento en depuradoras. Consorcio de Aguas Bilbao Biskaia. <http://residusmunicipals.cat/uploads/activitats/docs/20170427092548.pdf>
- Hayat, B., Hidayat, R., & Putra, M. (2021). Exploring the Factor Structure of Environmental Attitudes Measure in a Sample of Indonesian College Students. *Rev. CES Psico*, 14(1), 112-129.
- Najar, M., Tenjo, M., & Lancheros, K. (2018). Implementación de estrategias para incentivar el cuidado y preservación del recurso del agua, con estudiantes de 12 a 14 años en la Institución Educativa Departamental Rural "Cerezos Grandes" del municipio de Chipaque. [Tesis pregrado, Universidad del Tolima, Bogotá].
- Natalichio, R. (24 junio 2011). Consumo cuidado. Comercio justo y consumo responsable. *Revista Fusión.com*.
- Moreno, M., Corraliza, J. & Ruiz, J. (2005). Escala de actitudes ambientales hacia problemas específicos. *Psicothema* 17(3): 502-508.
- Oviedo, H., & Campo-Arias, A. (2005). Aproximación al uso del coeficiente alfa de Cronbach. *Rev.colomb.psiquiater.* 34(4): 572-580.
- Robles, P., & Rojas, M. (2015). La validación por juicio de expertos: dos investigaciones cualitativas en Lingüística aplicada. *Revista Nebrija de Lingüística Aplicada* (2015)18.
- Sánchez, M. (2008). La capa de ozono. *Revista Biocenosis* 21(1-2) 65-68.
- Torrellas, R. (2013). La exposición al aluminio y su relación con el ambiente y la salud. <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/tecges/article/view/5646/7188>
- Universitat de Barcelona (2021). Las actitudes ambientales Modelo tridimensional. CRAI - Centro de Recursos para el aprendizaje y la investigación. http://www.ub.edu/psicologia_ambiental/unidad-2-tema-4-6-c



DEGRADACIÓN DEL ACEITE LUBRICANTE POR *Pseudomonas aeruginosa*




DEGRADATION OF LUBRICATING OIL BY *Pseudomonas aeruginosa*

Carmen Esther del Rosario Lora-Cahuas^{1*}; Nélide Milly Esther Otiniano-García²; Heber Max Robles-Castillo¹

¹ Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de Trujillo, Av. Juan Pablo II s/n – Ciudad Universitaria, Trujillo, Perú.

² Instituto de Investigación en Ciencia y Tecnología. Universidad César Vallejo. Av. Larco #1770. Trujillo. Perú.

Carmen E. Lora-Cahuas:
Nélide M. Otiniano-García:
Heber M. Robles-Castillo:

 <https://orcid.org/0000-0002-4296-2641>
 <https://orcid.org/0000-0001-9838-4847>
 <https://orcid.org/0000-0003-2967-7595>

Artículo original breve

Recibido: 29 de agosto 2021

Aceptado: 28 de noviembre 2021

Resumen

El presente trabajo tuvo como objetivo determinar la degradación del aceite lubricante por *Pseudomonas aeruginosa*. En primer lugar, el cultivo fue proporcionado por el Laboratorio de Biotecnología e Ingeniería Genética de la Universidad Nacional de Trujillo, se realizó la reactivación y verificación de la pureza del cultivo, luego se procedió a la evaluación cualitativa de la capacidad de degradación de la bacteria utilizando la metodología de Hanson. En segundo lugar, se utilizaron biorreactores modelo tanque aireado y agitado con lubricante SAE-20W50 al 1% y concentración del inóculo bacteriano al 15%. La degradación del aceite lubricante se evaluó de manera indirecta mediante la determinación del crecimiento de la bacteria en el Medio Mínimo de Davies (MMD) más el lubricante, mediante la técnica de recuento en placa cada 48 h por 6 días. Se calculó la velocidad de crecimiento, la DBO₅ por la técnica de Winkler modificada por Alsterberg y el porcentaje de aceites y grasas por la técnica de Soxhlet. Así mismo, fue determinado la eficiencia de la biodegradación, mediante la fórmula de Calvin. En la prueba cualitativa, se observó que *P. aeruginosa* realizó la degradación del lubricante a partir de las 48 horas. En cuanto al crecimiento de la bacteria, se observó que alcanza la fase logarítmica a las 96 horas con una velocidad de crecimiento de 0,0619 h⁻¹. La evaluación a las 144 h del biorreactor a temperatura ambiente (22±3 °C), se observó que la DBO₅ disminuyó desde 582,42 a 62,563 mgO₂/L; los aceites y grasas disminuyeron de 1 a 0,56%, siendo la eficiencia de degradación del aceite lubricante 44%. Se concluye que *P. aeruginosa* con inóculo al 15% presenta capacidad de degradación del aceite lubricante SAE-20W50.

Palabras clave: Aceite lubricante, degradación, inóculo, *P. aeruginosa*.

Abstract

The present work aimed to determine the degradation of lubricating oil by *Pseudomonas aeruginosa*. In the first place, the culture was provided by the Biotechnology and Genetic Engineering Laboratory of the National University of Trujillo, the reactivation and verification of the purity of the culture was carried out, then a qualitative evaluation of the degradation capacity of the bacteria was carried out using Hanson's methodology. Secondly, aerated and agitated tank model bioreactors with 1% SAE-20W50 lubricant and 15% bacterial inoculum concentration were used. The degradation of the lubricating oil was indirectly evaluated by determining the growth of the bacteria in Davies' Minimum Medium (MMD) plus the lubricant, using the plate count technique every 48 h for 6 days. The growth rate, the BOD₅ were calculated by the Winkler technique modified by Alsterberg and the percentage of oils and fats by the Soxhlet technique. Likewise, the efficiency of biodegradation was determined, using the Calvin formula. In the qualitative test, it was observed that *P. aeruginosa* carried out the degradation of the lubricant after 48 hours. Regarding the growth of the bacteria, it was observed that it reaches the logarithmic phase at 96 hours with a growth rate of 0.0619 h⁻¹. The 144 h evaluation of the bioreactor at room temperature (22±3 °C), it was observed that the BOD₅ decreased from 582.42 to 62.563 mgO₂/L; oils and greases decreased from 1 to 0.56%, the degradation efficiency of lubricating oil being 44%. It is concluded that *P. aeruginosa* with inoculum at 15% shows the degradation capacity of the lubricating oil SAE-20W50.

Keywords: Degradation, inoculum, lubricating oil, *P. aeruginosa*.

* **Autor para correspondencia:** clora@unitru.edu.pe

DOI: <http://dx.doi.org/10.17268/rebiol.2021.41.02.07>

Citar como:

Lora-Cahuas, C., Otiniano-García, N., & Robles-Castillo, H. 2021. Degradación del aceite lubricante por *Pseudomonas aeruginosa*. REBIOL, 41(2):213-220.



1. Introducción

En la actualidad el mal manejo de los lubricantes está ocasionando la contaminación del suelo, lo que está originando un gran problema ambiental. Dentro de las actividades más frecuentes se encuentra los derrames en los talleres mecánicos automotrices los cuales generan residuos que producen contaminación tanto del suelo como del agua (Semarnat, 2005; Quiliche & Huayna, 2015). A nivel mundial el uso de aceites lubricantes alcanza los 40 millones de toneladas anuales y de esos el 60% corresponden al aceite lubricante usado. Por lo tanto, son los residuos contaminantes más abundantes (Depuroil, 2005; Cabrera, 2018).

Los componentes básicos de un aceite lubricante son: la base, compuestos por una mezcla de hidrocarburos orgánicos (TPH), bifenilos policlorados, aromáticos policíclicos y aditivos tales como metales, que ocasionan daño en el medioambiente y en la salud de los humanos. Por lo mencionado esta sustancia tiene efectos tóxicos, venenosos y cancerígenos por lo que la reglamentación establecida en el Convenio de Basilea la considera como sustancia de difícil biodegradación catalogándolo como residuo peligroso (Vásquez et al., 2010)

En nuestro país el Decreto Supremo N° 037-2008-PCM 037 aprueba la reglamentación de las Actividades de Hidrocarburos para la Protección Ambiental, en el cual incluye al aceite automotriz usado, como residuo peligroso. El límite máximo permisible de TPH aceites y grasas es de 20 mg/L (El Peruano, 2008). Por lo tanto, si excede a esta concentración va a provocar daño en el ambiente y la salud humana, originando alteraciones en donde es vertido o derramado. Cuando este lubricante se expone a la luz solar y al aire puede producir grandes cantidades de compuestos tóxicos, como Pb, Zn y Cr (Daud et al., 2016). Si se esparce en el suelo puede difundirse rápidamente, lo que produce una formación de una película que no permite el ingreso de oxígeno dando lugar a suelos infértiles o pocos productivos. Si se vierte un litro de aceite al agua se contaminarán 1 000 000 litros de la misma (Manzanares & Ibarra-Ceceña, 2012).

Una de las tecnologías limpias para tratar ambientes contaminados con aceites lubricantes es la biorremediación, la cual busca resolver los problemas de contaminación utilizando los microorganismos, como

bacterias que puedan degradar con facilidad una gran variedad de compuestos tales como el petróleo y sus derivados (Conesa et al., 2002; Pérez et al., 2015).

P. aeruginosa es una bacteria Gram-negativa que pertenece a las proteobacterias, su aislamiento es de aguas contaminadas, muestras de suelo, plantas y animales; así como, de muestras clínicas de diverso origen. Para desarrollarse, puede utilizar una gran variedad de compuestos orgánicos, lo que le facilita la colonización de diversos lugares en donde otras bacterias no crecerían. Soberón (2010) realizó estudios donde logró aislar *P. aeruginosa* en sustancias tales como combustible de avión, jabón y solución de clorhexidina.

En muchos estudios se ha demostrado que esta bacteria tiene también la capacidad de degradar hidrocarburos y sus derivados en parte, se debe a que, en presencia de sustancias de naturaleza oleosa, produce biosurfactantes conocidos como ramnolípidos, que pertenecen al grupo de glicolípidos, importantes debido a su baja tensión superficial, alta capacidad emulsionante, así como su gran afinidad por moléculas orgánicas hidrófobas (Soberón, 2010; Fracchia et al., 2012; Patowary et al., 2017; Xu et al., 2020).

Bhasheer et al. (2014), utilizando la técnica de Hanson, evaluó la actividad degradativa por detección rápida y sencilla para microorganismos con potencial de degradación de petróleo crudo, esta prueba se sustenta en la habilidad de algunos microorganismos para emplear el lubricante como única fuente de carbono el cual indicará cambio de color del Diclorofenolindofenol (indicador de oxidorreducción) de color azul a incoloro)

En México, Manzanares & Ibarra-Ceceña (2012) hicieron un estudio acerca del destino final del empleo y manejo de residuos de aceite automotriz, concluyendo que la falta de buenas prácticas y el empirismo que realizan en el cambio de aceite causan daño al ecosistema.

Galindo & Llontop (2015) investigaron a *Pseudomonas* obtenidas de suelo contaminado con petróleo, determinando que eran capaces de emplear el petróleo como fuente de carbono y energía, lo que demostró su capacidad de descomposición de este compuesto.

Quiliche & Huayna (2015), aislaron e identificaron a *Pseudomonas aeruginosa* que provenían de suelos de talleres automotrices con gran potencial biorremediador.

En Ecuador, Cevallos & García (2018) valoraron la degradación de suelos con hidrocarburos usando *A. niger*, *P. ostreatus* y *P. aeruginosa* obteniéndose biodegradación del 19%, 10%, y 42% respectivamente y cuando se utilizaron los tres microorganismos se obtuvo el 44% degradación. Chirre et al. (2019), realizaron un trabajo en Lima (Perú) acerca de la degradación de aceite lubricante automotriz incrustado en arcilla, con una mezcla bacteriana compuesto por *Pseudomonas montielli*, *Rhodococcus pyridinivorans* y *Bacillus sp.* Se obtuvo 50% de biodegradación del aceite lubricante usado (hidrocarburos totales-TPH) a los 59 días, en comparación a la realizada a los 13 días, en el que se obtuvo menos del 2% Mendoza-Avalos & Guerrero-Padilla (2015) evaluaron la capacidad de biodegradación del petróleo Diesel 2 por *P. aeruginosa* en agua de mar (período 5 días) encontrándose que mientras ocurría el proceso de biodegradación de petróleo Diesel disminuía el consumo de oxígeno con respecto a las concentraciones de petróleo Diesel 2 y DBO₅.

La presente investigación tuvo como objetivo general determinar la degradación del lubricante por *P. aeruginosa* con inóculo al 15%; así como, determinar la eficiencia de degradación.

2. Materiales y métodos

El estudio se hizo con un diseño tipo experimental de una sola casilla de antes y después (problema) incluyendo un testigo (sin estímulo). Como material biológico, se empleó un cultivo puro de *Pseudomonas aeruginosa* proporcionada por el Laboratorio de Biotecnología e Ingeniería Genética. Facultad de CCBB. Universidad Nacional de Trujillo.

Como material no biológico se empleó aceite lubricante marca Shell HELIX HX5 SAE 20W50 G de origen mineral.

Reactivación de *Pseudomonas aeruginosa*

El cultivo de *P. aeruginosa* se reactivó sembrando en tubos 16x150 mm con caldo Infusión Cerebro Corazón (BHI) e incubando a 37 °C en estufa Memmert, durante 24 h. Luego se realizó coloración Gram y observación microscópica para comprobar la pureza del cultivo.

Evaluación cualitativa de la degradación del aceite lubricante SAE 20W50

La microdilución se realizó utilizando la técnica de Hanson (usado por Mendoza-Avalos & Guerrero-Padilla, 2015), colocando: 500 uL de medio Bushnell-Haas en tubos de 13x100 mm, 50 uL de inóculo de *P. aeruginosa* ($1,5 \times 10^8$ UFC/mL), 20 uL aceite lubricante al 2% y 10 uL de 2,6-diclorofenolindofenol (DCPIP) como indicador de óxido reducción. El set de tubos se incubó a 30°C, en la incubadora por 24 horas (tres repeticiones). Luego, se procedió a evaluar la capacidad degradativa a través de la observación del cambio de color en los tubos donde la bacteria actuó sobre el aceite lubricante. El indicador 2,6-DCPIP demuestra la capacidad degradativa de *P. aeruginosa* al emplear los hidrocarburos del lubricante como sustrato por medio del cambio de color de forma oxidada (azul) a forma reducida (incolora) (Afuwale & Modi, 2012; Bhasheer et al., 2014).

Diseño y acondicionamiento de biorreactores

Los biorreactores fueron construidos teniendo en cuenta las dimensiones establecidas por Brauer (1985) y Doran (1998). Se consideró el modelo Tanque Cilíndrico Aireado y Agitado (TCAA) con 0,5 L volumen de trabajo (1 VVM de aireación) y 1,0 L de volumen total. La velocidad de 480 rpm (usando motores de 5 V) permitió un Número de Reynolds (N_{RE}) igual a $2,1 \times 10^4$, de flujo turbulento (mezclado homogéneo) a temperatura ambiente (22 ± 3 °C). Los 2 biorreactores se desinfectaron con hipoclorito de sodio al 1,0%. Un biorreactor se utilizó como sistema testigo (sin inóculo) y el otro biorreactor como sistema experimental Problema (con inóculo al 15%).

Preparación de los materiales para determinar la capacidad de degradación por *Pseudomonas aeruginosa* con inóculo al 15% sobre el aceite lubricante SAE 20W50.

Se sembró el cultivo puro de *P. aeruginosa* en tubos con Agar Soya Trypticase (TSA), luego de 24 h, se estandarizó el inóculo, a partir del tubo N° 1 de Mac Farland (3×10^8 cel/mL) y con diluciones seriadas se obtuvo la concentración final de 3×10^6 cel/mL. A partir de esta dilución, se tomaron 75 mL (inóculo al 15%), el aceite lubricante al 1%, y fueron agregados al biorreactor problema con un volumen final

del medio Mínimo de Davis (MMD) de 0,5 L. Al biorreactor testigo solo se agregó el aceite lubricante al 1%. Se preparó Agar para Recuento en Placa (PCA), tubos de 16 x 150 mm con 9,0 mL de SSF para hacer las diferentes diluciones que se emplearon en el recuento UFC/mL, método por incorporación (Niño-Camacho & Torres-Sáenz, 2010). Se prepararon todos los materiales para la determinación del DBO₅ por la técnica de Winkler modificado por Alsterberg. (Navarro, 2007; IDEAM, 2007); y para la determinación de grasas por el método Soxhlet. (EPA, 1996; APHA, 2017).

Control y Monitoreo del proceso de degradación biológica

La biodegradación del aceite lubricante por *P. aeruginosa*, al 15% fue evaluado mediante: 1) Recuento de aerobios mesófilos viables a las 0, 48, 96 y 144 h como una medida indirecta de la degradación del aceite lubricante. 2) Demanda Bioquímica de Oxígeno, técnica de Winkler Modif-Alsterberg (IDEAM, 2007; Navarro, 2007) para determinar el consumo de oxígeno que en este caso *P. aeruginosa*, necesita para degradar las sustancias en la muestra (lubricante). Se realizó a las 0 y 144 h. 3) Determinación de aceites y grasas por el método Soxhlet (EPA, 1996; APHA, 2017) en el cual se va a determinar el contenido de aceites y grasas del lubricante cuyo resultado se encontrará al evaluar el concentración inicial y final de la extracción a las 0 y 144 h. El cálculo de la eficiencia de la biodegradación se realizó con la fórmula de Calvin, utilizado por Jáuregui & Robles (2017).

$$Efic. Biodeg. = \frac{\text{Conc. aceite inicial} - \text{Conc. aceite final}}{\text{Conc. aceite inicial}} \times 100$$

3. Resultados

Tabla 1. Evaluación cualitativa de la degradación del aceite lubricante SAE 20W50 por *P. aeruginosa*, según el método de Hanson utilizado por Mendoza-Avalos & Guerrero-Padilla (2015).

Lectura de la Microdilución		
Tiempo (h)	cambio de color	
0	(-)	(-)
24	(+)	(+)
48	(++)	(++)
Incoloro	(+)	
Azul	(-)	

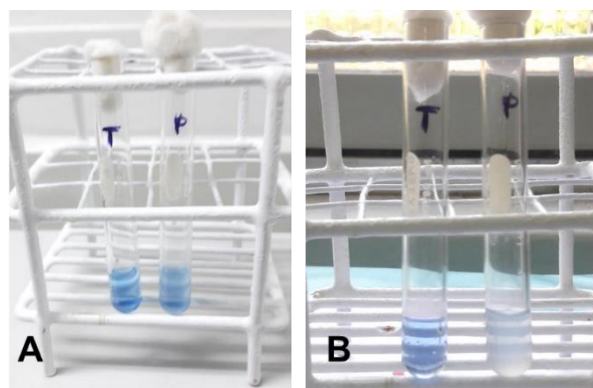


Figura 1. Degradación cualitativa del aceite lubricante SAE 20W50 por *P. aeruginosa* (A: 0 h y B: 48 h) utilizando el indicador 2,6-diclorofenolindofenol (2,6-DCPIP). Sin degradación (negativo -, azul) y con degradación (positivo +, incoloro). T = Testigo (sin inóculo) y P = Problema (con inóculo).

Tabla 2: Recuento de bacterias aerobias mesófilas viables de *P. aeruginosa* con inóculo al 15% en la degradación del lubricante SAE 20W50.

Tiempo (h)	Recuento de Bacterias Aerobias Mesófilas Viables (UFC/mL)
0	5,3 x 10 ⁷
24	3,9 x 10 ¹⁰
96	7,0 x 10 ¹¹
144	4,1 x 10 ¹¹

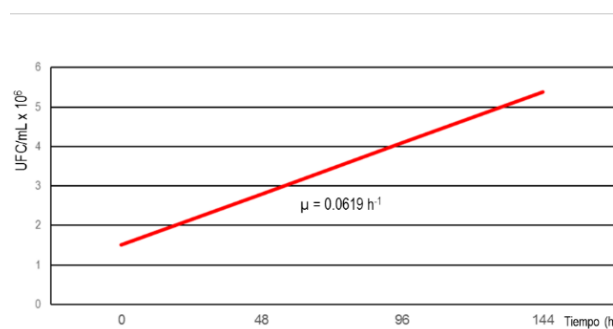


Figura 2: Tasa de crecimiento (μ) de *P. aeruginosa* en aceite lubricante SAE-20W50 en un biorreactor cilíndrico aireado y agitado de 0,5 L.

Tabla 3. Determinación del Oxígeno disuelto en el biorreactor usando a *P. aeruginosa* con inóculo al 15 % en la degradación del lubricante SAE 20W50.

Muestra	Oxígeno disuelto (mg O ₂ /L)			
	0 h		144 h	
Tiempo (días)	0	5	0	5
Testigo	0,84	0,40	6,84	0,81
Problema	0,84	0,81	7,25	1,20

Tabla 4: Determinación del DBO₅ en el biorreactor usando a *P. aeruginosa* al 15 % en la degradación del aceite lubricante SAE 20W50.

Tiempo (h)	DBO ₅ (mg O ₂ /L)	
	0	144
Testigo	624,03	582,42
Problema	624,03	62,56



Figura 3. Biorreactor control (transparente) e inoculado (verde) con *P. aeruginosa* al 15 % en la degradación del lubricante SAE 20W50 a las 144 h.

Tabla 5: Degradación del aceite lubricante SAE 20W50 por *P. aeruginosa* a las 144 h en Medio Mínimo de Davies (determinación de aceites y grasas por el Método Soxhlet).

Tiempo (h)	% Aceites y Grasas (v/v)	
	0	144
Testigo	1,00	1,00
Problema	1,00	0,56

Tabla 6. Eficiencia degradación del aceite lubricante SAE 20W50 en un biorreactor con inóculo del 15% de *P. aeruginosa* (Problema) y en otro biorreactor sin inóculo (Testigo) a las 144 h de incubación.

	Concentración de aceites (% v/v)		Eficiencia de degradación (%)
	Inicial	Final	
Testigo	1,00	1,00	0.00
Problema	1,00	0,56	44.00

4. Discusión

Los resultados mostraron que *P. aeruginosa* utilizó el sustrato de hidrocarburos (lubricante) cuando se suministraron como única fuente carbonada y energética, que indica que pudo degradar y consumir el aceite para su crecimiento y desarrollo, observado por la turbidez y el cambio de color (Figura 1).

Para determinar la evaluación cualitativa degradativa se realizó mediante la prueba desarrollada por Hanson, utilizado por Mendoza-Avalos & Guerrero-Padilla (2015) la cual se sustenta en la capacidad de algunos microorganismos para emplear el lubricante (petróleo) como única fuente de carbono el cual indicará cambio de color del Diclorofenolindofenol (indicador de oxidorreducción) de color azul a incoloro (Bhasheer et al., 2014).

Durante el proceso de oxidación de hidrocarburos por los microorganismos, el oxígeno, los nitratos y sulfato, actúan como aceptores de electrones. Al incorporar como aceptor de electrones el DCPIP, se puede determinar la capacidad del microorganismo para utilizar los hidrocarburos como sustratos observando el cambio de color de DCPIP oxidado (azul) ha reducido (incoloro) (Mendoza-Avalos y Guerrero-Padilla, 2015).

El medio empleado fue Bushnell-Haas brinda todos los nutrientes que necesita el microorganismo para su crecimiento y producción de biosurfactantes, tales como el magnesio, hierro, K₂HPO₄.KH₂PO₄ y el NH₄NO₃ (utiliza los nitratos como aceptor final de electrones) (Holmboe et al., 2001).

En relación al crecimiento de *P. aeruginosa* al 15%, se suplementó el medio de cultivo con 1% de aceite lubricante como única fuente de carbono, en esta prueba, se pudo corroborar que al utilizar el lubricante como fuente carbonada esta bacteria presenta fases de desarrollo en donde la fase log, es la más remarcada e importante, ya que es en esta fase es donde ocurre la degradación de compuestos.

Se observó que la fase logarítmica de crecimiento ocurre a las 96 h con una velocidad de crecimiento de $0,0619 \text{ h}^{-1}$ y a las 144 h el número de UFC/mL empieza a ser constante (Tabla 2 y Figura 2).

Para poder degradar el aceite, *P. aeruginosa* produce sustancias surfactantes que van a ayudar en el proceso de degradación del lubricante SAE-20W50 (Hidrocarburo). Esto se ha demostrado en diversos estudios, que indican que algunas bacterias de los géneros *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Acinetobacter*, *Alcaligenes*, *Alcanivorax*, *Rhodococcus*, y *Corynebacterium*, producen biosurfactantes que actúan de manera eficiente en la degradación de petróleo crudo. La molécula del biosurfactante tiende a reducir la tensión de la superficie e interface entre sólidos, líquidos y gases. Forma micelas alrededor del hidrocarburo, lo que produce un incremento de la superficie del sustrato hidrocarbonado facilitando su emulsificación y así mejora la disponibilidad a través de la solubilización en agua (Abbasian et al., 2016; Parthipan et al., 2017; Patowary et al., 2017). Así, en su trabajo Varjani & Upasani (2017) plantearon que *P. aeruginosa* DS 10-129 produce un tipo de biosurfante ramnolípido en lugares contaminados con gasolina y diésel. De otro lado Kaskatepe & Yildiz (2016) encuentran en sus trabajos que estos ramnolípidos tienen un gran potencial, para la remediación de suelos contaminados debido a su biodegradabilidad y baja toxicidad.

Mondragón (2011) determinó que esta bacteria empieza su fase log a las 4 horas y termina a las 24 horas. En nuestro trabajo, las condiciones no fueron las mismas que las reportadas; sin embargo, nuestros hallazgos revelan que la fase logarítmica se mantiene desde las 48 h, aumentando de 10^7 a 10^{10} UFC/mL. De otro lado, Varjani et al. (2015), en un estudio con *P. aeruginosa* donde utiliza alcanos como fuente principal de carbono y metabólicamente demora 5 horas para poder adaptarse de las condiciones desfavorables. En el caso nuestro evaluamos el crecimiento

de *P. aeruginosa* utilizando como fuente de carbono el aceite lubricante SAE 20W50, desarrollándose favorablemente y manifestando la degradación del mismo. Vilasó et al. (2016), determinaron que cuando esta bacteria se encuentra a temperaturas entre $15 \text{ }^\circ\text{C}$ a $50 \text{ }^\circ\text{C}$, su capacidad de biodegradación del petróleo se debe la producción de biosurfactantes ya que estos disminuyen la tensión interfacial cuando el hidrocarburo este mezclado con agua. De otro lado, Molano & Flórez (2016) confirmaron que *P. aeruginosa* tiene un óptimo crecimiento y excelente adaptación al sustrato comparada con otros microorganismos, por lo tanto, es una buena candidata para procesos de biodegradación de hidrocarburos. En el caso nuestro también se pudo observar la degradación de aceite lubricante SAE 20W50. Durante el experimento se observó el crecimiento de la bacteria de 10^7 hasta 10^{11} UFC/mL, lo que indirectamente implica degradación del lubricante compuesto de hidrocarburos debido a la producción de ramnolípidos, lo que se evidenció de un color crema en la superficie del biorreactor y en todo el líquido se observó un color verdoso se debe a los pigmentos que *P. aeruginosa* produce a partir de una fuente de carbono, en este caso, el aceite lubricante SAE-20W50.

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), fue utilizado como indicador de degradación de materia orgánica en forma indirecta. Según los resultados obtenidos, se aprecia una clara disminución del DBO_5 en el biorreactor Problema ($62,56 \text{ mgO}_2/\text{L}$) con respecto al biorreactor Control ($582,42 \text{ mgO}_2/\text{L}$), por lo que se puede inferir que *P. aeruginosa* ha degradado al aceite lubricante (Tabla 4). Pues como se sabe, la DBO_5 viene a ser la cantidad de oxígeno disuelto (mgO_2/L) que se requieren para degradar materia orgánica de una muestra por la acción bioquímica aeróbica de microorganismos en condiciones determinadas por 5 días a 20°C (Navarro, 2007).

Este resultado es similar a los reportados en otras investigaciones que emplearon la DBO_5 para indicar de manera indirecta la degradación de compuestos orgánicos, tal es el caso de Mendoza-Avalos & Guerrero-Padilla (2015), en el que encontraron que al degradar el petróleo Diesel-2 hubo una disminución del DBO_5 en agua de mar. Así mismo, Jáuregui & Robles (2017) reportaron que, utilizando otra sustancia, como la vinaza, hubo disminución del DBO_5 de 270 a $129 \text{ mgO}_2/\text{L}$ por un consorcio

bacteriano, lo que significa que las sustancias biodegradables (nitratos) contenidas en este sustrato han sido degradadas.

La utilización del método de Soxhlet para determinar la grasa total en los biorreactores, permitió observar la disminución porcentual de la grasa del lubricante, lo que indica que la bacteria ha degradado a este compuesto (Tabla 5). Por lo tanto, se puede asumir que el crecimiento bacteriano, el DBO₅ y las grasas totales, son indicadores indirectos de la degradación del lubricante SAE-20W50 obteniéndose una eficiencia de biodegradación a los 6 días del 44%. (Tabla 6) Comparado con González et al. (2019), ellos encontraron un 50% de remoción de aceites en aguas residuales de lava autos-lubricentros cuando se agregó un consorcio bacteriano conformadas por *Mycobacterium* sp. *Acinetobacter* sp. y *Pseudomonas* sp.

5. Conclusiones

Se determinó que *Pseudomonas aeruginosa* en inóculo al 15%, degrada el aceite lubricante SAE 20W50 a las 144 horas.

Se demostró cualitativamente la capacidad de degradación de aceite lubricante SAE-20W50 por *Pseudomonas aeruginosa*.

Pseudomonas aeruginosa desarrolla bien en medio de cultivo con aceite lubricante al 1%, alcanzando la fase logarítmica a las 96 horas, con una velocidad de crecimiento de 0,0619 h⁻¹.

La DBO₅ disminuye durante el tratamiento de aceite lubricante SAE 20W50 con *Pseudomonas aeruginosa*, observándose una variación de 582,42 a 62,56 mgO₂/L a las 144 horas. Se observó disminución de aceites y grasas por el método de Soxhlet del 1% a 0,56% en 144 horas.

La eficiencia de degradación de aceite lubricante SAE-20W50 por *Pseudomonas aeruginosa* fue de 44%.

6. Contribución de los autores

C. E. Lora-Cahuas: Concepción de la idea, interpretación de datos y aprobación final de informe

N. M. E Otiniano-García: Concepción de la idea, interpretación de datos y aprobación final de informe

H. M. Robles-Castillo: Recolección y procesamiento de datos.

7. Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de interés.

7. Agradecimientos

Un agradecimiento especial al Laboratorio de Biotecnología e Ingeniería Genética de la Universidad Nacional de Trujillo, Perú; por el apoyo logístico y de ambientes brindados, posibilitando de esta manera la realización de la presente investigación.

8. Referencias Bibliográficas

- Abbasian, F., Lockington, R., Megharaj, M., & Naidu, R. (2016). A review on the genetics of aliphatic and aromatic hydrocarbon degradation. *Appl. Biochem. Biotechnol*, 178, 224e250.
- Afuwale, C., & Modi, H. (2012). Study of bacterial diversity of crude oil degrading bacteria isolated from crude oil contaminated sites. *Life sciences léanles*, 6, 13-23.
- American Public Health Association (APHA). (2017). "5520-D Aceite y grasa", Métodos estándar para el análisis de agua y aguas residuales. <https://www.standardmethods.org/doi/abs/10.2105/SMWW.2882>.
- Bhasheer, S., Umavathi, S., Banupriya, D., Thangavel, M., & Thangam, Y. (2014). Diversity of diesel degrading bacteria from a hydrocarbon contaminated soil. *App. Sci*, 3(11), 363-369.
- Brauer, H. (1985). *Stirred Vessel Reactors*. In: *Biotechnology Vol 2. Fundamentals of Biochemical Engineering*. Edited by J. Rehm and G. Reed. Deutsche Bibliothek cataloguing.
- Cabrera, J. (2018). Elaboración de un diagnóstico de la gestión de aceites automotrices usados generados en lubricadoras y estaciones de servicio para el planteamiento de una propuesta de manejo adecuado ciudad de Quevedo, provincia de los Ríos-2016. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Tumbes, Perú].
- Cevallos, P., & García, D. (2018). Evaluación de la biodegradación de suelos contaminados con hidrocarburos utilizando *Aspergillus niger*, *Pleorotus ostreatus* y *Pseudomonas aeruginosa*. [Tesis para título, Universidad Politécnica Salesiana. Quito, Ecuador].
- Chirre, J., Patiño, A., & Erazo, E. (2019). Estudio de la biodegradación de residuos de aceite lubricante retenidos en bentonita usando el consorcio bacteriano oil eating microbes (*Rhodococcus*, *Pseudomonas* y *Bacillus*). *Rev Soc Quím Perú*, 85(2), 163-174.
- Conesa, A., Punt, P., Van, D., & Hondel, C. (2002) Fungal peroxidases: Molecular aspects and applications. *J. Biotechnol*, 193,143-158.
- Daud, S., Najib, M., & Zahed, N. (2016). Classification of lubricant oil odor-profile using casebased reasoning. *Process and Control (ICSPC)*, 207-2012).
- Depuroil, S. A. (2005). Riesgos medioambientales de los aceites industriales. <http://www.euskalnet.net/depuroilsa/Divulgacion.html>
- Doran, P M. (1998). *Principios de Ingeniería de los Bioprocesos*. Edit. Acribia. Zaragoza. España.
- El Peruano NT. 2008. Ley 28611 DS N°037-2008-PCM y DS N° 015-2006-EM. Perú.
- Fracchia, L., Cavallo, M., Martinotti, M., & Banat, I. (2012). Biosurfactants and Bioemulsifiers Biomedical and Related Applications-Present Status and Future Potentials. <https://www.intechopen.com/chapters/26371>

- Galindo, M., & Llontop, J. (2015). Eficiencia de la biorremediación de suelos contaminados con petróleo por bacterias nativas de la provincia de Talara, región Piura. [Tesis título, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Perú].
- González, J., Heredia, D., & Rodríguez, R. (2019). Biorremediación de hidrocarburos en aguas residuales con cultivo mixto de microorganismos: caso Lubricadora Puyango. Enfoque UTE, 10, 185-196.
- Holmboe, N., Kristensen, E. & Andersen, F. (2001). Anoxic decomposition in sediments from a tropical mangrove forest and the temperate wadden sea: implications of N and P additions. *Estuar. Cost. Shelf*, 53, 125-140.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2007). Determinación de Oxígeno Disuelto método Yodométrico modificación de Azida. <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Ox%C3%ADgeno+Disuelto+M%C3%A9todo+Winkler.pdf/e2c95674-b399-4f85-b19e-a3a19b801dbf>
- Jáuregui, S., & Robles, H. (2017). Efecto de la concentración de inóculo de un consorcio bacteriano nativo en la degradación de los nitratos de vinaza de una destilería de alcohol. *Agroind. Sci*, 7(2), 57-66.
- Kaskatepe, B., & Yildiz, S. (2016). Rhamnolipid biosurfactants produced by *Pseudomonas* species. *Braz. Arch. Biol. Technol*, 59, e16160786.
- Manzanares, L., & Ibarra-Ceceña, M. (2012). Diagnóstico del uso y manejo de los residuos de aceite automotriz en el Municipio del Fuerte. *Univ. Autónoma Indígena de México. Sinaloa Ra Ximhai*, 8(2),129-137.
- Mendoza-Avalos, A., & Guerrero-Padilla, A. (2015). Biodegradación de petróleo diesel-2 en agua de mar por *Pseudomonas aeruginosa* en un biorreactor aireado y agitado. *Revista SCIENDO*, 18(1), 23-37.
- Molano, J., & Flórez, M. (2016). Prueba piloto para la determinación de la tolerabilidad del carbofurano usando *Pseudomonas* sp. proveniente del suelo. [Tesis para Título, Universidad La Salle. Bogotá, Colombia].
- Mondragón, L. (2011). Aislamiento y caracterización de cepas bacterianas aerobias autóctonas de yacimientos petroleros productoras de biosurfactantes para su aplicación en técnicas de MEOR. [Tesis de maestría. Instituto Politécnico Nacional, México].
- Navarro, M. (2007). Demanda Bioquímica de Oxígeno 5 días, incubación y electrometría. TP0087. IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales). República de Colombia.
- Niño-Camacho, L., & Torres-Sáenz, R. (2010). Implementación de diferentes técnicas analíticas para la determinación de biomasa bacteriana de cepas *Pseudomonas putida* biodegradadoras de fenol. *Revista ION*, 23 (1),41-46.
- Parthipan, P., Preetham, E., Machuca, L., Rahman, P., Murugan, K., Rajasekar, A. (2017). Biosurfactant and degradative enzymes mediated crude oil degradation by bacterium *Bacillus subtilis* A1. *Front. Microbiol.* 8, 193.
- Patowary, K., Patowary, R., Kalita, M., & Deka, S. (2017). Characterization of biosurfactant produced during degradation of hydrocarbons using crude oil as sole source of carbon. *Front. Microbiol*, 8, 279.
- Pérez, R., Silva, M., Peñuela, G., & Cardona, G. (2015). Evaluación de biocombustibles e hidrocarburos del petróleo (gasolina y diesel) en un suelo: proceso de transporte y biorremediación. *Revista EIA*,12, 21-46
- Quiliche, J., & Huayna, D. (2015). Aislamiento e identificación de *Pseudomonas aeruginosa* provenientes de suelos en talleres de automóviles con potencial en biorremediación. *Infinitum*, 5(2), 105-109.
- Semarnat. (2005). Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y remediación. Secretaría de medio ambiente y recursos naturales. Diario oficial de la federación. México. 21 p.
- Soberón, C. (2010). *Pseudomonas aeruginosa*. UNAM. México. http://congresos.cio.mx/3_enc_mujer/files/orales/Extensos/Ponencia%2010.doc
- United States Environmental Protection Agency (EPA). (1996). SW-846 Method 3540C Soxhlet Extraction. Manual. Government Printing Office. <https://19january2017snapshot.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/3540c.pdf>
- Varjani, A., & Upasani, V. (2017). Crude oil degradation by *Pseudomonas aeruginosa* BCIM 5514: Influence of process parameters. *Indian Journal of Experimental Biology*. 55, 493-497.
- Varjani, S., Rana, D., Jain, A., Bateja, S., & Upasani, V. (2015). Synergistic ex-situ biodegradation of crude oil by halotolerant bacterial consortium of indigenous strains isolated from on shore sites of Gujarat, India. *Int. Biodeterior. Biodegradation*, 103, 116-124.
- Vásquez, M., Guerrero, J., & Quintero, A. (2010). Biorremediación de lodos contaminados con aceites lubricantes usados. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 12(1),141-157.
- Vilasó, J., Rodríguez, O., & Ábalos, A. (2016). Extracción de petróleo en suelo contaminado empleando ramnólpidos producidos por *Pseudomonas aeruginosa* ORA9. *Rev. Int. Contam. Ambie*, 33 (3), 485-493.
- Xu, A., Wang, D., Ding, Y., Zheng, Y., Wang, B., Wei, Q., Wang, S., Yang, L. & Ma, L. (2020). Integrated comparative genomic analysis and phenotypic profiling of *Pseudomonas aeruginosa* isolates from crude oil. *Front. Microbiol*, 11, 519.




EL GÉNERO *Danaus* (KLUK, 1780) (NYMPHALIDAE: DANAINAE) EN EL VALLE DEL RÍO RÍMAC (LIMA-PERÚ)

THE GENUS *Danaus* (KLUK, 1780) (NYMPHALIDAE: DANAINAE) ON THE RIMAC'S RIVER VALLEY (LIMA-PERU)

Rubén A. Guzmán Pittman^{1*}

¹Asociación Científica Para la Conservación de la Biodiversidad.

Rubén A. Guzmán Pittman:

 <https://orcid.org/0000-0002-9826-6100>

Artículo original breve

Recibido: 14 de setiembre 2021
Aceptado: 20 de noviembre 2021

Resumen

En Perú, se describen cuatro especies del género *Danaus*, dos de las cuales, para la vertiente del Pacífico, en años recientes, basados en la comunidad de iNaturalist, se incluye erróneamente a *D. erippus* para la zona de estudio, además de las ya conocidas *D. plexippus nigrippus* y *D. eresimus erginus*, por lo que se describen cuatro ejemplares correspondientes a las dos especies confirmadas para la zona de estudio.

Palabras clave: Biogeografía, Danainae, morfología, taxonomía.

Abstract

In Peru, four species of the genus *Danaus* are described, two of which, for the Pacific slope, in recent years, based on the iNaturalist community, *D. erippus* is wrongly included for the study area, in addition to those already known *D. plexippus nigrippus* and *D. eresimus erginus*, for which four specimens corresponding to the two confirmed species for the study area are described.

Keywords: Biogeography, Danainae, morphology, taxonomy.

* Autor para correspondencia: ragp1981@gmail.com

DOI: <http://dx.doi.org/10.17268/rebiol.2021.41.02.08>

Citar como:

Guzmán, R. 2021. El género *Danaus* (Kluk, 1780) (Nymphalidae: Danainae) en el valle del Río Rímac (Lima-Perú). REBIOL, 41(2):221-232.

Introducción

Los insectos comprenden la mayor diversidad de especies, superando a todos los demás grupos animales con unas 915 350 especies en total, llegando a un estimado de seis millones de especies incluyendo las no descritas (Novotny et al., 2002). Considerados como el segundo orden más diversificado de insectos, el orden Lepidoptera (del griego *Lepis*, escamas y *Pteron*, alas), el número de especies no es concluyente, con unas 255000 especies aproximadamente, pudiendo incluso llegar a sobrepasar las estimaciones (Kristensen et al., 2007).

La familia Nymphalidae cuenta con unas 7 250 especies descritas (García-Robledo et al., 2002). Dentro de esta familia, el género *Danaus* es ampliamente conocido por su

especie *D. plexippus*, que realiza largas migraciones entre México y Canadá (Galindo-Robledo et al., 2005) teniendo 12 especies reconocidas (Smith et al., 2005), cuatro de las cuales, *D. plexippus nigrippus*, *D. eresimus erginus*, *D. erippus* y *Danaus chryssippus candidus* habitan en territorio peruano (Lamas, 2003) que, debido a las características ambientales, no realizan grandes migraciones.

En Perú, principalmente en Lima, se conoce más a *Danaus plexippus* por estar más vinculada a zonas urbanas, en los últimos años, se la ha confundido con *D. erippus*, ya que esta última es muy similar pero su distribución abarca el extremo sur del Perú hacia Bolivia y Chile (Canals, 2000). En el ámbito del valle del Rímac, el género *Danaus* tiene una distribución altitudinal con solapamiento poblacional,

es decir, ambas especies coexisten entre los 200 y los 1400 msnm, teniendo plantas hospederas diferentes, sólo sobre los 1400 msnm se encuentra *D. eresimus erginus*, entre los 1400 y 200 msnm, ambas especies, y entre los 200 hasta el nivel del mar, sólo *D. plexippus nigrippus* según lo que se ha observado en el presente trabajo.

Las determinaciones erróneas en páginas de acceso libre para observaciones de biodiversidad, causan confusión en cuanto a las especies que se encuentran en el ámbito del valle del río Rímac, por lo que este trabajo se propone en aclarar los problemas de determinación y a su vez, describir minuciosamente los adultos de ambas especies registradas para la zona, de tal forma de que pueda ser una base para determinaciones más certeras de las especies del género.

1. Materiales y Métodos



Figura 1. Mapa de las localidades de colecta (GoogleMaps, 2020)

1. Chaclacayo 11°59'16.8"S 76°47'49.9"W (700msnm)
2. San Bartolomé 11°55'12.2"S 76°31'23.1"W (1800msnm)

Para la descripción de las especies es sumamente importante contar con material biológico de estudio, por lo que se colectaron ejemplares característicos, los especímenes se colectaron de la forma tradicional (Gaviño, 1972), mediante mangas entomológicas, transportados en papillotes (sobres para lepidópteros), haciendo el montaje en extensores de alas, en la posición standard de montaje en lepidópteros, y finalmente conservándolos en cajas por especie y localidad dentro de las cajas Cornell standard, además de contar con todos los datos de colecta, tales como localidad, fecha, colector etc., y su conservación en cajas Cornell standard para su conservación (Arroyo, 1975).

Los especímenes se fotografiaron con una cámara Canon PowerShot SX 130 IS, con un fondo negro de muy

Se realizaron varias salidas de campo entre el 2003 y 2008 abarcando todo el año (dos veces al mes), de tal forma de tener un registro de las especies a lo largo de las estaciones climáticas en las diferentes localidades, siendo el lapso entre abril y mayo las temporadas de colecta a las zonas altas del valle del Rímac en el distrito de San Bartolomé, Provincia de Huarochirí y recurrentemente en la zona baja del valle de Rímac en todo el año en el distrito de Chaclacayo, Provincia de Lima, elegidas por su accesibilidad y diversidad florística, que permiten una abundancia de Lepidoptera, donde se encuentran distribuidas las dos especies del género *Danaus*, en diferentes hábitats, desde zonas urbanas, y rurales, y áreas naturales no protegidas; lo que proporcionó un panorama para poder establecer las localidades donde se encontraron las dos especies que se describen en la figura 1.

bajo albedo, flash incorporado de la cámara en todas las tomas, las que se corrigieron digitalmente usando los programas Microsoft Picture Manager 2003, Paint y realizando las láminas con Microsoft Publisher 2007, las imágenes se editaron teniendo los especímenes a la mano para poder corregir el color y sea lo más similar al espécimen en cuestión; para las tomas macro de gran aumento, se usó adicionalmente un lente Nikon 35mm invertido.

3. Resultados

Se encontró dos especies en el área de estudio, teniendo una clara concentración de las especies en lados opuestos del valle del río Rímac.

TABLA 1: especímenes del género *Danaus* revisados en el área de estudio:

Familia Nymphalidae Rafinesque, 1815

Subfamilia Danainae Boisduval, 1833

Género *Danaus* (Kluk, 1780)

Código	Especie	Localidad	Altitud (msnm)	Fecha	Col.
Ent-2003-07	<i>Danaus plexippus nigrippus</i> (Haensch, 1909) ♂	Chaclacayo	700	marzo, 2003	R. Guzmán P.
Ent-2003-08	<i>Danaus plexippus nigrippus</i> (Haensch, 1909) ♀	Chaclacayo	700	marzo, 2003	R. Guzmán P.
Ent-2008-01	<i>Danaus eresimus erginus</i> (Godman & Salvin, 1897) ♂	San Bartolomé	1800	18-May-08	R. Guzmán P.
Ent-2008-02	<i>Danaus eresimus erginus</i> (Godman & Salvin, 1897) ♀	San Bartolomé	1800	20-abr.-2008	R. Vásquez C.
Ent-2008-03	<i>Danaus eresimus erginus</i> (Godman & Salvin, 1897) ♂	San Bartolomé	1800	20-abr.-2009	R. Guzmán P.
Ent-2007-03	<i>Danaus eresimus erginus</i> (Godman & Salvin, 1897) ♂	Cieneguilla	1800	24-abr.-2007	R. Guzmán P.

Se describen los adultos de las dos especies encontradas en base a los especímenes conservados en la colección, siguiendo la nomenclatura para las características de las alas (Andrade, 1990).

Danaus plexippus nigrippus (Haensch, 1909)

Adulto.- De tamaño considerable (unos 85mm de apertura alar)

Cuerpo enteramente negro, con el tórax cubierto de manchas blancas, metatórax enteramente negro, con muy pocas cerdas, abdomen negro, con dos bandas blanquecinas laterales, en el límite de los segmentos dorsales y ventrales.

Alas anteriores triangulares, con celda discal cerrada, dorsalmente con el ángulo anterior bastante redondeado, color negro, con tonalidades iridiscentes azuladas, extremo del ápice con una ligera tonalidad anaranjada, separada por bandas que resaltan las venas R4, R5, M1 y M2, celda discal y celdas entre M3, Cu1, Cu2 y 2A con un color anaranjado brillante, siempre con las venas coloreadas de negro, área marginal distal negra, con dos pares de puntos blancos ordenados en línea entre cada vena, ápice con manchas blancas más grandes que el resto de la serie, tres manchas blancas en el margen costal, de las que se desprenden dos filas delimitando el ápice y subápice, ventralmente, los puntos blancos corresponden a los puntos blancos dorsales, ápice coloreado de amarillo pálido, celda discal, área media y submedial anaranjada.

Alas posteriores redondeadas, con un pliegue en la vena 3A, celda discal cerrada, color predominantemente anaranjado, con las venas y margen resaltados en negro, área marginal negra, con dos pares de puntos blancos entre cada vena, margen anal amarillo pálido, pasando gradualmente a anaranjado, ventralmente mismo patrón, los puntos blancos correspondientes a los puntos dorsales, color general, amarillento con las venas resaltadas en negro; los machos el color naranja es más intenso, las venas menos pigmentadas y la presencia de una mancha odorífera en la Cu2, las hembras presentan una tonalidad más amarillenta, con el borde y coloración de las venas más amplias, carecen de mancha odorífera (Fig. 2, 3, 6, 7, 8 y 9).

Planta hospedera de las larvas: *Asclepias curssavica* (observado).

Danaus eresimus erginus (Godman & Salvin, 1897)

Adulto. - De tamaño moderado (unos 70 mm de apertura alar)

Cuerpo, cabeza y tórax negro, con puntos blancos muy resaltantes, una línea blanca muy fina en la línea media dorsal del tórax, abdomen predominantemente anaranjado, con una banda negra en la línea media.

Alas anteriores triangulares, ángulo apical menos agudo que en *D. plexippus*, color predominante anaranjado rojizo, sin las venas resaltadas en negro, con una banda negra delimitando el área apical y la post-

media, delimitado por dos filas de manchas blancas, borde distal negro, con un par de puntos entre cada vena, siendo el más distal colocado en el área negra y el más proximal en el área naranja, tornos del ala anterior, ligeramente más amarillento que el resto del ala, así como una mancha más clara entre la vena Cu2 y 2A, ventralmente ápice marrón un tanto verdoso, delimitado con una banda negra en la zona post-medial que es de color ocre oscuro, con una mancha clara en la base de la celda entre la Cu1 y Cu2, puntos blancos en la misma posición que en el dorso de las alas anteriores pero con el borde marrón verdoso.

Alas posteriores redondeadas, color anaranjado rojizo en su porción basal, inclusive toda la celda discal y la porción basal de las celdas circundantes, área medial y post-medial más amarillenta y clara con una mancha más clara en el centro de cada celda entre las venas R3, M1, M2, M3 y Cu1, margen distal con una banda negra delgada, dos pares de puntos blancos en el extremo de cada celda a ambos lados de las venas, los puntos distales en el área negra los puntos proximales en el área anaranjada, ventralmente, con las venas resaltadas ligeramente en negro, predominantemente marrón, con una banda más clara en el área media, entre las venas R3 y Cu2, y otra entre la posición apical de la celda discal y sus dos celdas adyacentes, manchas blancas correspondientes a las dorsales, pero sin la banda negra del margen distal (Fig. 4, 5, 10, 11).

Planta hospedera de las larvas: *Morrenia odorata*, *Funastrum clausum*, *Spigelia anthelmia* (Galindo-Robledo et al., 2005) para *Danaus eresimus*.

4. Discusión

Siendo una especie bastante conocida, *Danaus plexippus* presenta una subespecie sudamericana (Lamas, 2003) *D. plexippus nigrippus*, que se encuentra ampliamente distribuida en Sudamérica. Otra especie la *D. erippus* que es muy similar a la *D. plexippus*, se encuentra sólo en el extremo sur del continente; en reportes recientes en la página de iNaturalist, se determinan varios registros como *D. erippus* en Lima, los que están fuera de su área de distribución conocida (Canals, 2000), y no presentan los dos puntos blancos característicos de las alas

anteriores en las celdas entre las venas M3, Cu1, Cu2, lo más probable es que sean determinaciones erradas que necesiten revisiones en base a especímenes.

Los especímenes conservados en la colección entomológica privada Rubén Guzmán P. (RGP), revelan que la especie más común, que tiene el máximo de avistamientos, es *Danaus plexippus nigrippus*, registrándose en toda la provincia de Lima, subiendo por el Valle del Río Rímac hasta llegar a San Bartolomé, en la provincia de Huarochirí en una cantidad bastante reducida, mientras que *D. eresimus erginus* se la ha registrado en mínima cantidad hacia la localidad de Huachipa, teniendo el máximo de avistamientos entre San Bartolomé y Matucana, en la provincia de Huarochirí, siendo los distritos de Chosica y Chaclacayo, provincia de Lima, los avistamientos bastante similares de ambas especies.

Hasta la fecha, sólo se ha observado huevos, larvas y pupas de *Danaus plexippus nigrippus* en la zona de estudio, aún no se han encontrado ni larvas ni pupas de *D. eresimus erginus*, lo que supone que las plantas hospederas de estas no son tan comunes como la *Asclepias curassavica* "flor de seda", que es la planta tóxica hospedera de las larvas de *D. plexippus nigrippus*, tomando en cuenta esta característica, *D. eresimus erginus* se alimenta de *Morrenia odorata*, *Funastrum clausum*, *Spigelia anthelmia*, que también presentan toxinas que son adquiridas durante la etapa larvaria y que permanecen hasta la etapa adulta, por lo que ambas especies advierten de su toxicidad por medio de una llamativa y contrastante coloración, el exoesqueleto de ambas especies también es bastante flexible y resistente, para tolerar cualquier ataque (Galindo-Robledo et al., 2005).

2. Conclusiones

Los especímenes revisados demuestran que, en el Valle del Río Rímac, en Lima, sólo existen dos especies del género *Danaus*, considerando todos los caracteres diagnósticos tales como venación y características cromáticas de las alas y cuerpo.

Danaus plexippus nigrippus habita en un hábitat bastante ligado a la presencia humana, entre los 0 y los 1400 m.s.n.m., ya que su planta hospedera, la *Asclepias*

curassavica, se encuentra en ese rango altitudinal y casi siempre vinculada a parques y jardines.

Danaus eresimus erginus, se comprobó su baja abundancia en las zonas bajas del valle del río Rimac y su prevalencia sobre los 1400 m.s.n.m., lo que la convierte en una especie correspondiente al Matorral Desértico - Bosque Seco (entre los 1000 y 2500 m.s.n.m.).

El solapamiento poblacional se debe a que entre los 200 y 1400 m.s.n.m. las poblaciones humanas son bastante acentuadas, tanto en urbes como en centros poblados, lo que permite el crecimiento de las plantas hospederas de ambas especies.

No se han encontrado evidencias de las plantas hospederas con larvas en las localidades y fechas del estudio.

En ningún momento se encontró, ni colectó, ni fotografió a *Danaus erippus* en el valle del río Rímac, lo que descarta su presencia para la zona estudiada.

6. Contribución de los autores

Rubén Guzmán: Concepción y diseño del estudio, registro de datos y elaboración del manuscrito.

7. Conflicto de intereses

Ninguno.

8. Agradecimientos

Al Blgo. José N. Gutiérrez R. por las revisiones y comentarios al manuscrito y a Ricardo Vásquez, fundador de la Asociación Científica para la Conservación de la Biodiversidad por el constante apoyo en las salidas de campo realizadas para la elaboración de este trabajo.

9. Referencias Bibliográficas

- Andrade, G. (1990). Clave para las familias y subfamilias de lepidóptera: Rhopalocera de Colombia, *Caldasia* 16(77):197-200.
- Arroyo, J. (1975). Cómo coleccionar mariposas, Edit. Tiempo Libre, 103 pp.
- Canals, G. (2000). Mariposas bonaerenses: Butterflies of Buenos Aires. Publicado por L.O.L.A. - Literature of Latin America 347 pp.
- García, L.; Constantino, M; Dolores, M. & Kattan, G. (2002). Mariposas comunes de la cordillera central de Colombia. Feriva, Colombia. 130 p.
- Galindo, C. & Rendón-Salinas, E. (2005). Danaidas: las maravillosas mariposas monarca. WWF México-Telcel. Publicación Especial No. 1. WWF-TELCELL. 82 pp.
- Gaviño, G., 1972, Técnicas Biológicas Selectas de Laboratorio y Campo, Ed.

Limusa, México; 457 pp.

Lamas, G., (2003), Mariposas de Machu Picchu, fondo nacional para áreas naturales protegidas por el estado, Lima, Perú, 221 pp.

Kristensen, N.; Scoble, M. & Karsholt, O. (2007). Lepidoptera Phylogeny And Systematics: the state of inventorying moth and butterfly diversity. *Zootaxa* 1668:699-747.

Novotny, V.; Basset, Y; Scott, E. Miller, G.; Weiblen, D.; Bremer, B.; Cizek, L. & Drozd, P.. (2002). Low host specificity of herbivorous insects in a tropical forest. *Nature* 416 841-844.

Smith, D., Lushai, G. & Allen, J. (2005). A classification of Danaus butterflies (Lepidoptera: Nymphalidae) based upon data from morphology and dna. *Zoological Journal of The Linnean Society*, 144(2), 191-212.

LINKOGRAFÍA

Butterfly of America – *Danaus plexippus nigrippus*
https://butterfliesofamerica.com/L/danaus_plexippus_nigrippus.htm

Butterfly of America – *Danaus eresimus erginus*
https://butterfliesofamerica.com/L/danaus_eresimus_erginus.htm

Butterfly of America – *Danaus erippus*
https://www.butterfliesofamerica.com/L/t/Danaus_erippus_a.htm

iNaturalist
<https://www.inaturalist.org/>

ANEXOS

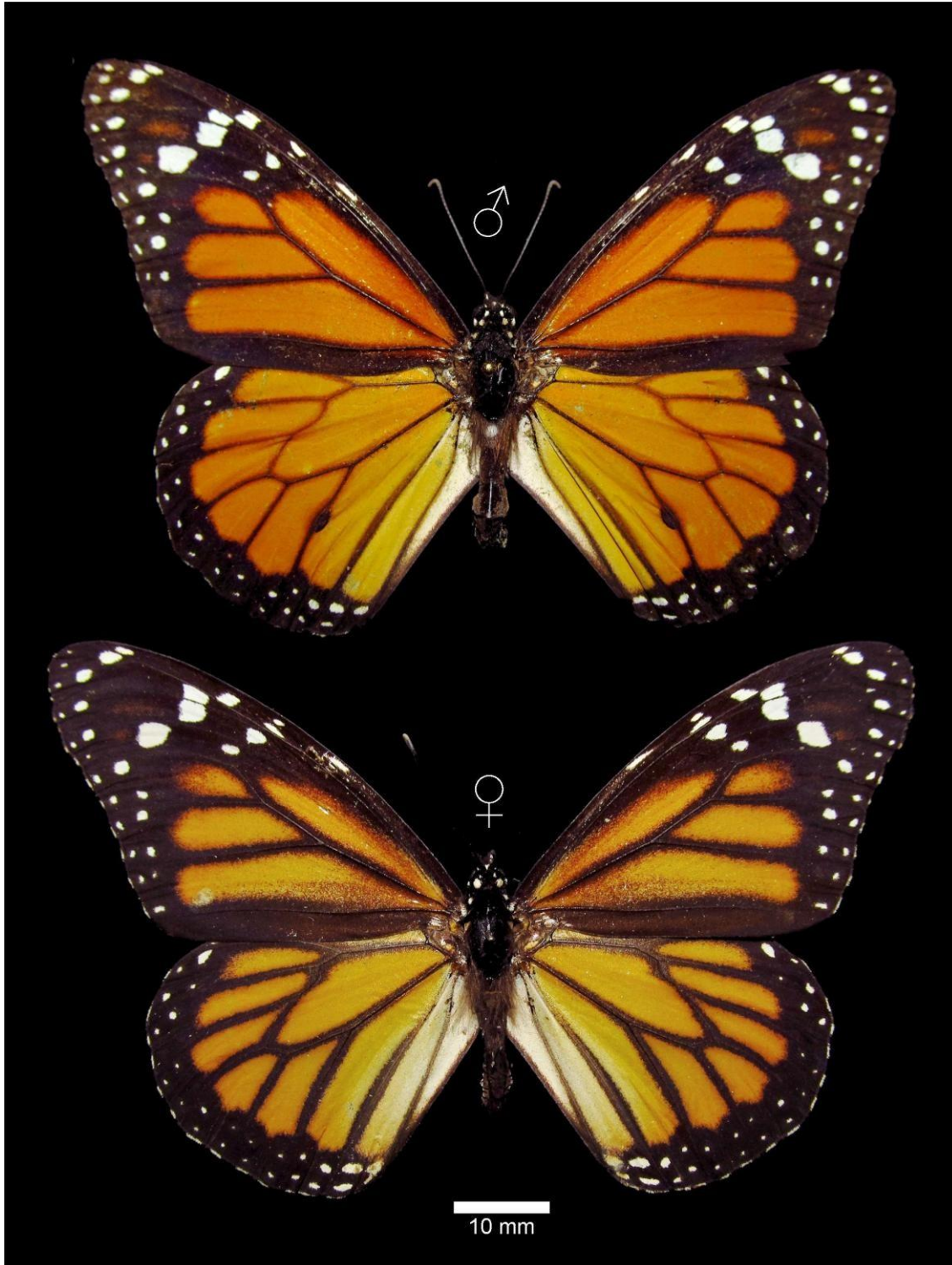


Figura 2. *Danaus plexippus nigrippus*, vista dorsal; arriba: macho; abajo: hembra (Fotos: Rubén Guzmán P.)

Ent-2003-7

♂ Perú, Lima, Chaclacayo, El Cuadro, marzo, 2003, col. R. Guzmán P.

Ent-2003-8

♀ Perú, Lima, Chaclacayo, El Cuadro, marzo, 2003, col. R. Guzmán P.

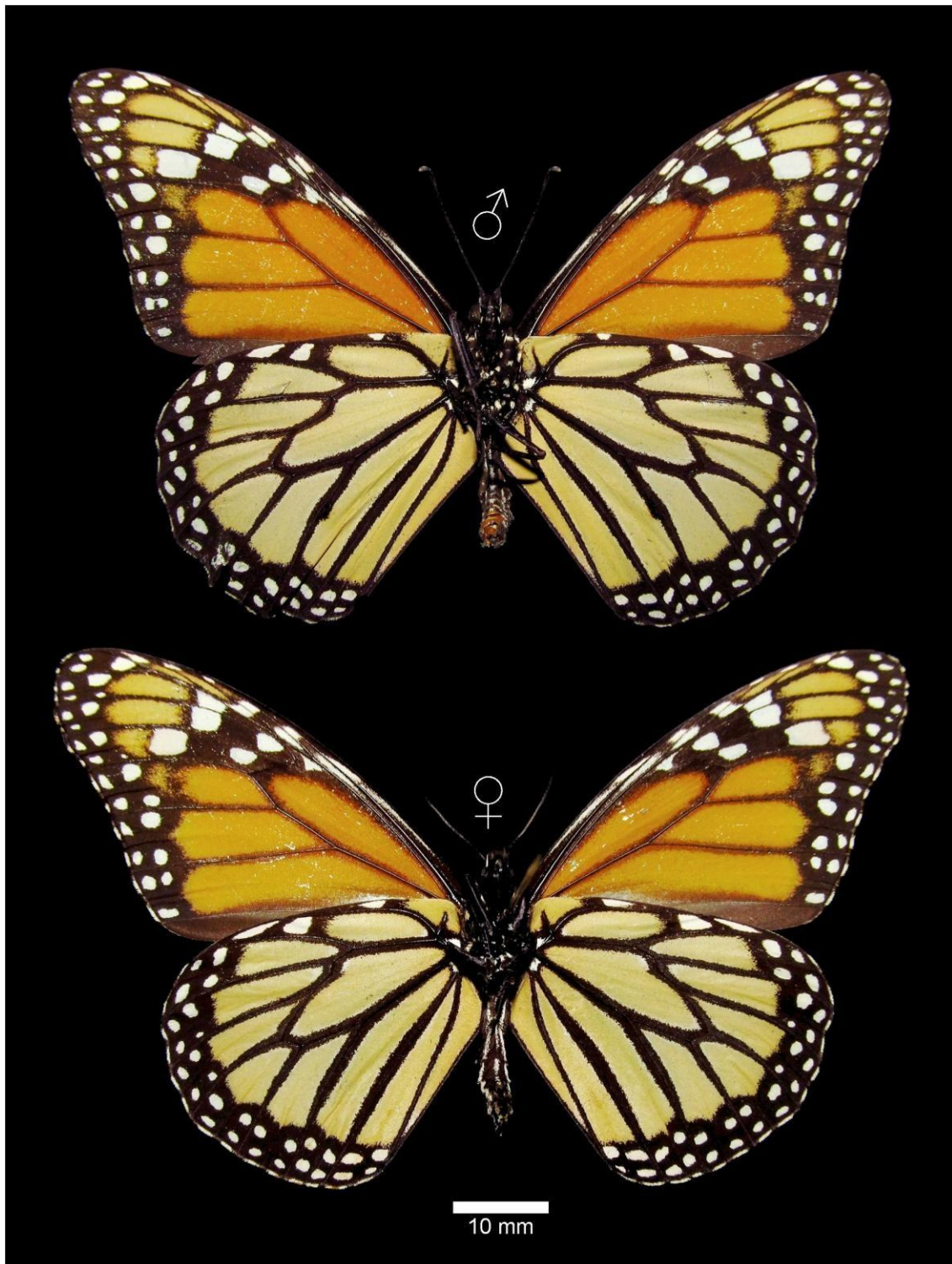


Figura 3. *Danaus plexippus nigrippus*, vista ventral; arriba: macho; abajo: hembra (Foto: Rubén Guzmán P.)

Ent-2003-7

♂ Perú, Lima, Chaclacayo, El Cuadro, marzo, 2003, col. R. Guzmán P.

Ent-2003-8

♀ Perú, Lima, Chaclacayo, El Cuadro, marzo, 2003, col. R. Guzmán P.

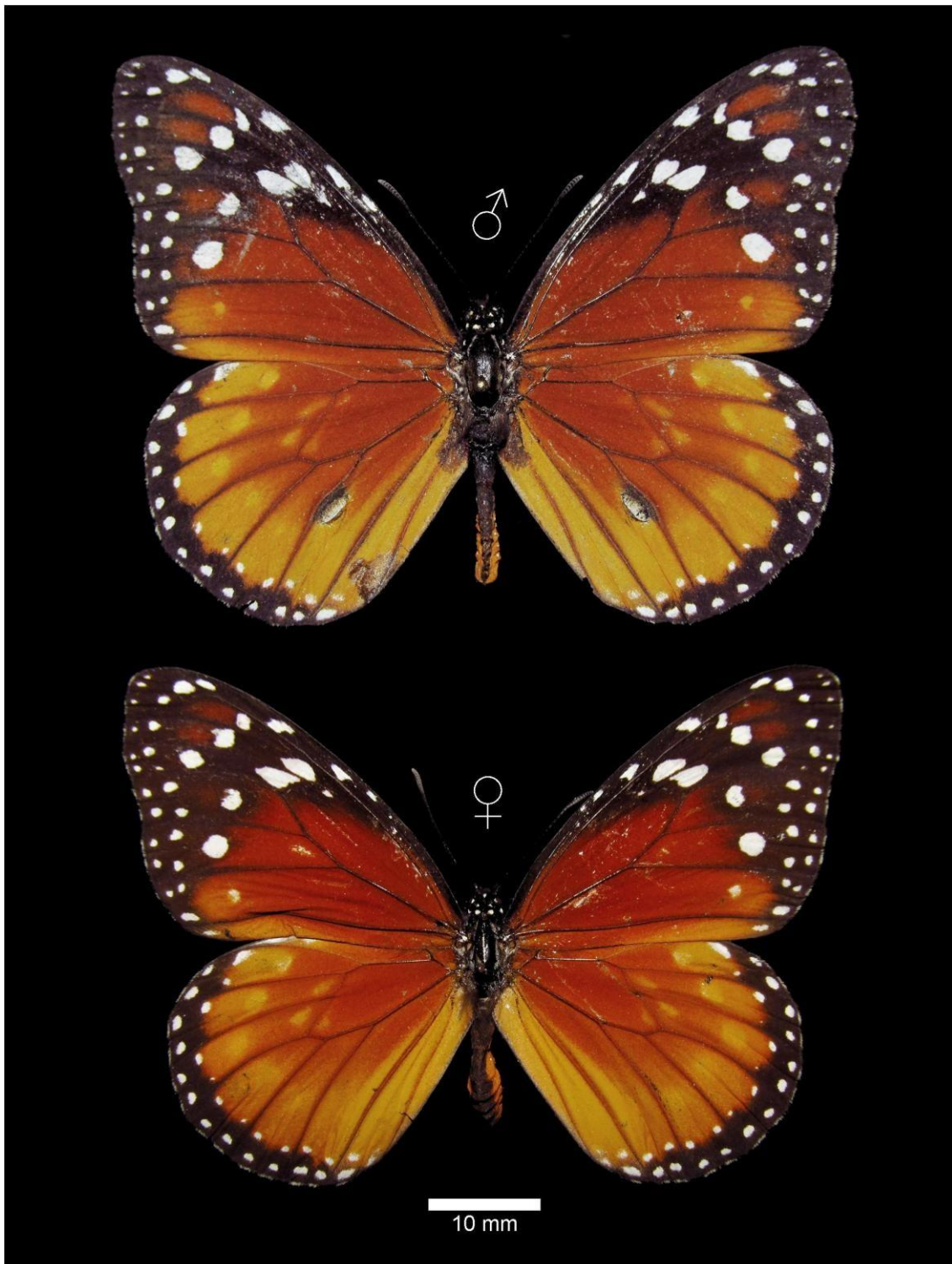


Figura 4. *Danaus eresimus erginus*, vista dorsal; arriba: macho; abajo: hembra (Foto: Rubén Guzmán P.)

SB-2008-1

♂ Perú, Lima, Huarochirí, San Bartolomé, 18 de mayo de 2008, col. R. Guzmán P.

SB-2008-2

♀ Perú, Lima, Huarochirí, San Bartolomé, 20 de Abril de 2008, col. R. Vásquez C.

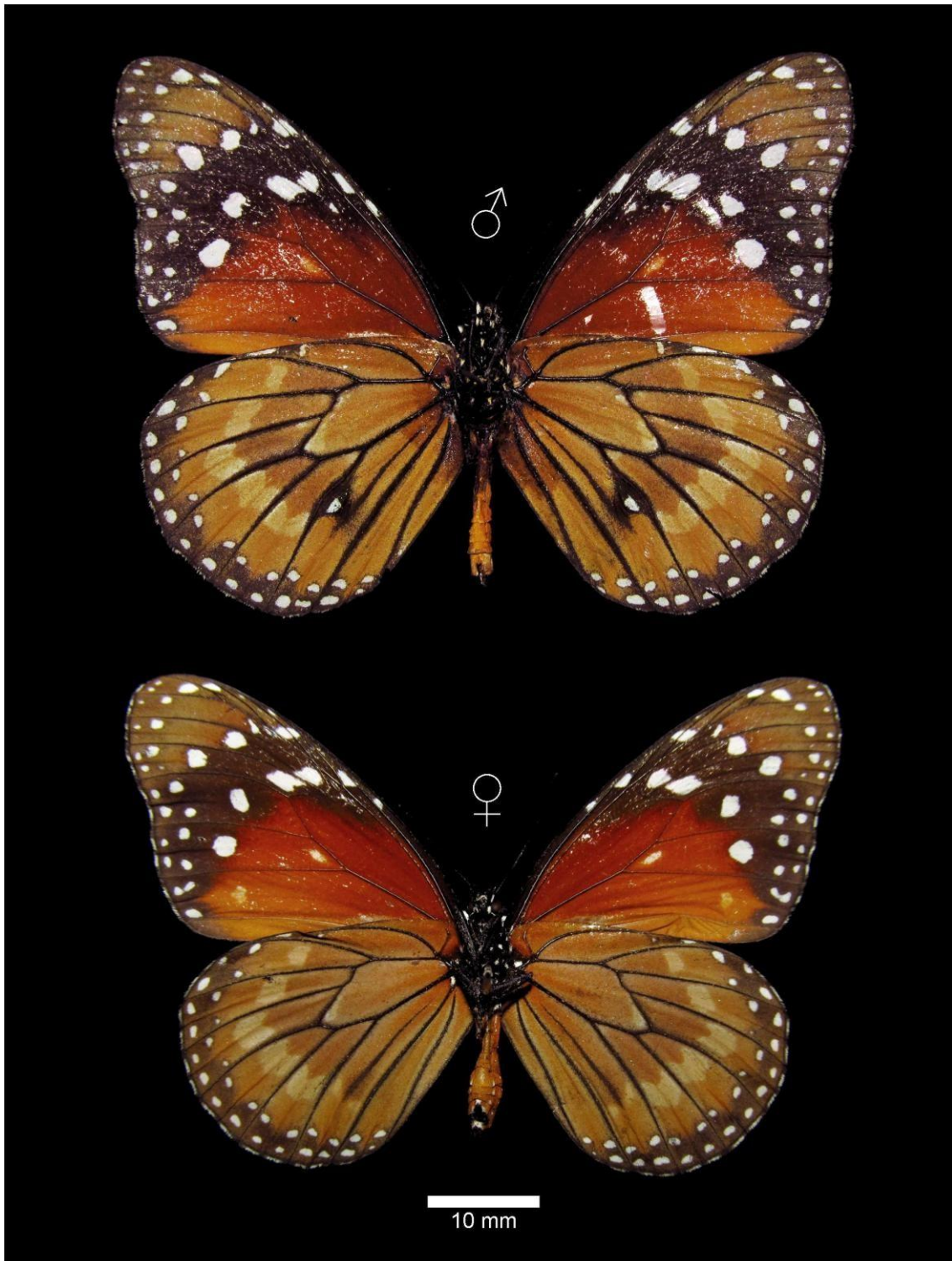


Figura 5. *Danaus eresimus erginus*, vista ventral; arriba: macho; abajo: hembra (Fotos: Rubén Guzmán P.)

SB-2008-1

♂ Perú, Lima, Huarochirí, San Bartolomé, 18 de mayo de 2008, col. R. Guzmán P.

SB-2008-2

♀ Perú, Lima, Huarochirí, San Bartolomé, 20 de Abril de 2008, col. R. Vásquez C.



Figura 6. *Danaus plexippus nigrippus*, huevo, vista lateral (Foto: Rubén Guzmán P.)



Figura 7. *Danaus plexippus nigrippus*, huevo, vista superior (Foto: Rubén Guzmán P.)



Figura 8. *Danaus plexippus nigrippus*, larva de segundo instar, en hoja de *Asclepias curassavica*. (Foto: Rubén Guzmán P.)

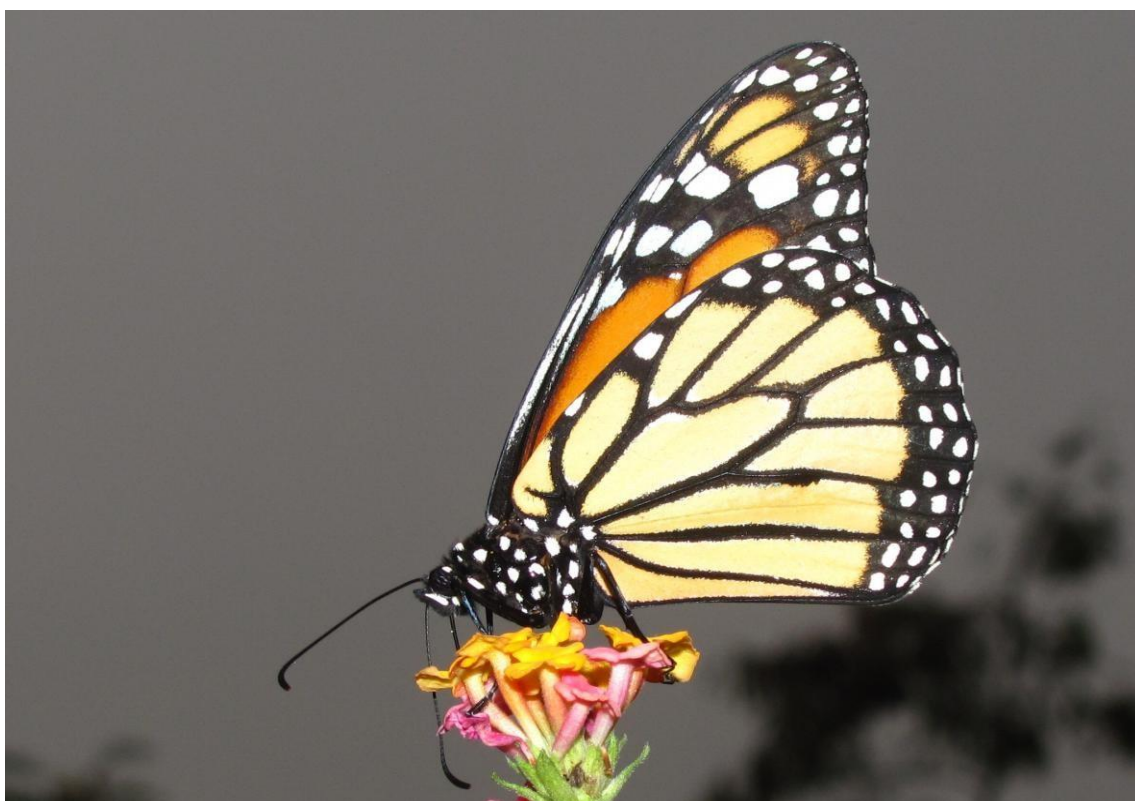


Figura 9. *Danaus plexippus nigrippus*, libando néctar de *Lantana camara* (Foto.- Rubén Guzmán)



Figura 10. *Danaus eresimus erginus*, en el poblado de San Bartolomé (Foto: Rubén Guzmán P.)



Figura 11. *Danaus eresimus erginus*, en el poblado de San Bartolomé (Foto: Rubén Guzmán P.)





MORTALIDAD DE AVES POR IMPACTOS CON AVIONES EN EL AEROPUERTO DE JAÉN, CAJAMARCA, PERÚ

BIRD MORTALITY DUE TO AIRCRAFT CLASH AT THE AIRPORT OF JAEN, CAJAMARCA, PERU

Javier Armando Azabache-Requena^{1*}; Ronald Wilmer Marcial-Ramos¹

¹Escuela de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de Piura, Urb. Miraflores s/n, Castilla- Piura Apartado Postal 295.

Javier Azabache Requena:
Ronald Marcial Ramos

 <https://orcid.org/0000-0001-9889-074X>
 <https://orcid.org/0000-0002-3836-1894>

Artículo original

Recibido: 28 de agosto 2021
Aceptado: 23 de noviembre 2021

Resumen

Desde enero 2019 a julio 2021 en el aeropuerto de Jaén la tasa de impacto entre aves y aeronaves fue de 0,031 ind. muertos/km/día y se obtuvo una probabilidad acumulada de supervivencia de las aves de 0,9182. De los individuos muertos el 35% correspondieron a Pastorero peruano (*Leistes bellicosus*) seguida de la especie Chotacabras menor (*Chordeilis acutipennis*) con el 21%. El mayor porcentaje de muertes (63,4%) se presentó el 2019. Las variables que tienen mayor relación (80,5%) a los impactos de aves con aviones son: 1) el uso del área de movimiento del aeropuerto por parte de las especies y 2) el comportamiento de los individuos al formar bandadas, ser solitarios o estar en pareja. La densidad de Kernel indicó que el centro de la pista fue donde se encontraron la mayor la cantidad de individuos muertos.

Palabras clave: Atropellamientos, poblaciones, riesgo aviario, tránsito aéreo.

Abstract

From January 2019 to July 2021 at the Jaen airport, the impact rate between birds and aircraft was 0.031 ind. dead/km/day and a cumulative survival probability of the birds of 0.9182 was obtained. Of the dead individuals, 35% corresponded to Peruvian Pa storero (*Leistes bellicosus*) followed by the lesser nightjar (*Chordeilis acutipennis*) with 21%. The highest percentage of deaths (63.4%) occurred in 2019. The variables that have the greatest relationship (80.75%) to the impacts of birds with airplanes are: 1) the use of the airport movement area by the species and 2) the behavior of individuals when forming flocks, being solitary or being in pairs. The kernel density indicated that the center of the track was where the largest number of dead individuals were found.

Keywords: Air traffic, bird risk, populations, run over.

* Autor para correspondencia: javierazabache7@outlook.com

DOI: <http://dx.doi.org/10.17268/rebiol.2021.41.02.09>

Citar como:

Azabache-Requena, J., & Marcial-Ramos, R. 2021. Mortalidad de aves por impactos con aviones en el aeropuerto de Jaén, Cajamarca, Perú. REBIOL, 41(2):233-245.



1. Introducción

Uno de los problemas más interesantes, pero a la vez más desafiantes de la conservación biológica es hacer compatibles las acciones que generan desarrollo económico con las acciones enfocadas en la preservación de los ecosistemas naturales y las especies que los habitan (Sánchez et al., 2013).

Un aeródromo es un área provista de pistas y demás instalaciones necesarias para el despegue y aterrizaje de aviones, si el aeródromo tiene como finalidad el tráfico civil se denomina aeropuerto, raras veces se tiene en consideración si el lugar elegido para tal fin es una zona cuyo hábitat destaca por la abundancia y diversidad de animales. Entre las causas de mortalidad de aves en aeródromos, tres son las principales: 1) El ave choca con la aeronave cuando esta despegue o aterriza 2) por choque de las aves contra la cabina, el timón de cola o el fuselaje de la aeronave estando ya en vuelo y 3) cuando el ave entra a los motores a reacción de un reactor o choca con los rotores de un helicóptero (Cano, 2000).

La Dirección General de Aeronáutica Civil del Perú (2018) considera impacto de fauna a todo choque de la misma con aeronaves y que cumple con las siguientes condiciones: a) Se evidencia la presencia de rasgaduras, manchas de sangre, restos de fauna o huellas o daño en la estructural a la aeronave generado por el impacto con fauna, b) Personal de tierra o usuarios del aeródromo reportan haber visto a una aeronave impactar con fauna y c) El piloto reporta haber impactado con una o más aves u otro tipo de fauna.

Garmendia et al. (2011) mencionan que en las áreas verdes alrededor de la pista del aeropuerto internacional Augusto Sandino lograron determinar 1155 individuos de aves agrupados en 22 especies, 20 géneros, 15 familias y 9 órdenes. De acuerdo a estos autores la abundancia de *Hirundo rustica* dentro del aeropuerto está relacionada principalmente a la provisión de insectos que se alojan en el área verde alrededor de la pista de aterrizaje, otras especies como *Quiscalus mexicanus* y *Molothrus aeneus* son atraídos por los insectos y las semillas. A su vez Barrientos et al. (2016) en aeropuerto Carriel Sur de Talcahuano refieren que la alta riqueza de especies parece tener una directa relación con la alta diversidad de hábitats en el área, el predominio de especies paserinas se explicaría por la alta disponibilidad de pastizales, juncuales

y matorrales los cuales aseguran refugio y alimento, además, la amplia diversidad de especies de aves en el aeropuerto atraería también a varias especies de aves rapaces ornitófagas. En ese contexto la International Federation of Air Line Pilots's Associations (2008) recomienda que controlar los atractivos para las aves y otra vida silvestre en los aeropuertos son pasos fundamentales para llevar un buen manejo; si no se realiza este control el plan de manejo de fauna silvestre está condenado al fracaso.

La riqueza de especies faunísticas y el gran poder de adaptación de las aves permiten la permanencia y coexistencia obligatoria de ciertas especies de aves en aeródromos, lo cual constituye un alto riesgo de desaparición para algunas especies de aves (Godínez, 2016).

Normalmente, las condiciones naturales que rodean los aeropuertos contribuyen a un determinado nivel de riesgo de colisiones entre aves y aviones, un gran número de distintas especies de aves mueren por efecto de los impactos con aeronaves en las distintas fases de las maniobras aéreas. Además, los protocolos de seguridad de los aeropuertos promueven la reducción poblacional de aves mediante distintas estrategias de manejo ambiental (Barrientos et al., 2016).

En el Perú desde el 2001 al 2013 la fauna silvestre involucrada en impactos incluye: gallinazos, huerequeques, golondrinas, gaviotas, lekechos, palomas, lechuzas, dormilones, cernícalos, murciélagos, garzas, gavilanes y tórtolas. De los 304 impactos registrados, en el 57 % de casos la especie involucrada ha sido determinada y en el resto no (Vargas, 2013).

De acuerdo a Bauni et al. (2017) diversos trabajos llevados a cabo en Sudamérica, Europa y Estados Unidos (Monroy et al., 2015; Gumier & Sperber, 2009; Carvalo & Mira, 2011) para el caso de número de animales que son chocados por vehículos o aeronaves muestran cifras preocupantes. Por otro lado, también mencionan que no se puede concluir que un grupo taxonómico sea en particular más susceptible a esta situación, y es posible que esto dependa de otros factores intrínsecos, en algunos estudios (Coehlo et al., 2008; Cuyckens et al., 2016; Da Cunha et al., 2010) los mamíferos resultaron ser los más afectados, seguido de las aves y con un menor número los anfibios o reptiles.

De esa manera el objetivo del trabajo fue evaluar la mortalidad de aves en el aeropuerto de Jaén a causa de choque de estas con aviones, a través de la tasa de impacto de las aves con las aeronaves, la probabilidad de supervivencia, las variables que contribuyen a originar estos choques y las especies involucradas, para que a través de esta información se puedan tomar mejores decisiones en el aeropuerto con respecto a esta problemática.

2. Materiales y Métodos

Área de estudio

El aeropuerto de Jaén (05°35'29" S/78°46'17" O, 795

m.s.n.m.) se encuentra en el distrito Bellavista, provincia Jaén, departamento Cajamarca y región Cajamarca. Presenta una pista de 2,4 km de longitud, con una orientación Norte-Sur. Presenta la siguiente vegetación determinada durante el muestreo: escobilla (*Chloris virgata*), cadillo arenoso (*Cenchrus myosuroides*), pata de gallina (*Eulusine indica*), hierba blanca (*Alternanthera halimifolia*), hierba del alacrán (*Heliotropium angiospermum*), tomatillo (*Lycopersicon esculentum*), algodón (*Gossypium barbadense*), faique (*Acacia macracantha*) y cerezo silvestre (*Muntingia calabura*). Este aeropuerto tiene solo atención diurna.



Figura 1. Ubicación del aeropuerto de Jaén.

Entre enero 2019 y julio 2021 diariamente desde las 7 horas a las 18 horas, se evaluó la mortalidad de aves en el aeropuerto por impactos con aviones. Para ello se registraron en un cuaderno de notas a los individuos muertos de la siguiente manera: a) se determinó la especie a la que pertenecía con la ayuda de las guías (Schulenberg et al., 2010; Ugaz & Saldaña, 2014), b) cuantos individuos se encontraban muertos, c) así como las coordenadas UTM de la zona de la pista donde fueron encontrados, la toma de coordenadas se hizo a través de GPS Garmin Etrex 20. Se consideró a un ave muerta por impacto con avión cada vez que el piloto reportaba a torre de control que hubo un choque con ave o cada vez que se hacía una inspección de

pista después del aterrizaje y despegue del avión y se encontraba un ave muerta. Las inspecciones en pista se realizaron en automóvil a una velocidad de 30 km/hr con la finalidad de hacer una observación más detallada. Una vez colectados los datos se procedió a analizarlos de la siguiente manera:

- I) Se determinó la Tasa de impactos (TI), la cual se obtiene a partir del cociente del total de individuos muertos por la longitud en kilómetros de la pista y los días de muestreo (Gonzales, 2018).
- II) Con la ayuda del programa BioEstat (Ayres et al., 2007) se describió y graficó el porcentaje de individuos muertos de acuerdo a la especie y año de evaluación.

III) Usando el programa BioEstat se evaluaron 4 variables a través del análisis de componentes principales para saber cuál de ellas podría estar más relacionada con la mortalidad de aves a causa de impactos con aviones, las variables se eligieron de acuerdo a lo planteado por Barrientos et al. (2016), Anicchiarico & Agudelo (2007) y Marateo et al. (2011), estos fueron: a) la abundancia relativa de las especies b) el tamaño de las especies, c) el comportamiento de los individuos al formar bandadas, ser solitarios o estar en pareja y d) el uso del área de movimiento del aeropuerto (pista, calles de rodajes y plataforma) por parte de las aves. Para el caso de

abundancias se registraron las especies y la cantidad de individuos presentes en el aeropuerto a través de los métodos de transectos lineales y búsquedas intensivas, además se realizó un reconocimiento de especies de manera auditiva, las observaciones fueron realizadas con ayuda de binoculares Eagle optics 8x42 y una cámara Bridge Sony 50x.

Una vez determinado en que variable existe una mayor relación, se procedió a calcular el Riesgo relativo (RR) de las variables asociadas. El cálculo se adaptó de acuerdo a la fórmula planteada por la Organización Panamericana de la Salud (2002).

$$RR = \frac{\text{Individuos que sufrieron impacto del grupo A} / \text{total de individuos del grupo A}}{\text{Individuos que sufrieron impacto del grupo b} / \text{total de individuos del grupo b}}$$

IV) Para saber cuál es la zona de la pista donde se encontraron la mayor cantidad de individuos muertos se utilizó la densidad de Kernel, la cual determina la densidad de un conjunto de puntos, utilizando un radio de búsqueda (Vivanco et al., 2014), este cálculo se realizó través del programa QGIS 3 (Equipo de desarrollo de QGIS, 2009).

V) Se calculó la probabilidad de supervivencia de las aves a los impactos con aviones, esta se determinó acumulada y por año, se eligió el método KAPLAN-MEIER que mide la probabilidad de supervivencia en un periodo y se calcula con la ley multiplicativa de probabilidades, con este método no se agrupan los tiempos de supervivencia en intervalos, aquí la supervivencia en un tiempo dado depende de la supervivencia en todos los periodos previos, la posibilidad de la misma en un periodo de tiempo es independiente de la probabilidad de supervivencia en los demás periodos, es decir el método considera el tiempo de evaluación y número de muertes (Arribalzaga, 2007).

Una vez obtenidas las probabilidades se procedió a graficarlas. Este análisis se realizó con la ayuda del programa BioEstat.

VI) Con el propósito de evaluar si hubo un cambio estadísticamente significativo en las tendencias de muertes de aves por impacto con aviones, se realizó un modelo de regresión Joinpoint el cual toma datos de tendencias y se ajusta al modelo de punto de unión más simple que permiten los datos, a través del número mínimo y máximo de puntos de unión se prueba si más puntos de unión son estadísticamente significativos y deben agregarse al modelo (hasta ese número máximo). Esto permite ver si un cambio aparente en la tendencia es estadísticamente significativo. Las pruebas de significancia utilizan un método de permutación de Monte Carlo. El análisis se realizó a través del programa JOINTPOINT (Statistical Methodology and Applications Branch, 2020)

VII) Por último a 2 individuos de *Leistes bellicosus* encontrados muertos se les practicó radiografías en el hospital Las Mercedes de Paíta (Piura) con el objetivo de ver algunas lesiones ocasionadas por impactos con aviones.

3. Resultados

Tabla 1. Tasa de impacto (TI) de acuerdo al año, la mayor tasa se presentó en el 2019 (0,0051 ind./km/día).

AÑO	Individuos muertos	ind./km	TI (ind./km/día)
2019	45	18,75	0,051
2020	5	2,08	0,006
2021	21	8,75	0,0417
Total	71	29,58	0,031

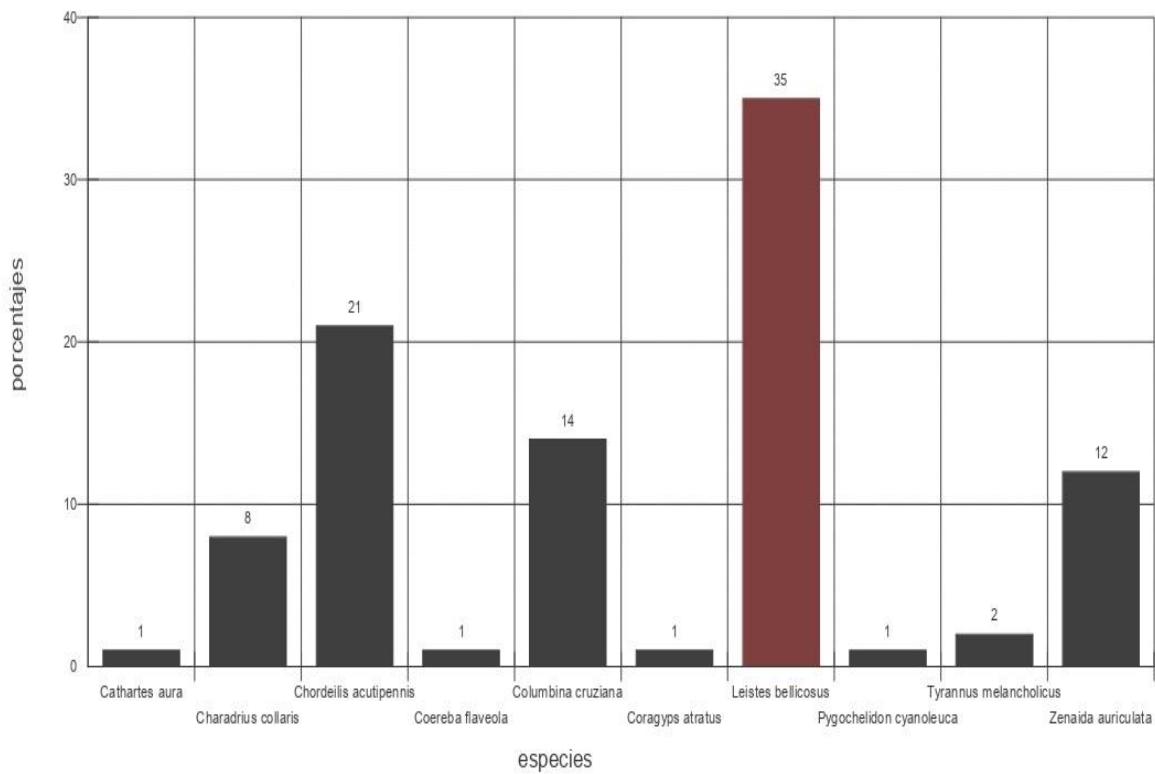


Figura 2. Porcentaje de los individuos encontrados muertos correspondiente al 35% a Pastorero peruano (*Leistes bellicosus*) seguido de Chotacabra menor (*Chordeilis acutipennis*).

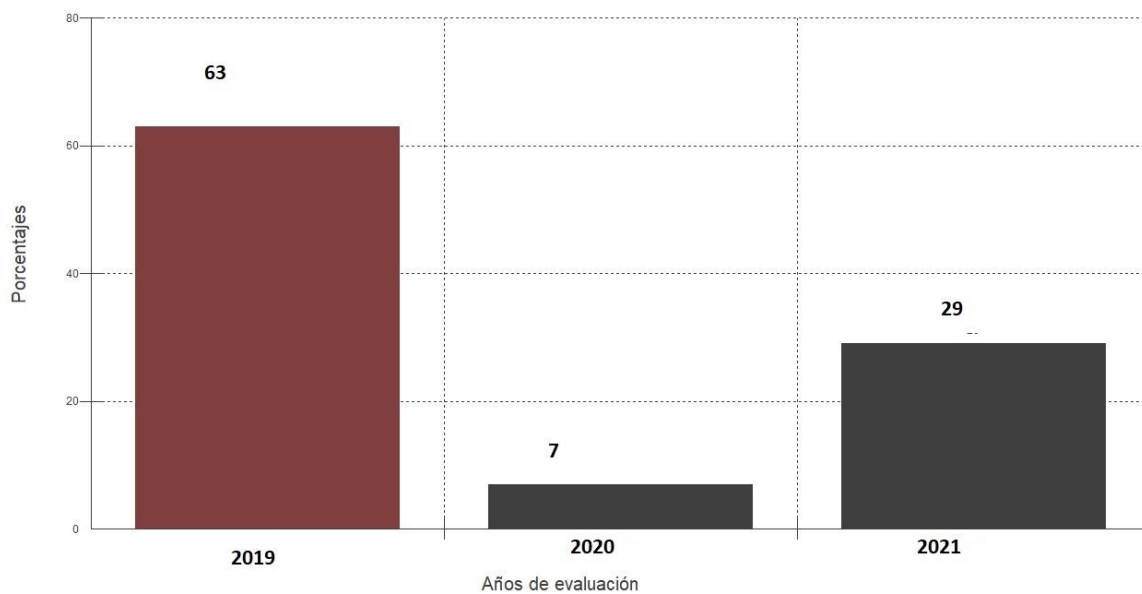


Figura 3. Porcentaje de individuos muertos de acuerdo al año de evaluación, el año 2019 presentó una mayor cantidad de mortalidades (63%).

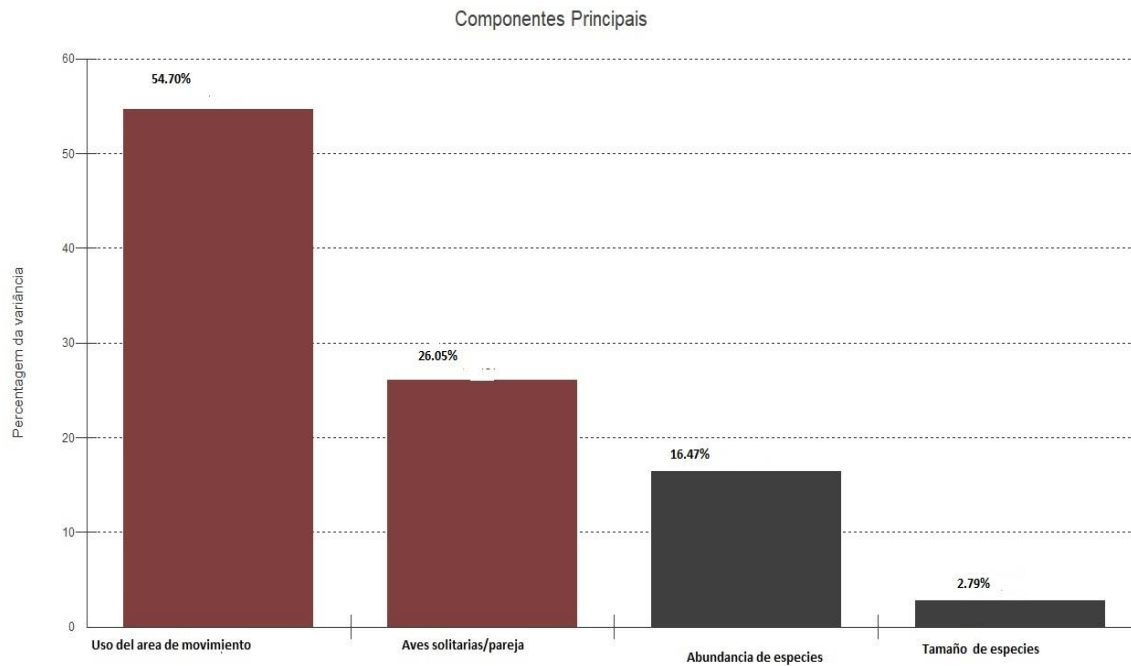


Figura 4: Análisis de componentes principales. Las variables donde se concentra la mayor variabilidad de los datos (80,75%) son el uso del área de movimiento y el comportamiento de los individuos al formar bandadas, ser solitarios o estar en pareja, por lo que la mortalidad en el aeropuerto está más relacionada con los primeros componentes que con los otros dos.

Tabla 2. Número de Individuos según comportamiento.

Grupo	Total	Individuos que sufrieron impacto
(A) Individuos solitarios/pareja	1664	68
(B) Individuos que forman bandadas	278	3

$$\text{Riesgo relativo} = \frac{68/1664}{3/278} = 4$$

De acuerdo al riesgo relativo las aves solitarias o en parejas presentan 4 veces mayor riesgo de morir por impacto con aviones que aquellas que forman bandadas.

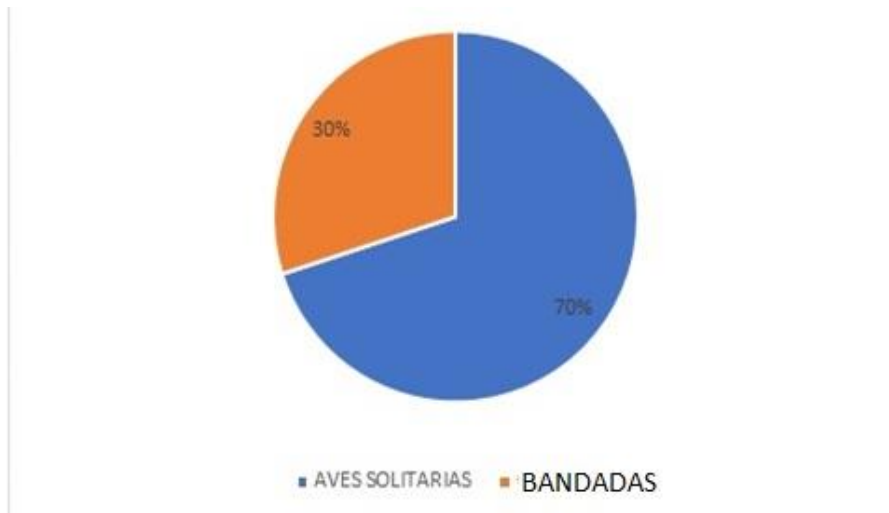


Figura 5: Densidad de Kernel, el centro de la pista fue donde se encontraron la mayor la cantidad de individuos muertos.

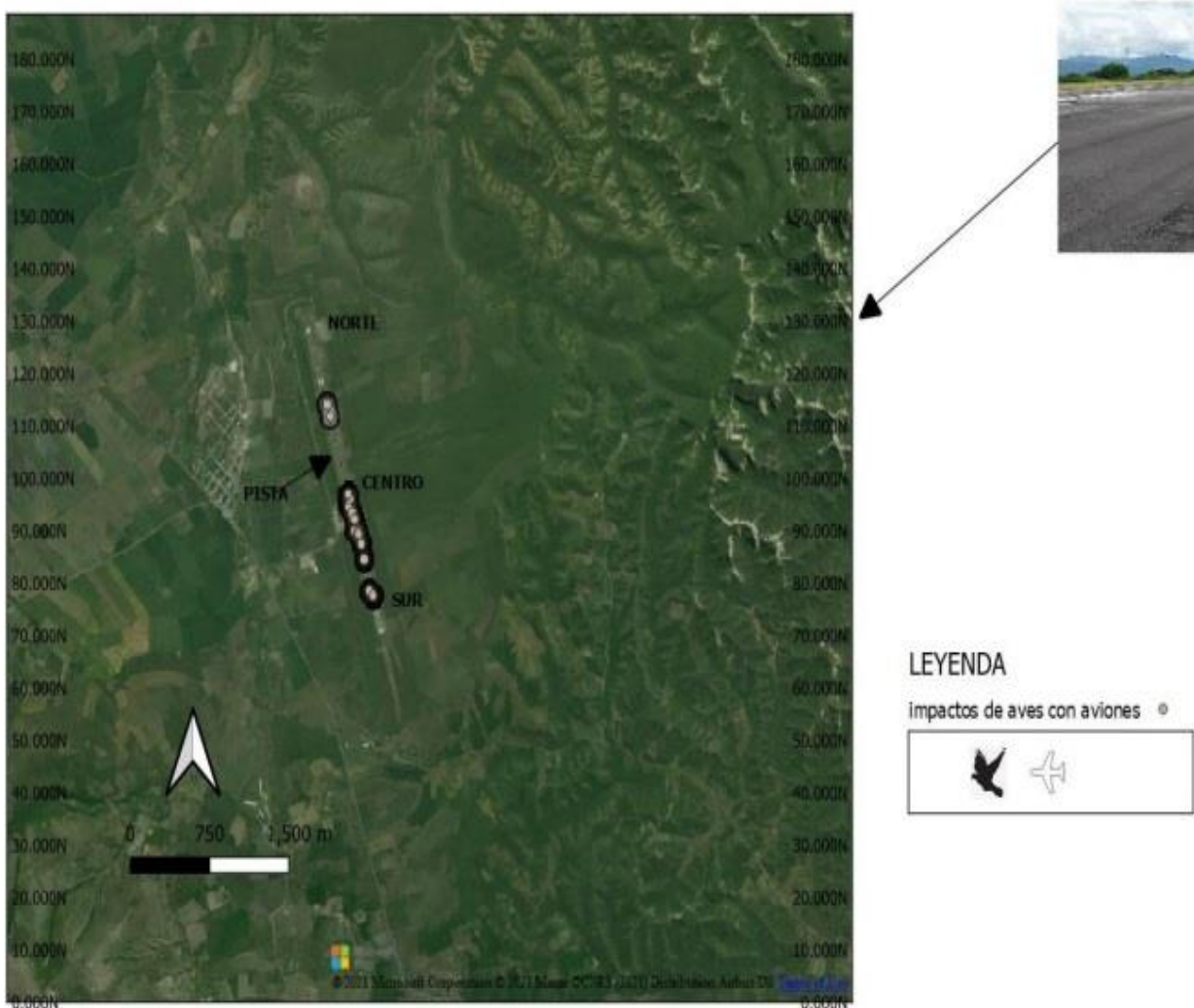


Figura 6. Densidad de Kernel para individuos muertos durante el periodo 2019-2021 en el aeropuerto de Jaén, Cajamarca, Perú. El centro de la pista fue donde se encontró la mayor la cantidad de individuos muertos.

Tabla 3. Probabilidad de supervivencia de aves a impactos con aviones, la probabilidad acumulada desde el 2019 al 2021 fue de 0.9182, la mayor probabilidad de supervivencia se presentó en el año 2020 y fue de 0.9923. Ambas probabilidades con 95% de confianza.

	Año	Ocurrencias (muertes)	Probabilidad de supervivencia por año	Probabilidad acumulada	Estimación de riesgo	IC (95%)
Evento 1	2019	45	0,9677	0,9677	0,0323	0,9584 a 0,9770
Evento 2	2020	5	0,9923	0,9603	0,0077	0,9490 a 0,9715
Evento 3	2021	21	0,9563	0,9182	0,0438	0,8976 a 0,9389

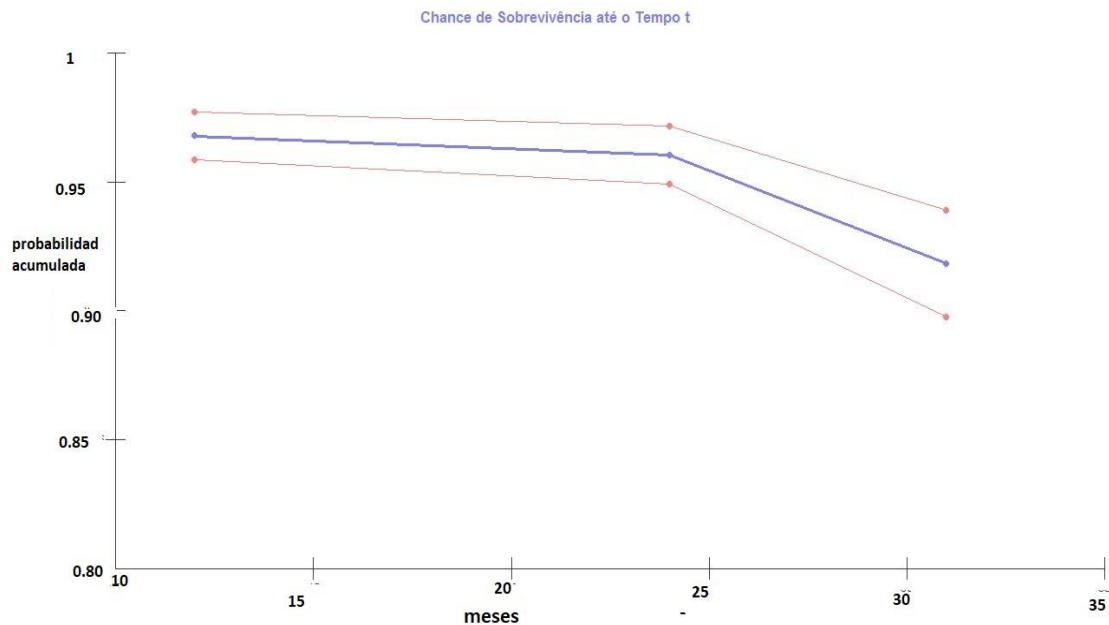


Figura 7. Probabilidad de supervivencia acumulada.

Tabla 4: Especies, longitud corporal (Lc) en centímetros y número de individuos muertos registrados por año.

	Años de evaluación					
	2019		2020		2021	
Especies	LC	Individuos	Especies	Individuos	Especies	Individuos
<i>Cathartes aura</i>	64	1	<i>Chordeilis acutipennis</i>	3	<i>Charadrius collaris</i>	4
<i>Charadrius collaris</i>	14	1	<i>Charadrius collaris</i>	1	<i>Chordeilis acutipennis</i>	7
<i>Chordeilis acutipennis</i>	19	5	<i>Leistes bellicosus</i>	1	<i>Leistes bellicosus</i>	4
<i>Coereba flaveola</i>	11	1			<i>Tyrannus melancholicus</i>	1
<i>Columbina cruziana</i>	16	1			<i>Zenaida auriculata</i>	5
<i>Coragyps atratus</i>	56	1				
<i>Leistes bellicosus</i>	20	20				
<i>Pygochelidon cyanoleuca</i>	11	1				
<i>Tyrannus melancholicus</i>	18	1				
<i>Zenaida auriculata</i>	22	4				

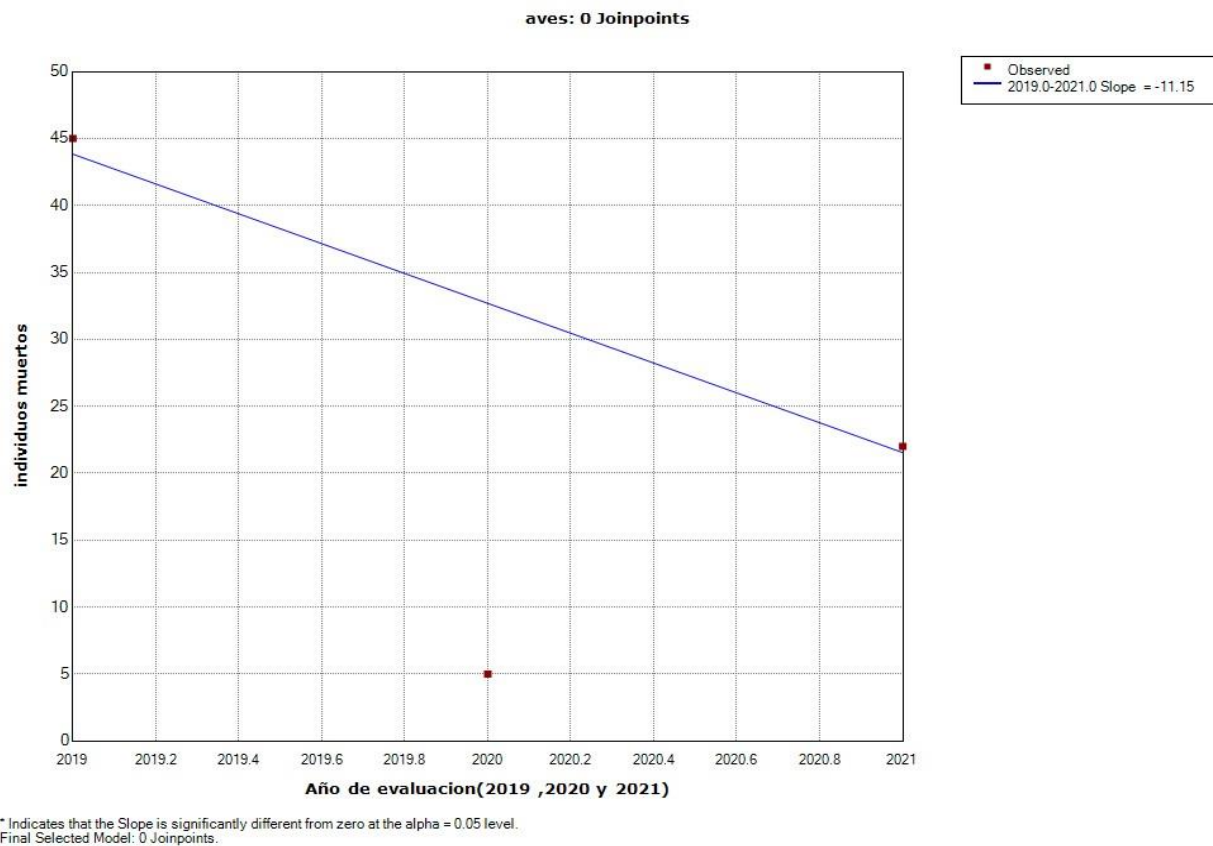


Figura 8. Modelo de regresión Joinpoint, el número de individuos muertos disminuyó a través de los años de evaluación (relación inversa) y no presentó un cambio de tendencia significativo (0 joinpoints).

4. Discusión

La menor tasa de impacto se encontró en el 2020 (Tabla 1), esto fue debido a que en el aeropuerto de Jaén se cancelaron los vuelos por la pandemia del coronavirus, estas cancelaciones fueron desde marzo a septiembre del 2020. Kukhta & Matsyura (2018) señalan que la dinámica anual de choques con aves a lo largo del año refleja la tendencia general de las aves a permanecer en los territorios de los aeropuertos.

Cano (2000) encontró que en el aeropuerto de Getafe las especies con mayor mortalidad fueron especies de tamaño corporal mediano, cuya actividad transcurre en el suelo y se encuentran solitarias o en pareja. Para el caso del aeropuerto de Jaén las especies con mayor cantidad de individuos muertos (Figura 2), fueron de tamaño corporal bajo (*Leistes bellicosus* = 20 cm y *Chordeillus acutipennis* = 22 cm) si tomamos como referencia a Barrientos et al. (2016) los cuales agrupan al tamaño de las aves en el aeropuerto Carriel Sur de Talcahuano de la siguiente manera: alto (>71 cm de

longitud corporal), medio (31-70 cm de longitud corporal) y bajo (<30 cm de longitud corporal).

De acuerdo a la figura 2 en el aeropuerto de Jaén las especies que presentan una mayor cantidad de individuos muertos fueron *Leistes bellicosus* (35%) y *Chordeillus acutipennis* (21%). Husby (2016) en su estudio llevado a cabo en carreteras menciona que las aves atraídas por la comida que se encuentra alrededor de estas tuvieron más susceptibilidad de ser embestidas. Para el caso del aeropuerto las especies mencionadas también tienen el comportamiento de buscar alimento alrededor de la pista, donde abundan las herbáceas y por lo tanto insectos, por lo que este punto coincidiría con el autor.

Con respecto a la mortalidad a través de los años de evaluación, el 2020 fue donde se reportaron una menor cantidad de individuos muertos (Figura 3). De acuerdo a Barrientos et al. (2016) cuando aves y aeronaves utilizan un mismo espacio aéreo existe una alta probabilidad de colisión entre ellas. En el 2020 en el aeropuerto de Jaén esta probabilidad habría disminuido ya que en este año no hubo

llegada de aviones, por lo que en este periodo, aves y aeronaves no habrían coincidido.

Para el aeropuerto de estudio las variables que tienen mayor relación a los fallecimientos de aves por impactos con aviones (Figura 4) son: 1) el uso del área de movimiento del aeropuerto por parte de las aves y 2) el comportamiento de los individuos al formar bandadas, ser solitarios o estar en pareja, más que las abundancias y el tamaño de las especies, pudiendo entender de esa manera que los choques entre aves y aeronaves en este aeropuerto están sobretodo influenciados por el comportamiento de las especies, más que por las características estructurales de la población, coincidiendo en este punto con Soliman (2014) quien menciona que el comportamiento de las especies de aves influye en el riesgo de que se produzca un choque.

Una variable asociada a los impactos con aviones es el uso del área de movimiento del aeropuerto por parte de las aves. De acuerdo a Zhao et al. (2019) las especies con mayor movimiento en los aeropuertos tienen mayor frecuencia de colisión con aeronaves y las especies que tienden a volar a velocidades más altas tienen más tiempo para participar en maniobras evasivas y evitar impactos. Hegel et al. (2012) refieren que el riesgo de impacto disminuye cuando decrece la disponibilidad de recursos. Castillo et al. (2015) mencionan que las causas de la mortalidad de aves por impactos se pueden relacionar con la concentración de vegetación arbórea y arbustiva en los márgenes de la carretera y por lo general las aves cruzan o se mantienen en el borde de la vía en busca de alimento, probablemente porque encuentran cantidad de alimento y las condiciones climáticas como temperatura y humedad que favorecen su desarrollo.

La mortalidad según el comportamiento de las especies permitió reconocer que las aves con conductas solitarias presentaron una mayor mortalidad en el aeropuerto de Jaén, en comparación con las que forman bandadas (Tabla 2 y Figura 5). Por otro lado, Vargas (2013) para los aeropuertos a nivel nacional reporta una mayor incidencia de impactos en aves gregarias como Gallinazo cabeza negra (*Coragyps atratus*) y Huerequeque (*Burhinus superciliosus*). Lo que daría a entender que la participación de especies en impactos también estaría en función de la región del país donde se encuentre el aeropuerto.

De acuerdo a la densidad de Kernel, en el aeropuerto de Jaén la zona con la mayor cantidad de individuos muertos fue el centro de la pista (Figura 6). Husby (2016) en su estudio

de mortalidad de aves en carreteras señala que las tasas de mortalidad son mucho más altas en unas zonas que en otras y que se relaciona también con la disponibilidad de recursos que tienen las aves para alimentarse en las mencionadas zonas, de alguna manera esto explicaría los resultados encontrados en el aeropuerto de Jaén.

La probabilidad de supervivencia de aves en el aeropuerto de Jaén (Tabla 3 y Figura 7) va cambiando según el año de evaluación. Cano (2000) señala que existen ciertos factores que influyen en que se produzcan un impacto como: la altura a la que vuelan las diferentes especies de aves, la altitud sobre el nivel del mar en el que se encuentre el aeropuerto, las condiciones meteorológicas en el momento del aterrizaje y despegue de un avión, y el número de movimientos de las aeronaves. Esto nos podría dar una idea también porque las probabilidades de supervivencia en el aeropuerto de estudio cambian.

Durante los años de evaluación se encontraron 2 individuos muertos pertenecientes a las especies *Coragyps atratus* y *Cathartes aura* (Tabla 4). Bravo et al. (2019) encontraron en su estudio de mortalidad de rapaces en una ruta costera de Chile central que la tasa de impactos de Cathartidos fue baja debido a la alta capacidad de estas aves de emprender vuelo a tiempo para evitar las colisiones. Por otro lado, Canales et al. (2020) afirman en su investigación de muerte de fauna silvestre en México que los Cathartidos son vulnerables a los accidentes debido a su reacción lenta. Barrientos et al. (2016) mencionan que la presencia de grupos de aves carroñeras tales como gallinazos en el aeropuerto Carriel Sur de Talcahuano se debería a la existencia de acumulaciones de desechos. En el caso del aeropuerto de Jaén no existen dentro ni alrededor de él puntos de acumulación de desechos lo que menguaría la presencia de gallinazos en el aeropuerto.

Con respecto al choque con Cathartidos, en el aeropuerto de Jaén se hallaron restos de 2 individuos muertos durante los años de evaluación. De La Ossa & Galván (2015) mencionan que las especies carroñeras de las familias Cathartidae y Falconidae experimentan impactos porque buscan para alimentarse de los animales que se encuentran muertos sobre la vía o porque se ven atraídos por residuos orgánicos arrojados a la carretera. En el caso de los individuos encontrados en el aeropuerto junto a ellos se encontraron anfibios de la especie *Bufo sp.* con los intestinos expuestos de los cuales probablemente estaban

alimentándose y con lo cual habrían demorado en hacer alguna maniobra para evitar el choque con los aviones. De acuerdo a la figura 8 no existen aun cambios de tendencias significativos, por lo que esto también nos sugiere que se necesitarían todavía más años de evaluación para analizar un poco más estas tendencias; sin embargo, lo analizado nos da una visión previa de cómo se comportarían estas a lo largo de los años.

5. Conclusiones

La tasa de impacto fue de 0,031 ind./km/día, presentando el 2019 la mayor tasa la cual fue de 0,051 ind./km/día.

En el aeropuerto de Jaén entre enero 2019 y julio 2021 se encontraron 71 individuos muertos siendo la especie más abundante *Leistes bellicosus* (35%). Se encontraron la mayor cantidad de individuos muertos en el centro de la pista.

Las especies que tienen comportamientos solitarios o forman parejas tienen 4 veces mayor riesgo de morir al impactar con aviones, en comparación a aquellas especies que integran bandadas.

La probabilidad acumulada de supervivencia de las especies de aves a los impactos con aviones fue de 0,9182.

6. Contribución de los autores

JA (1) la concepción y el diseño de estudio, registro de datos, elaboración de los mapas, redacción del borrador del artículo y la revisión crítica del contenido y la aprobación final. RM (2) la concepción y el diseño de estudio, redacción del borrador del artículo y la revisión crítica del contenido y la aprobación final.

7. Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de interés.

8. Agradecimientos

Agradecemos a la Corporación Peruana de aeropuertos y aviación comercial (CORPAC S.A), y a su personal del aeropuerto de Jaén por brindarnos las facilidades para realizar la presente investigación, También nuestro agradecimiento al Sr. Marco Antonio Requena Sánchez por realizar las radiografías de las aves y al Sr. Edward Armando Vallejos Milla por la ayuda brindada.

9. Financiamiento

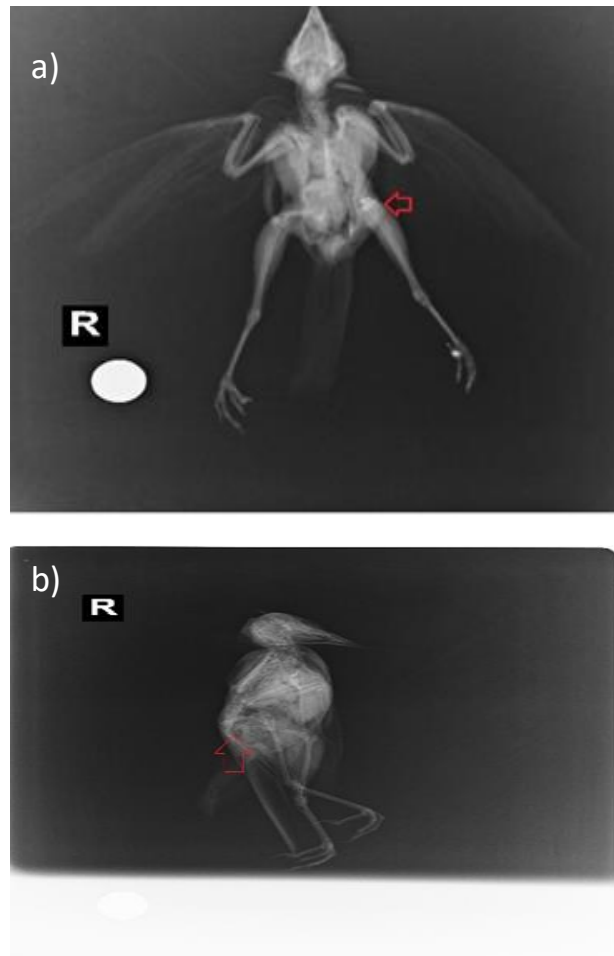
Financiamiento propio de los autores

10. Referencias Bibliográficas

- Arribalzaga, E. (2007). Interpretación de las curvas de supervivencia. *Rev. Chilena de Cirugía*,59(1):75-83.
- Anicchiario, L. & Agudelo, W. (2007). Programa Nacional de limitación de fauna en aeropuertos. Unidad administrativa especial de aeronáutica civil de Colombia. <https://n9.cl/28u31>
- Ayres, M., Ayres, J., Lima, D.&Santos, A. (2007). *BioEstat*. (Versión 5.3). [Software de computador]. Instituto Mamirauá. <https://www.mamiraua.org.br/downloads/programas/>
- Bauni, V., Anfuso, J. & Schivo, F. (2017). Mortalidad de fauna silvestre por atropellamientos en el bosque atlántico del Alto Paraná, Argentina. *Ecosistemas*, 26(3):54-66.
- Barrientos, C., Gonzáles, D., Moreno, L., Ardiles, C., Ricardo, A., & Figueroa, R. (2016). Aves asociadas al Aeropuerto Carriel Sur de Talcahuano, sur de Chile: Evaluación de peligro aviario. *Gayana*, 80(1):40-55.
- Bravo, V., Piñones, C., & Norambuena, H. (2019). Puntos calientes y factores asociados al atropello de aves rapaces en una ruta costera de la zona semiárida de Chile central. *Ornitología Neotropical*, 30:208-216.
- Canales, J., Pérez, R., Zaldivar, A., Gómez, M., Vásquez, N., De la Rosa, M. & Potenciano, L. (2020). Muertes por tráfico sobre la carretera costera del golfo de México: ¿cuántas y cuáles especies de fauna silvestre se están perdiendo? *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 91:1-12.
- Cano, J. (2000). Primeros datos sobre la mortalidad de aves por impacto con aviones en la base aérea de Getafe (Madrid). *Anuario Ornitológico de Madrid*, 1999: 90-107.
- Carvalho, F. & Mira, A. 2011. Comparing annual vertebrate road kills over two time periods, 9 years apart: a case study in Mediterranean farmland. *European Journal of Wildlife Research* 57: 157-174.
- Castillo, J., Urmendez, D. & Zambrano, G. (2015). Mortalidad de fauna por atropello vehicular en un sector de la vía panamericana entre Popayán y Patía. *Bol. Cient. Mus. Hist. Nat. U. de Caldas*, 19 (2):207-219.
- Coelho, I.P., Kindel, A., Coelho, A. (2008). Roadkills of vertebrate species on two highways through the Atlantic Forest Biosphere Reserve, southern Brazil. *European Journal of Wildlife Research* 54: 689.
- Cuyckens, G., Mochi, L., Vallejos, M., Perovic, P. & Biganzoli, F. (2016). Patterns and Composition of Road-Killed Wildlife in Northwest Argentina. *Environmental management* 58: 810-820.
- Da Cunha, H., Moreira, F., De Sousa Silva, S. 2010. Roadkill of wild vertebrates along the GO-060 road between Goiânia and Iporá, Goiás State. *Acta Scientiarum. Biological Sciences* 32: 257-263.
- De La Ossa, J. & Galván, S. (2015). Registro de mortalidad de fauna silvestre por colisión vehicular en la carretera Tolviejo-ciénaga La Caimanera, Sucre, Colombia. *Biota Colombiana*, 16 (1):67-77.
- Dirección General de Aviación Civil [DGAC]. (2018). Resolución Directoral N° 375-2013-MTC/12. Gestión de riesgo por fauna en aeródromos. <https://n9.cl/5epan>.
- Equipo de Desarrollo de QGIS. (2009). Sistema de Información Geográfica QGIS. (Versión 3). [Software de computador]. Proyecto de Fundación Geoespacial de código abierto. <https://qgis.org/es/site/>.
- Garmendia, M., López, A., Muñoz, P. & Martínez, A. (2011). Estudio sobre peligro aviario: análisis del riesgo de impactos entre aves y aeronaves en el Aeropuerto Internacional Augusto C. Sandino, Managua, Nicaragua. *La Calera*; 11(16):33-42.
- Godínez, E. (2016). *Aves y aeronaves: riesgos y peligros*. Editorial Universal Books. <https://n9.cl/8i1jn>.
- González, M. (2018). Mortalidad de fauna silvestre por efecto vehicular en el área de influencia de la Reserva Ecológica Manglares de Churute durante la época seca y húmeda. [Tesis para título, Universidad De Guayaquil, Ecuador].

- Gumier-Costa, F., & Sperber, C. (2009). Atropelamientos de vertebrados na Floresta Nacional de Carajás, Pará, Brasil. *Acta Amazonica* 39:459-466.
- Hegel, C., Consalter, G. & Zanella, N. (2012). Mamíferos silvestres atropelados na rodovia RS-135, norte do Estado do Rio Grande do Sul. *Biotemas*, 25(2):165–170.
- Husby, M. (2016). Factors affecting road mortality in birds. *Ornis Fennica*, 93:212–224.
- International Federation of Air Line Pilots's Associations (IFALPA). 2008. IBSC anti-birdstrike recommendations. <https://n9.cl/xat82>
- Kukhta, A. & Matsyura, A. (2018). Analysis of bird mortality caused by transport incidents in flight safety management. *Ukrainian Journal of Ecology*, 8(4): 351-356.
- Marateo, G., Grilli, P., Ferretti, V. & Bouzas, N. (2011). Diagnóstico de riesgo aviario en un aeródromo de un área megadiversa de Perú. *Conex, SIPAER*, 2(3):203-227.
- Monroy, M., De La Ossa-Lacayo, A., De La Ossa, J. (2015). Tasa de atropellamiento de fauna silvestre en la vía San Onofre-María la baja, Caribe Colombiano. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, 1(27):85-99.
- Organización Panamericana de la Salud (OPS). 2002. Módulo de principios de epidemiología para el control de enfermedades, medición de las condiciones de salud y enfermedad en la población. <https://www.paho.org/col/dmdocuments/MOPECE3.pdf>.
- Sánchez, J., Delgado, C., Mendoza, E., & Sauzo, I. (2013). Las carreteras como una fuente de mortalidad de fauna silvestre de México. *Biodiversitas*, 11:12-16.
- Schulenberg, T., Stotz, D., Lane, D., O'Neill, J., & Parker, T. (2010). *Birds of Perú*. Revised and updated edition. Princeton University Press. Princeton, New Jersey.
- Statistical Methodology and Applications Branch, Surveillance Research Program. (2020). Joinpoint Regression Program (Version 4.8.0.1). [Software de computador]. National Cancer Institute. <https://surveillance.cancer.gov/joinpoint/download>.
- Soliman, A. (2014). A Review of Bird Control Methods at Airports. *Global Journal of Science Frontier Research: E Interdisciplinary*, 14:1-12.
- Ugaz, A. & Saldaña, I (2014). *Aves de Piura*. Editorial Emdecosege S.A.
- Vivanco, R., Pérez, R. & Castillo, D. (2014). Mapas Kernel como indicador de la concentración de la pérdida de bosques húmedos amazónicos del Perú, Manual de Operaciones del Programa Nacional de Conservación de Bosques. http://www.bosques.gob.pe/archivo/81ea34_notatecnica_1_2016.pdf.
- Vargas, F. (2013). Informe técnico el peligro de fauna en los aeródromos del Perú. <https://n9.cl/0fs5w>.
- Zhao, B., Wang, N., Fu, Q., Yang, H., & Wu, N. (2019). Searching a site for a civil airport based on bird ecological conservation: An expert-based selection (Dalian, China). *Global Ecology and Conservation*.20:1-12.

ANEXO



Anexo 1. Individuos de *Leistes bellicosus* con patas izquierdas rotas producto de un impacto con avión

a) Vista frontal y b) Vista lateral.



EL DERECHO AMBIENTAL Y LA CONTAMINACIÓN SONORA EN EL PERÚ

ENVIRONMENTAL LAW AND NOISE POLLUTION IN PERU

Karina Milagros Ordóñez-Ruiz ^{1*}; Karla Luz Mendoza-López ²; Luis Alberto Ordóñez-Sánchez ³

¹ Facultad de Derecho y Humanidades, Universidad Cesar Vallejo, Carretera Marginal Norte Fernando Belaúnde Terry Km 8.5, Cacatachi, San Martín - Ciudad Universitaria, Tarapoto, Perú.

² Facultad de Ingeniería Agraria, Universidad Católica Sede Sapientiae. Lima, Perú.

³ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de San Martín. Jr. Amorarca N° 334 Morales. Tarapoto, Perú.

Karina Milagros Ordóñez- Ruiz:



<https://orcid.org/0000-0002-5957-2447>

Karla Luz Mendoza-López:



<https://orcid.org/0000-0003-4041-7890>

Luis Alberto Ordóñez- Sánchez:



<https://orcid.org/0000-0003-3860-4224>

Artículo de Revisión

Recibido: 02 de octubre 2021

Aceptado: 25 de noviembre 2021

Resumen

La presente investigación se centró en las fuentes legales y doctrinarias, las cuales resguardan el derecho ambiental, como base de la sostenibilidad; abarcando un especial énfasis en su articulación en torno a la contaminación sonora, que desde hace ya muchos años atrás viene vulnerando y perjudicando el derecho a un ambiente equilibrado y por ende atentando contra la salud y la vida de las personas. Realidad reflejada clara y enfáticamente en Perú, donde los niveles sonoros superan los 75 dB, a consecuencia del parque automotor y de las actividades industriales, sobre todo, además de la marcada ausencia de una educación ambiental; generando un grave problema que se ve reflejado en la calidad de vida de la población circundante; hecho que pone en evidencia la necesidad de fomentar una cultura de derecho ambiental, conjuntamente con la implementación de herramientas jurídicas y medidas correctoras, que garanticen su cumplimiento; y es que, cuando se ajuste la normatividad vigente y reconozcan verdaderamente los derechos ambientales, se incrementaran los estándares de protección del entorno natural, repercutiendo considerablemente en el desarrollo sostenible del Perú.

Palabras clave: Ambiente equilibrado, ambiente, contaminación sonora, derecho ambiental, derechos fundamentales.

Abstract

This research focused on legal and doctrinal sources, which protect environmental law, as a basis for sustainability; encompassing a special emphasis on its articulation around noise pollution, which for many years has been violating and damaging the right to a balanced environment and therefore threatening the health and lives of people. Reality reflected clearly and emphatically in Peru, where sound levels exceed 75 dB, as a result of the automobile fleet and industrial activities, above all, in addition to the marked absence of environmental education; generating a serious problem that is reflected in the quality of life of the surrounding population; a fact that highlights the need to promote a culture of environmental law, together with the implementation of legal tools and corrective measures that guarantee compliance; and it is that, when current regulations are adjusted and environmental rights are truly recognized, the standards of protection of the natural environment will increase, having a considerable impact on the sustainable development of Peru.

Keywords: Balanced environment, environment, environmental law, fundamental rights, noise pollution.

* Autor para correspondencia: ordonezrk@ucvvirtual.edu.pe

DOI: <http://dx.doi.org/10.17268/rebiol.2021.41.02.10>

Citar como:

Ordóñez, K., Mendoza-López, K., & Ordóñez L. 2021. El derecho ambiental y la contaminación sonora en el Perú. REBIOL, 41(2): 246-255.



1. Introducción

Es indiscutible, el papel del hombre como principal causante de la crisis ambiental mundial, esto debido al comportamiento y/o creencia antropocentrista, donde prima el crecimiento económico sobre la protección y cuidado del ambiente, asumido desde hace ya muchos años; y que hoy en día se ve reflejado en un sin número de problemas ambientales, destacando de ellos el cambio climático y la crisis energética; eventos que repercuten enormemente sobre el estado financiero, económico, y la integridad de miles de millones de personas de todo el planeta (Barkin et al., 2011; Pinto, 2019; Parrado et al., 2020). Ante ello, y en respuesta al estado alarmante, desde el punto de vista ambiental, en la que se encontraba inmerso nuestro planeta, es que, surgen a principios de la década de los setenta, los primeros mecanismos de acción en pro de la sostenibilidad de nuestro medio, con la consiguiente creación y aplicación del derecho ambiental internacional, que tuvo un gran impacto en la cultura jurídica moderna (Matos & Flores, 2016; Jaria, 2019).

Ahora bien, es necesario recalcar que el derecho ambiental, considerado a su vez como un derecho fundamental de la persona, comprende dos grandes aspectos: Primero, el valor positivo de los derechos fundamentales, que es reconocido por la constitución política del país; y segundo que hace referencia a la ética y axiología de los derechos fundamentales, que busca reconocer en sentido amplio la dignidad humana. Por tanto, es la fuente sobre la que la dimanan los derechos de la persona y que justifica la existencia del estado y sus objetivos (Navarro, 2010; Luis, 2018).

Sumado a ello, son muchos los contaminantes que vulneran al hombre, impidiendo de que éste pueda gozar de un medio equilibrado, repercutiendo directa o indirectamente sobre su salud y calidad de vida; por lo que el derecho ambiental en el sentido más amplio, abarca al derecho a la vida y a la salud humana (Iglesias, 2016; Parrado et al., 2020).

De todos los tipos de contaminación, la acústica constituye ser en uno de los principales problemas globales de la sociedad actual; realidad ambiental preocupante, que se ve reflejado en el hecho de que cerca de 170 millones de personas se encuentran conviviendo diariamente con ruidos que oscilan entre los 55 y 65 decibelios (dB), y otros

80 millones a niveles por sobre los 65 dB; por lo mencionado, urge tomar medidas radicales que mermen esta contaminación sonora (Amable et al., 2017; Lira et al., 2020). Toda vez que estos niveles son capaces de alterar y/o modificar las condiciones normales del ambiente, donde el aumento del parque vehicular y las actividades antrópicas, son las principales fuentes de ruido, provocando un sin número de enfermedades relacionadas al sistema nervioso, como, estrés, ansiedad, irritabilidad, jaquecas, insomnio, dificultades de habla y sordera leve o aguda; en los pobladores a nivel mundial (Mamani & Mendoza, 2020; Quispe et al., 2021).

De allí que estudios reportan que la contaminación acústica, es considerada en Francia como la primera causa de contaminación, y la segunda en Europa; siendo Japón el país que emite más ruido en todo el mundo, seguido de España; mientras que dentro de Latinoamérica, Perú es considerado como el país que presenta mayor incidencia de este tipo de contaminación; hecho que origina problemas en el cumplimiento del derecho ambiental, como lo demanda la Constitución Política de este país y las directivas regionales, distritales y municipales (Félix et al., 2016; Amable et al., 2017; Infante & Pérez, 2021).

Por todo lo mencionado en los párrafos anteriores y tomando en cuenta la amplitud del derecho ambiental, se propone como objetivo de la investigación revisar los alcances ¿Técnicos, científicos, prácticos? del derecho ambiental y la contaminación sonora en el Perú.

Antecedentes históricos sobre el derecho ambiental en el mundo

El interés de proteger el ambiente de posibles factores que le afecten, no es reciente como se piensa, en la historia de la humanidad desde el tiempo de los babilonios, griegos y romanos, se expidieron leyes para regular la caza y el cuidado de los bosques, buscando la sustentabilidad de los recursos (Crespo, 2003; González, 2001).

A los inicios de la época de la revolución industrial (1760-1840), se genera un cambio en el desarrollo de la economía de los países. Es así que en Gran Bretaña se inicia esta revolución, cambiando su modelo económico basado en la agricultura por uno enfocado en el desarrollo industrial, expandiéndose poco tiempo después a toda Europa. Posterior a ello empezó un nuevo periodo, al que se lo denominó la segunda revolución industrial, el cual se

caracterizó por el desarrollo de la tecnología y la incursión en el desarrollo de la ciencia, expandiéndose no solo a Europa sino también a los Estados Unidos; y en donde el uso de combustibles fósiles fue trascendental, sumado al invento del primer automóvil a combustión y del desarrollo industrial, trayendo consigo considerables alteraciones en el ritmo de vida de las personas (Aparicio, 2014).

Ahora bien, según Rodríguez (2007), el inicio del ambientalismo está asociado a las graves repercusiones que ocasionó la Segunda guerra mundial, generando un grave deterioro del medio ambiente, sin precedentes, generando a su vez afectaciones a la salud y calidad de vida de las personas, por lo que Estados Unidos, como una manera de subsanar estos acontecimientos, permitió la reivindicación de los derechos humanos, frente a la contaminación de la que eran víctimas (Crespo, 2003; Rodríguez, 2007). Siendo uno de los principales actores internacionales que ha sido un referente en la protección del ambiente, las Naciones Unidas, creada en octubre de 1945, con el fin primordial de promover la conservación y cuidado del ambiente (Silva & Gener, 2020). Como primeros antecedentes a nivel internacional sobre la aparición del derecho ambiental, se puede mencionar la frase "Toda persona tiene derecho a un nivel de vida adecuado", descrito en el artículo 25 de la Declaración Universal de los Derechos Humanos (ONU, 1948).

Luego de muchos años, en la segunda mitad del siglo XX, el Pacto Internacional de Derechos Civiles y Políticos (PIDCP), así como el Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales (PIDESC) de 1966, plantearon la necesidad de que la calidad del ambiente en el que viven las personas debe ser óptimo, permitiendo un nivel de vida adecuado libre de contaminación. Más adelante en 1972, las Naciones Unidas jugó un rol importante respecto a la conservación del ambiente, en la cual su principal aporte fue la declaración de Estocolmo, en la que se dio a conocer la preocupación por la conservación ambiental, como acción necesaria para mejorar la vida humana; incentivando su protección a nivel internacional (De Luis, 2018).

En 1987 se redacta e hizo entrega del informe intitulado "Nuestro futuro común", en el que se explica al desarrollo sostenible como la búsqueda de satisfacción de recursos en la generación presente sin comprometer a las generaciones futuras, el satisfacer sus propias necesidades

(Asamblea General de las Naciones Unidas, 2011). Por tanto, las Naciones Unidas constituyo ser un referente en la promoción y protección del ambiente. De tal manera que, en 1992, se incorporó el concepto de "Desarrollo sostenible", con el propósito de asegurar la preservación de nuestros recursos, a fin de que las presentes y futuras generaciones puedan gozar de ellos, mejorando de esta manera su calidad de vida; y con ello armonizar el progreso humano con la preservación del medioambiente. También se definió las obligaciones a seguir por los estados respecto a los principios básicos sobre el medio ambiente, la salud y la eliminación de la pobreza; considerando la plena participación de la mujer como actora imprescindible para lograr tal objetivo (ONU, 1992; Gonzáles, 2001).

El derecho ambiental y la legislación peruana

Actualmente el derecho ambiental, es una rama del derecho que es considerada una ciencia jurídica de gran importancia debido a la vinculación del ambiente con aspectos sociales y económicos, por ello se suele considerar como primordial. Por tanto, para lograr el tan anhelado desarrollo sostenible, se debe regular la protección del medio ambiente y el desarrollo económico (SPDA, 2019; Vernaza et al., 2018). En el ámbito nacional, existen instrumentos legales y normativos referidos a la tutela del derecho ambiental sano y equilibrado, entre ellos se citan en primer término a la Constitución Política del Perú (1993), que mediante su Artículo 2º numeral 22 establece que "toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida"; en segundo término a la Ley General del Ambiente (Nº 28611), que según artículo VI, refiere que la gestión ambiental tiene como objetivos fundamentales: prevenir, vigilar y evitar la degradación ambiental; y finalmente a la Ley del Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental (Nº 29325), que crea el Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental, encargado de establecer las funciones en materia ambiental en conjunto de los gobiernos locales, regionales y nacionales. Por otro lado las leyes que regulan y exigen un control por parte del Estado son: a) Ley marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental (Nº 28245), según el artículo 24, numeral 1, refiere que los gobiernos locales deben cumplir sus funciones en materia ambiental en atención a las políticas, normas y planes nacionales, sectoriales y regionales,

asimismo, en el numeral 2, señala que la gestión ambiental a nivel local debe incluir la participación de la sociedad civil; b) Ley Orgánica de Municipalidades (Ley N° 27972), que según el artículo 80°, numeral 3.4, detalla la función de fiscalización y control de emanación de humos y gases que contaminan la atmósfera. c) Decreto Supremo N° 008-2005-PCM, sobre la aprobación del Reglamento de la Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental, en la cual se establece que las municipalidades deben promover la creación de instancias de coordinación y concertación ambiental. Con lo que respecta a normas de implementación a favor del derecho ambiental en el Perú se tiene como norma macro al Decreto Supremo N° 012-2009-MINAM, que aprueba la Política Nacional del Ambiente, cuyo objetivo es mejorar la calidad de vida de las personas, mediante la prevención, protección y recuperación del ambiente, para lograr el respeto de los derechos fundamentales de la persona (MINAM, 2009). Por otro lado, el Decreto Supremo N° 014-2011-MINAM, el cual aprueba el Plan Nacional de Acción Ambiental PLANAA-PERÚ 2011-2021, establece como meta durante el 2021, la implementación de planes de acción para la calidad del aire (MINAM, 2013).

A través del Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM se aprobó los Estándares de Calidad Ambiental (ECA). Mediante la Resolución de Consejo Directivo N° 11-2017-OEFA/CD, se norma la asignación de competencias al Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental-OEFA, para el seguimiento, vigilancia, supervisión, fiscalización, control y sanción en materia ambiental; además de ello, el Consejo Directivo de la Organización de Evaluación y Fiscalización Ambiental ha emitido normas complementarias como la Resolución de Consejo Directivo N° 027-2017-OEFA-CD, que aprueban el Reglamento del Procedimiento Administrativo Sancionador, así como la Resolución N° 004-2014-OEFA/CD que aprueba los Lineamientos para la Formulación, Aprobación y Evaluación del Plan Anual de Evaluación y Fiscalización Ambiental y la Resolución N° 015-2014-OEFA/CD, que aprueba el reglamento para la atención de denuncias ambientales presentadas ante la OEFA (OEFA, 2021).

El reconocimiento a un derecho ambiental equilibrado para las personas por parte de la legislación local e internacional

En principio es importante recalcar que el presente acápite, precisa una metodología enfocada a establecer una lista de prueba de artículos científicos tendientes a reflejar el derecho ambiental y la contaminación sonora en el Perú: asimismo, teniendo en cuenta en todo momento que dicha información sea el fruto de una búsqueda exhaustiva de publicaciones indexadas en Web of Science, Scopus, latindex, además de otras fuentes de información autorizadas en la materia. Todo ello se refleja en los siguientes casos:

La Contaminación sonora y del aire en el contexto internacional y local

El derecho ambiental incrementa los estándares de protección del entorno natural, sin embargo, cuando se genera daños o perjuicios se vulnera y lesiona el derecho ambiental del entorno y de la persona (SPDA, 2019). En el ámbito local las actividades extractivistas de recursos naturales no renovables, ha conllevado a numerosos conflictos, debido al modelo de desarrollo económico actual. Esto ha generado conflictos con los pueblos andinos, con el afán de extraer los recursos naturales, afectando el estilo de vida de estos sectores históricamente oprimidos, generando resistencia y mucha disconformidad, reflejada en múltiples confrontaciones entre quienes promueven las actividades extractivas y los que protegen su territorio y sus recursos (Lanchi, 2020).

Realidad lamentable y preocupante, reflejada muchas veces en acciones que atentan directamente contra el recurso suelo y agua protegidos por muchas leyes y normativas nacionales e internacionales; a diferencia del recurso aire, el que al ser considerado como un bien común, es contaminado de una forma tal, que a veces resulta hasta irracional, por parte de los emisores de contaminantes químicos y sonoros sobre todo; obviando muchas veces que el aire al no obedecer a las fronteras geopolíticas, vulnera considerablemente la salud pública, disminuyendo la productividad y la calidad de vida de los seres vivos (Medina, 2019).

Tal es el caso de la contaminación sonora, que trasgrede el derecho humano a un medio ambiente sano. La poca o nula aplicación del régimen jurídico en materia de contaminación acústica, se debe a la existencia de vacíos legales, deficiencias y contradicciones, tales como la falta de una definición de contaminación acústica en los

ordenamientos normativos, la indeterminación de competencias de órganos de gobierno en materia de ruido, la regulación insuficiente para la medición del ruido emitido por fuentes móviles y la heterogeneidad de niveles máximos permisibles previstos en diferentes ordenamientos, entre otros aspectos (Ibarra, 2020). Cabe mencionar que numerosos reportes concluyen que la contaminación sonora genera efectos negativos en la salud como: trastornos cognitivos, estrés, ansiedad, sordera y enfermedades cardiovasculares incluido la preeclampsia (Aguilar, 2016; Auger et al., 2018; Villena, 2019) (Tabla 1). Siendo las principales fuentes emisoras de sonido las bocinas de automóviles, motocicletas, sonidos procedentes por actividades industriales y recreativas. Entre los límites máximos permisibles se considera 40 dB en centros hospitalarios, 55 dB en centros de estudio y 70

dB para los centros industriales (Tabla 2). Sin embargo, estos límites se ven vulnerados ante la insistencia por parte de su fuente emisora (Lira, 2020).

La contaminación sonora en el Perú

Son muchas las investigaciones que tratan de explicitar, el impacto y la problemática en torno a la contaminación sonora, tal es el caso de Villena (2019), quien sostiene que el daño ambiental tiene relación directa con el derecho fundamental de vivir en un medio ambiente en equilibrio y saludable en Cerro de Pasco. La percepción ciudadana sostiene que tanto los vehículos, como las fábricas instaladas cercanas a sus hogares emiten ruidos que afectan la calidad de vida de la población (Figura 1 y 2).

Tabla 1. Límites máximos permisibles para contaminación sonora (dB) (Chávez, 2019).

Valor de dB	Consideración	Repercusiones en la salud
>85,3	Altamente peligrosa	Pérdida de la audición, estrés inmediato, problemas cardiacos, ansiedad, dolor fuerte de cabeza.
70,6 a 85,3	Peligroso	
55,8 a 70,5	Poco peligroso	Deficiente ligera de audición, difícil comunicación verbal, falta de concentración.
< 55,8	No peligroso	Leve malestar diurno, tolerable falta ligera de audición

De la misma manera Pastor (2005), en su investigación sobre contaminación acústica en la ciudad de Trujillo, sostiene que el daño auditivo en el Centro Histórico, tiene una relación directa con la intensidad del ruido, demostrándose que el 17,5 % de los pobladores expuestos presentan cuadros de trauma acústico. Debido a que las principales vías presentan un nivel sonoro equivalente mayor a 90,0 dB.

Igualmente Quispe et al. (2021), refieren en su estudio que en Juliaca existe una contaminación sonora de 67,77 dB, superando el estándar de calidad máximo permitido de 55 dB, que además ha traído consigo un impacto considerable, toda vez que el 100 % de las personas expuestas a este contaminante, aseguran haber padecido de alguna afección relacionada al sistema nervioso; de

igual manera, los investigadores refieren que la falta de educación ambiental en esta ciudad es uno de los preponderantes que fomentan este tipo de contaminación. A su vez Lira et al. (2020), sostienen que la contaminación sonora en la ciudad de Barranca, Lima asciende a $79,32 \pm 2,07$ dB en las áreas de comercio, zonas educativas y hospitalarias durante las primeras horas de la mañana (Figura 2 y 3). Por otro lado, Chávez (2019), sostiene ante el incremento del parque automotor, producto de la realización de mayores actividades económicas en Celendín, ha ocasionado cambios altamente perjudiciales para la comunidad, ya que se alcanza los 71,6 dB en el área residencial y 81,9 dB en el área industrial y comercial.

Tabla 2. Límites máximos permisibles según zona de aplicación (El peruano, 2016).

Área de aplicación	Horario de día 7:00 am a 10 pm	Horario de noche 10 pm a 7:00 pm
Área industrial	80 dB	70 dB
Área residencial	60 dB	50 dB
Área comercial	70 dB	60 dB
Áreas de protección especial (Hospitales, colegios, ecosistemas naturales)	50 dB	40 dB

Por otro lado, Geldres (2016), en una investigación realizada en Puente Piedra (Lima), sostiene que debido al desconocimiento del derecho ambiental por parte de la mayor parte de la población y el poco o nulo compromiso del estado peruano por resguardar la integridad y preservación del medio ambiente frente a escenarios de contaminación sonora. La población no ejerce su derecho ambiental, esto se evidencia en un reducido número de denuncias por contaminación sonora. A su vez la carencia de instrumentos jurídicos obligatorios para prevenir y mitigar la contaminación sonora, conlleva a una falta de trabajo eficiente para afrontar esta problemática, ya que un ambiente sonoro saludable, es un derecho fundamental para todos (De Luis, 2018).



Figura 1. Contaminación sonora en el mercado central de Tarapoto, ocasionado por ambulantes.



Figura 2. Contaminación sonora en el Centro de Tarapoto, ocasionado vehículos menores.



Figura 3. Contaminación sonora en la carretera Panamericana Sur-Ciudad de Lima.



Figura 4. Contaminación sonora ocasionado por el excesivo tráfico en la ciudad de Lima.

La contaminación y la necesidad de conocimiento por parte de la población

Es importante señalar que el fortalecimiento de capacidades de las personas sobre el conocimiento y respeto al derecho ambiental es necesario para que la legislación vaya junto al cumplimiento de las leyes, para ello se requiere que la población asuma una cultura de derecho ambiental (Aguilar, 2016).

Sin embargo, Nina (2015) en su investigación realizada en la ciudad de Puno, sostiene que existe un alto desconocimiento por parte de la ciudadanía referente al derecho ambiental y a los problemas de contaminación sonora. A pesar que el artículo 2º, numeral 22 de la Constitución Política del Perú, aborda el derecho que tiene todo ciudadano a vivir en un ambiente saludable y equilibrado (Nina, 2015). Por ello la participación ciudadana constituye ser fundamental para la validación y autorización de los estudios de impacto ambiental, para una determinada actividad antrópica. De tal manera que los ciudadanos tengan la capacidad de identificar y plantear alternativas de solución (Jaria, 2019; Vernaza et al., 2018). Sin embargo, para ello es necesario un marco jurídico social de derecho ambiental, con una mayor determinación de sus alcances, contenido y objetos de estudio, conjuntamente herramientas jurídicas que garanticen su cumplimiento y que permitan un ejercicio adecuado por parte de la población. A su vez la implementación de instrumentos correctivos como: multas y sanciones económicas para los reincidentes. De la misma manera instrumentos económicos, que permitan generar incentivos para aquellos que respeten el derecho ambiental. Por otro lado, los instrumentos cooperativos para lograr mutuos acuerdos entre inversionistas y pobladores, evitándose la generación de conflictos cuando la población siente que se vulnera sus derechos ambientales. Por último, la generación de instrumentos financieros, que permitan al sector empresarial cubrir mediante seguros la generación de daños o perjuicios. Por otro lado, la generación de incentivos económicos ante la evidencia de políticas ambientales responsables (García, 2018).

La lucha contra la contaminación sonora

Debido a que el ruido es considerado un contaminante que vulnera la salud humana, es importante la implementación

de políticas de lucha. Entre ellas destaca: 1) La reducción de las fuentes emisoras de ruido, ejemplo: La eliminación del antiguo parque automotor. 2) Implementación de un sistema de control de ruido durante las revisiones técnicas, para que durante su circulación sea evidente una notable reducción. 3) Desarrollo de incentivos por la adquisición de tecnología silenciosa, tanto en el sector industrial y el automotor. 4) Incidencia de la educación ambiental en todos los niveles de edad, para lograr la contribución de la ciudadanía. 5) Desarrollo de investigación en relación al tema de contaminación sonora, lo cual favorecerá el desarrollo de nuevas tecnologías (González, 2011).

En general, son muchas las medidas adoptadas por diversos países, a fin de acabar con la contaminación sonora; tal es el caso de los aeropuertos de España, donde en el afán de mitigar el daño causado al medio ambiente por la contaminación acústica se tienen de renovar cada cierto tiempo flotas de las aeronaves, quedando prohibido el vuelo de aviones DC-9, DC-10 y el Boeing 727 en toda Europa desde el año 2002; asimismo, se vienen planteando cabeceras y rutas donde se tiene en cuenta la dirección al momento de despegar y aterrizar de acuerdo a la dirección del viento; así como el uso de distintas velocidades y regímenes del motor que en conjunto ayudan a minimizar el ruido (Sanuy, 2008). Cabe destacar que, en muchos aeropuertos de Europa, ya se vienen empleando micrófonos capaces de monitorear y evaluar el ruido en los aeropuertos (Rivera, 2012).

Por otro lado, en Colombia, por ejemplo existe una guía ambiental para la operación y funcionamiento de aeropuertos, donde se establecen criterios amigables con el medio ambiente y más específicamente contra la contaminación sonora, destacando entre ellas, la restricción de las aeronaves no certificadas por ruido (NNC), la racionalización de las pruebas de motores, mantenimientos preventivos y correctivos, así como la optimización de los procesos y el establecimiento de una tarifa diferenciada para las operaciones de despegue y aterrizaje, así mismo es importante destacar la instalación de barreras para el tratamiento acústico, redistribución de áreas, el uso de elementos de protección auditiva individual al igual que la implementación de un programa de prevención para la conservación de la audición para los funcionarios del aeropuerto Consorcio Veritas. (2001); por no mencionar que Moy (2011), refiere que en el caso de

Perú, el cambio de los diseños de las hélices (incrementar el tamaño, número y distancia entre las aspa) son factores a considerar para una mejora de la calidad de vida de quienes están expuestos a grandes niveles de ruido en sus aeropuertos; de allí que Bautista (2010), plantea además medidas que se pueden implementar a los trabajadores expuestos al ruido a niveles superiores a 80 dB (A) basados en programas de vigilancia epidemiológica, a través de la ejecución de evaluaciones auditivas pre-operacionales, para luego realizar un seguimiento pos-ocupacional, cada 5 años.

Por otro lado, es importante destacar que Chile, en el afán de mitigar este problema global, cuenta con un plan basado en tres ejes temáticos: educación, fiscalización e información; medida que debería tomarse como ejemplo, en la ardua labor de mitigar este mal antrópico (Gamero, 2020).

De igual manera, son muchos los casos en Perú, donde se aplican medidas de control contra el ruido, tal es así que Huaquisto & Chambilla, (2021) recomiendan el uso de protectores auditivos de un nivel mínimo NRR 15 dB y NRR 25 dB para operadores de equipos pesados y livianos respectivamente; empleados en la construcción de vías de concreto de desagadero; asimismo es importante mejorar las normas ya establecidas que tiene Perú en materia ambiental, a la par de exigir su cumplimiento; a través de un mayor control, de profesionales capacitados y de inversiones con entidades encargadas de fiscalizar el ruido en las ciudades (Gamero, 2020); quedando demostrado fehacientemente que los estudios acústicos se están constituyendo en una herramienta modeladora de las ciudades del futuro (Alfaro et al., 2020).

3. Conclusiones

El derecho ambiental, se constituye actualmente en la base fundamental de la sostenibilidad del ambiente en el Perú. A su vez la contaminación sonora en el Perú, a consecuencia del parque automotor, actividades industriales y la ausencia de una cultura ambiental ha conllevado a superar los límites máximos permisibles, afectando la calidad de vida de la población. Por tanto, es necesario ajustar la normatividad vigente para prevenir y garantizar su cumplimiento, contribuyendo con mejorar la calidad de vida de la población del Perú.

4. Contribución de los autores

M. Ordóñez- Ruiz: Concepción de la idea, interpretación de datos y aprobación final de informe.

K. L. Mendoza-López: Redacción y revisión crítica del contenido intelectual.

L. A. Ordóñez- Sánchez: Aprobación definitiva de la versión que se presenta.

5. Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de interés.

6. Agradecimientos

Al Blgo. José N. Gutiérrez R. por las revisiones y comentarios al manuscrito y a Ricardo Vásquez, fundador de la Asociación Científica para la Conservación de la Biodiversidad por el constante apoyo en las salidas de campo realizadas para la elaboración de este trabajo.

7. Referencias Bibliográficas

- Aguilar, J. (2016). Implicancias socio-jurídicas de la contaminación sonora asociada al estrés y la hipoacusia, en la Urbanización Palao – San Martín de Porres – 2016. [Tesis pregrado, Universidad César Vallejo, Lima, Perú].
- Auger, N., Duplaix, M., Bilodeau-Bertrand, M., Lo, E. & Smargiassi, A. (2018). Environmental noise pollution and risk of preeclampsia. *Environmental Pollution*, 239: 599-606.
- Alfaro, D., Portuguez, Ian., Perdomo, H. & Vargas, R. (2020). Ruido ambiental en áreas verdes urbanas y periurbanas de una microcuenca en Heredia, Costa Rica. *Cuadernos de Investigación UNED* 12(2): 419-432.
- Amable, I., Méndez, J., Delgado, L., Acebo, F., de Armas, J., & Rivero, M. (2017). Contaminación ambiental por ruido. *Revista Médica Electrónica*, 39(3): 640-649.
- Aparicio, A. (2014). *Historia Económica Mundial 1950–1990*. *Economía Informa*, 385: 70-83.
- Asamblea General de las Naciones Unidas. (2011). *Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/es/ga/presid/ent/65/issues/sustdev.shtml>
- Barkin, D., Fuente, M., & Tagle, D. (2011). "En el crecimiento económico, la crisis ambiental y el marxismo. Debates y perspectivas epistemológicas". *Pensar Epistemología y Ciencias Sociales*, 6: 15-30.
- Bautista, J. (2010). Guías de atención integral basadas en la evidencia para patologías ocupacionales (gatiso). Parte III. Hipoacusia neurosensorial. *Gaceta Informativa*.
- Chávez, A. (2019). Evaluación del riesgo ambiental por contaminación sonora del parque automotor en la ciudad de Celendín, Perú, 2017. [Tesis posgrado, Universidad Nacional de Cajamarca, Perú].
- Consorcio Veritas. (2001). *Guía ambiental para la operación y funcionamiento de aeropuertos*. Ministerio de Medio Ambiente.
- Crespo, R. (2003). *Perspectivas futuras del derecho ambiental*. *Iuris Dictio*, 4(7): 12-28.
- De Luis. (2018). *El medio ambiente sano: La consolidación de un*

- derecho. *Revista Bolivariana de Derecho*, 25: 550-569.
- El Peruano. (2016). Ordenanza que regula la prevención y control de ruidos nocivos o molestos en el Distrito de Santa Anita. <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/ordenanza-que-regula-la-prevencion-y-control-de-ruidos-nociv-ordenanza-no-00192mdsa-1349372-1/>
- Félix, A., Luckwu, B., Guedes, A., Fernandes, L., Wanderley, L. & Bonfim, M. (2016). Teacher's voice: vocal tract discomfort symptoms, vocal intensity and noise in the classroom. *Codas*, 28(2):168-75.
- Gamero, H. (2020). Comparación de los niveles de ruido, normativa y gestión de ruido ambiental en Lima y Callao respecto a otras ciudades de Latinoamérica. *Revista Kawsaypacha: Sociedad y Medio Ambiente*, (5): 107-142.
- García, T. (2018). Instrumentos económicos para la protección ambiental en el derecho ambiental mexicano. *Sociedad y ambiente*, (17):247-266.
- Geldres, B. (2016). La contaminación sonora en relación al derecho a la vida, ambiente saludable en el distrito de Puente Piedra, año 2015. [Tesis pregrado, Universidad Cesar Vallejo. Lima, Perú].
- González, F. (2001). ¿Es el derecho a vivir en un medio ambiente sano y adecuado un derecho humano reconocido como tal? *Revista Chilena de Derecho*, 28(2): 271-275.
- González, A. (2011). Contaminación Sonora y Derechos Humanos. Disponible en: <https://www.gub.uy/junta-departamental-montevideo/sites/junta-departamental-montevideo/files/documentos/publicaciones/CO NTAMINACI%C3%93N%20SONORA%20Y%20DDHH.%20D VVM.pdf>
- Huaquisto, S. & Chambilla, I. (2021). Evaluación del nivel de ruido emitido por el equipo mecánico utilizado en la construcción de vías de concreto en desagadero, Perú 2020. *Revistas Veritas Et Scientia*, 10(1): 128-140.
- Ibarra, R. (2020). Contaminación acústica: problema ambiental que vulnera el derecho humano a una vivienda digna y decorosa en la Ciudad de México. *Revista de Investigación en Derecho, Criminología y Consultoría Jurídica*, 13(26): 173-208.
- Iglesias, G. (2016). El derecho a gozar de un ambiente sano: Relaciones entre la salud y el Ambiente. *Revista de la Facultad de Derecho*, (40):159-176.
- Infante, R., & Pérez, J. (2021). La contaminación acústica generado por el transporte terrestre y su implicancia en el estrés en los habitantes en la zona oeste de ate, Lima-Perú. *Pol. Con.* 6(5), 616-630.
- Jaria, J. (2019). Los principios del derecho ambiental: Concreciones, insuficiencias y reconstrucción. *Ius et Praxis*, 25(2): 403-432.
- Lanchi, P. (2020). Derechos al ambiente sano y de la naturaleza Límites y aproximaciones conceptuales. [Tesis posgrado, Universidad Andina Simón Bolívar. Quito, Ecuador].
- Lira, Z., Alfaro, S. & Villanueva, J. (2020). Contaminación sonora en la ciudad de Barranca-Lima-Perú. *Investigación Valdizana*, 14(4):213-219.
- Luis, E. (2018). El medio ambiente sano: La consolidación de un derecho. *Iuris Tantum Revista Boliviana de Derecho*, (25): 550-569.
- Mamani, A., & Mendoza, M. (2020). Contaminación acústica y su percepción ambiental en la comunidad educativa del cercado de Tacna, 2019. *Ingeniería Investiga*, 2(01): 254-264.
- Matos, B. & Flores, M. (2016) *Educación Ambiental para el desarrollo sostenible del presente milenio*. 2da Edición. Ecoe Ediciones. Bogotá.
- Medina, E. (2019). La contaminación del aire, un problema de todos. *Rev. Fac. Med.* 67(2): 189-191.
- MINAM (2009). Política Nacional del Ambiente. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/08/Pol%C3%ADtica-Nacional-del-Ambiente.pdf>
- MINAM. (2013). Plan Nacional de acción Ambiental. https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/08/plana_2011_al_2021.pdf
- Moy, J. (2011). Ruido de aeropuertos: estudio del problema del ruido en el Aeropuerto Jorge Chávez, situación actual y propuesta de solución. [tesis posgrado, Pontificie Universidad Católica del Perú].
- Navarro, M. (2010). Los Derechos Fundamentales de la Persona. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5500999.pdf>
- Nina, A. (2015). Alcances jurídico sociales del derecho a un ambiente saludable, equilibrado y adecuado como derecho fundamental en la constitución nacional y comparada en la Región Puno. [tesis posgrado, Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú].
- Nina, A. (2015). Alcances jurídico sociales del derecho a un ambiente saludable, equilibrado y adecuado como derecho fundamental en la constitución nacional y comparada en la región Puno. [tesis pregrado, Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú].
- ONU. (1948). Declaración universal de derechos humanos. <https://www.un.org/es/about-us/universal-declaration-of-human-rights>
- ONU. (1992). Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. <https://www.un.org/spanish/esa/sustdev/documents/declaracionrio.htm>
- OEFA. (2021). Reglamento del Procedimiento Administrativo Sancionador del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental" y otras normas. <http://www.oefa.gob.pe/wp-content/uploads/2017/07/RES-021-2017-OEFA-CD-REGLAMENTO.pdf>
- Parrado, O., Castro, B., & Sónora, H. (2020). Creencias de los estudiantes y docentes de institutos politécnicos agropecuarios acerca del medio ambiente. *Transformación*, 16(2): 329-349.
- Pastor, J. (2005). Efectos de la contaminación acústica sobre la capacidad auditiva de los pobladores de la ciudad de Trujillo-Perú. [Tesis posgrado, Universidad Nacional de Trujillo. Perú].
- Pinto, J. (2019). Los retos del cambio climático: Un estudio sobre las respuestas legales del Perú. 1era. Edición. Fondo Editorial de la Universidad de Lima. Perú.
- Quispe, J., Roque, C., Rivera, G., Rivera, F., & Romaní, A. (2021). Impacto de la contaminación sonora en la salud de la población de la ciudad de Juliaca, Perú. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(1): 311-337.
- Rivera, C. (2012). Aportaciones a los sistemas de discriminación de Fuentes sonoras en la medida de ruido en aeropuertos. [Tesis posgrado. Universidad Politécnica de Madrid].
- Rodríguez, M. (2007). Surgimiento y evolución de la temática ambiental como interés público. XXIV Congreso Nacional Uniandino. <http://www.manuelrodriguezbecerra.com/bajar/surgimiento.pdf>
- Sanuy, C. (2008). Impacto ambiental del transporte aéreo y de las infraestructuras aeroportuarias. *Ingeniería y territorio* (83): 26-33.
- Silva, J., & Gener, O. (2020). El consejo de seguridad de las naciones unidas ¿un órgano democrático? *Revista Universidad y Sociedad*, 12(2): 241-250.
- SPDA. (2019). Aproximaciones y perspectivas de derecho ambiental. https://repositorio.spda.org.pe/bitstream/20.500.12823/228/1/Aproximaciones_Derecho_ambiental_2019.pdf
- Vernaza, G., Silva, A., & López, J. (2018). El derecho ambiental y la

educación para la salud de los estudiantes universitarios.
Opuntia Brava, 10(4): 1-10.

Villena, J. (2019). Daño ambiental y derecho fundamental a un ambiente equilibrado y sano en Cerro de Pasco, 2018. [Tesis posgrado, Universidad Cesar Vallejo. Lima, Perú].




NOCIONES SOBRE LA ESTRUCTURA Y EVOLUCIÓN DEL SISTEMA NERVIOSO DE ALGUNOS INVERTEBRADOS

ELEMENTARY CONCEPTS ABOUT THE STRUCTURE AND EVOLUTION OF THE NERVOUS SYSTEM OF SOME INVERTEBRATES

Sergio Pablo Urquiza^{1*}

¹Departamento de Diversidad Biológica y Ecología-Escuela de Biología - Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales-Universidad Nacional de Córdoba-Avda. Vélez Sarsfield 299-5000-Córdoba-Argentina.

Sergio Pablo Urquiza:

 <https://orcid.org/0000-0003-3426-8307>

Artículo de Revisión

Recibido: 29 de setiembre 2021
Aceptado: 24 de noviembre 2021

Resumen

Se describe la estructura general del sistema nervioso (SN) de algunos invertebrados, así como su conformación particular en algunos filos basales. Se estudia la estructura general de los mismos, comparándolas cuando es posible, y en algunos casos se aborda la anatomía e histología de órganos puntuales. Estos son de suma importancia para trazar la evolución del SN ya sea dentro de cada filo o entre los mismos. La anatomía e histología del SN de los invertebrados es muy dispar. Existen redes neurales difusas, ganglionadas o sistemas nerviosos centrales. Entre los últimos se presenta generalmente un cerebro anterior y dorsal, unido a una o más cuerdas nerviosas ventrales, macizas. Histológicamente poseen los cuerpos neuronales en la periferia de las masas nerviosas. A pesar de las diferencias entre ellos y con los vertebrados, y a través del análisis de estas estructuras y de los patrones de desarrollo se concluye que es probable que el origen de las neuronas, de la centralización y de la cefalización del SN hayan sido eventos únicos, aunque se admite que aún falta mucho para estudiar en este campo y no es posible aseverar nada en forma definitiva.

Palabras clave: Evolución morfológica, relaciones entre vertebrados e invertebrados, sistema nervioso.

Abstract

The general structure of the nervous system (SN) of complex invertebrates is described, as well as its particular conformation in some basal phyla. Their general conformation is studied, comparing them when possible, and in some cases the anatomy and histology of specific organs is addressed. These are of utmost importance to trace the evolution of the SN either within each phylum or between them. The anatomy and histology of the SN of invertebrates is very uneven among them. There are diffuse neural networks, ganglionic or central nervous systems. Among the latter there is generally a fore and dorsal brain, attached to one or more massive ventral nerve cords. Histologically, they have neuronal bodies on the periphery of nerve masses. Despite the differences between them and with vertebrates, and through the analysis of these structures and development patterns it is concluded that it is likely that the origin of neurons, centralization and cephalization of the SN have been unique events although it is admitted that there is still a long way to go to study in this field and it is not possible to affirm anything definitively.

Keywords: Invertebrates and vertebrates relationships, morphological evolution, nervous system.

Citar como:

Urquiza, S. 2021. Nociones sobre la estructura y evolución del sistema nervioso de algunos invertebrados, Perú. REBIOL, 41(2):256-276.

* Autor para correspondencia: sergio.pablo.urquiza@unc.edu.ar

DOI: <http://dx.doi.org/10.17268/rebiol.2021.41.02.11>



1. Introducción

Una notable característica de los animales es la posesión del sistema nervioso (SN), exclusivo de ellos, aunque unos pocos grupos como las esponjas (poríferos) y los placozoos no lo poseen. Este sistema se encarga de captar y procesar información relevante, así como de inducir ciertos cambios en el cuerpo para asegurar la funcionalidad del mismo. Está constituido por neuronas, que son su unidad fisiológica y morfológica, y por una multitud de células acompañantes que les sirven de apoyo nutricional y metabólico, las células neurogliales. Las neuronas y la glía en verdad forman una asociación indisoluble, y las últimas parecen hallarse en todos los animales investigados hasta la fecha, salvo quizás los cnidarios y ctenóforos (Urquiza & Carezzano, 2018). En los platelmintos, por ejemplo, hasta hace poco tiempo aún había dudas acerca de si poseían o no este tipo celular (Biserova et al., 2010). Las neuronas, aparte de conducir la información, pueden especializarse como receptores sensoriales, por lo que los órganos de los sentidos no son más que conjuntos de neuronas altamente especializadas. Como todos los sistemas pueden clasificarse en diversos tipos y subdividirse en distintas regiones constituyentes, divisiones que no siempre son contrapuestas y que pueden experimentar cambios según el concepto que se sustente, enfoque que se adopte o animal que se considere. En este artículo serán abordados someramente la estructura y relaciones evolutivas de los SN de algunos invertebrados como los cnidarios, anélidos, insectos y cefalópodos, a través de una discusión sobre las neuronas, las redes nerviosas y el cerebro, así como de la histología encontrada en los mismos. Este último es un tema que suele quedar fuera de los manuales de grados universitarios, lo que es un claro sesgo antropocéntrico, ya que por ejemplo, la inmensa mayoría de los filos son "invertebrados", y la mayoría de estos, a su vez, presentan la histología de sus masas nerviosas muy diferente a la de los vertebrados. En estos los somas forman la sustancia gris, normalmente ubicada en la profundidad, como en la médula. En los invertebrados, en tanto, los ganglios y el cerebro poseen los somas asentados en la periferia de los mismos. Asimismo, como se verá luego, las prolongaciones del estilo de los axones y dendritas, así como las sinapsis, también siguen un patrón de distribución espacial diferente. En este sentido, y para ilustrar la visión

antropocéntrica citada, vale la pena mencionar también que un tipo de músculo, el estriado oblicuo, que ni siquiera es nombrado en la clasificación tradicional de los libros de histología, es el más frecuente en dichos filos, que conforman el 95 % de los animales (Urquiza & Carezzano, 2018). Probablemente debido a que en muchos planes de estudio no existe como materia histología de los invertebrados, el alumnado suele formarse asumiendo que no existen diferencias notables entre los tejidos de estos animales y los vertebrados. Porque es frecuente que se profundice en histología humana y no se tracen paralelos con lo que ocurre en otros animales, sobre todo los mencionados. Y, teniendo en cuenta la relevancia desde el punto de vista teórico y práctico de estos animales, es una situación que en opinión del autor sería bueno corregir.

Las subdivisiones del sistema nervioso

Como a todos los sistemas de órganos, al SN se lo puede subdividir en varias clases. Tradicionalmente se reconocen dos, SN difusos (SND) y SN centralizados (SNC). En el primer grupo se hallan animales con sus neuronas dispersas en el cuerpo conformando redes y sin formar grupos discretos, y en el segundo se encuentran los que sus neuronas se disponen en acúmulos discretos y formando masas como ganglios o cerebros. Animales con SND serían *Xenoturbella*, los Cnidarios y los Ctenophoros. Y, con SNC serían los anélidos, artrópodos, cefalópodos y vertebrados, entre otros. Es así que en una visión clásica se adscribió al tipo de redes difusas a los SN de los cnidarios (hidras de agua dulce, corales y medusas), sin hacer mucha distinción entre redes difusas o ganglionadas, y al tipo de los SNC, a los SN de casi todos los demás animales, los bilaterales. Empero, diversos autores no aceptan que los cnidarios presenten redes difusas, sino, en todo caso redes ganglionadas, o incluso un equivalente a un sistema nervioso central (SNC), dado que sus neuronas forman claros agregados que conforman incluso diferentes subredes (Koizumi et al., 2015; Satterlie, 2011).

Por esto, en opinión del autor quizás convendría dividir a los SN en tres clases. Las mismas serían: 1- redes difusas, que serían aquellas que presentan sus neuronas dispersas, solitarias y aisladas, formando redes dispersas, y sin conformar grupos; 2- redes ganglionadas, en las que las neuronas también forman redes nerviosas, pero no de neuronas aisladas sino de ganglios, conjuntos discretos de

neuronas; y 3- sistemas nerviosos centralizados, con un cerebro o su equivalente y una o más cuerdas nerviosas, y donde estos órganos no se presentan como redes. La primera distinción se refiere a que las redes nerviosas pueden poseer sus neuronas separadas unas de otras y distribuidas en el cuerpo de forma homogénea, sin formar grupos definidos, los que son llamados ganglios. Este sistema de neuronas dispersas es sumamente difícil de hallar en algún animal actual en concreto, salvo quizás en *Xenoturbella*. La segunda clase es algo más frecuente y ocurre cuando las neuronas se hallan agrupadas en ganglios, esto es, dichas células forman conjuntos discretos y separados de otros. El tercer tipo es el atribuido al conjunto de los bilaterales y no precisa mayor detalle. Se hallan muy bien diferenciados en animales como los anélidos, artrópodos, los moluscos y los vertebrados, alcanzando en algunos de los dos últimos taxones un gran desarrollo, lo que les permite ejecutar conductas sumamente elaboradas, como se puede observar en los pulpos, en las aves y en los mamíferos. En todos los casos, el SN siempre consta del SNC y del sistema nervioso periférico (SNP).

En este contexto será útil definir una serie de términos evolutivos. Grupo, taxón o estado basal o ancestral hace referencia a los animales que se encuentran en la base de un árbol evolutivo particular, así como a los órganos presentes en ellos, que se asume que representan, hasta cierto punto, la situación inicial. En cambio, divergentes se aplica a los animales u órganos que se suponen se originaron de los basales y a las estructuras que de aquellos derivan. Si bien a menudo estos conceptos se asocian a los términos simples y complejos, o primitivos y evolucionados (sobre todo en la literatura más antigua) no es lo mejor. Porque muchas estructuras se simplifican en forma secundaria como consecuencia de las imposiciones ambientales, así como, en forma concomitante, diversos organismos pierden sus órganos. El mejor ejemplo es el de los parásitos, que derivan de animales de vida libre, que podrían haber tenido extremidades, ojos y sistema digestivo muy desarrollados, pero que los perdieron. En pocas palabras, no es lo mismo decir simple que simplificado. Finalmente es bueno aclarar el término filo, que se refiere a los grupos (llamados taxones o clados) de animales que antes se clasificaban por debajo de la

categoría de reino animal, como el filo moluscos o artrópodos. Los vertebrados, por ejemplo, pertenecen al filo de los cordados. El término "invertebrados" no tiene existencia real en la taxonomía, y es tan sólo una referencia útil para resumir los nombres de unos 30 filos, donde no se ubica al subfilo de los humanos, los vertebrados. Más allá de un claro sesgo antropocéntrico, existen algunas notables diferencias estructurales entre los "invertebrados" y los vertebrados. Al menos en sus SN y en buena parte de su histología (La Douceur, 2021; Urquiza & Carezzano 2018, 2019).

Para ilustrar la división del SN en SNC y SNP se tomará como punto de referencia a los vertebrados, más familiares, si bien este es un artículo sobre invertebrados. El SNC es la parte contenida en el cráneo y la columna vertebral, conocidas como encéfalo y médula, respectivamente. Y el SNP es el conjunto de nervios que emergen de las anteriores. En las dos divisiones se encuentran al sistema nervioso somático (SNS) y al autónomo (SNA), encargándose el primero de las acciones voluntarias y el segundo de las vegetativas, como el funcionamiento de las vísceras (Gabela, 2001) las que son aquellos órganos contenidos en las cavidades corporales. El SNA se clasifica a su vez en las porciones simpática (SNASi), parasimpática (SNAPa) y sistema nervioso entérico (SNAEn) (Butler & Hodos, 2005). Estas regiones, u otras más o menos equivalentes, también existen en los filos invertebrados, denominadas a veces como región autonómica, entérica o estomatogástrica (Hartenstein, 2017), aunque no siempre están claramente identificadas o definidas. Algo similar ocurre con el sistema endócrino, estrechamente relacionado al SN, y que, salvo en insectos y otras excepciones, en numerosos filos invertebrados no forma glándulas diferenciadas. De hecho, las glándulas pluricelulares no son muy frecuentes salvo en los vertebrados (Urquiza & Carezzano, 2018). En general, el SNC se halla formado principalmente por interneuronas, mientras el periférico por prolongaciones de motoneuronas o de neuronas sensoriales. Los SNC de los anélidos, moluscos y artrópodos, siempre poseerán un cerebro (llamado muchas veces ganglio) y una o más cuerdas nerviosas ventrales. Desde estas masas nerviosas emergen los nervios que constituyen el SNP y que inervan la totalidad del animal.

Tipos morfológicos de sistema nervioso

Desde el punto de vista histológico el SN puede clasificarse en tres tipos: basiepidérmico, subepidérmico, e invaginado. El primero también es denominado intraepidérmico o basiepitelial y se supone que es más antiguo y corresponde a aquellos SN cuyas neuronas se asientan y discurren entre las células epiteliales del tegumento, por encima de la membrana basal que separa a dicho tejido del conectivo subyacente. El tipo subepidérmico es aquél en el que el tejido nervioso se ubica por debajo de la membrana basal epitelial, y por tanto se encuentra inmerso en el tejido conectivo. Es el encontrado en la mayoría de los filos invertebrados. Y el tercero, exclusivo de los vertebrados, se caracteriza por formarse mediante el hundimiento del tejido nervioso, que forma un tubo, el tubo neural (Giribet & Edgecombe, 2020; Hejnal & Rentzsch, 2015).

Desde un punto de vista anatómico, los SN podrían clasificarse al menos en 5 clases morfológicas, lo que no implica una propuesta de hipótesis filogenética. Las mismas serán explicadas luego y son, en orden creciente de complejidad estructural: 1- las redes nerviosas basiepidérmicas de hemicordados, xenoturbélidos y acoelos; 2- la cuerda ventral ganglionar de platelmintos, artrópodos y anélidos; 3- el tetra neuralia de moluscos; 4- el anillo nervioso de equinodermos; 5- el tubo dorsal y hueco de los cordados.

Como podrá inferirse de lo expuesto hasta ahora, existen al menos tres eventos cruciales en la evolución del SN: 1- la aparición de las neuronas; 2- su reunión en conjuntos formando SN basiepidérmicos, probablemente simples y 3- la formación de SN centralizados y cefalizados. Los tres, o quizás algunos solamente, pueden haberse dado en forma independiente en dos o más filos, o como fenómenos únicos, lo que implicaría, en este último caso, la homología entre todos los SN. Esto es, todos derivarían del mismo SN originado en su último antepasado común. Este es un punto de activa discusión actual, ya que numerosos análisis genómicos o de desarrollo del SN apoyan, al menos en parte, la hipótesis de un origen común, aunque posiciones diferentes pueden verse en Moroz (2021) para el origen independiente de las neuronas, o en Martín-Durán et al. (2018), para la centralización del SN, por ejemplo. De todas formas, siempre es posible que al menos en algunos casos, ciertas coincidencias estructurales, moleculares o funcionales se

deban a la acción de la homología profunda. Este fenómeno da origen a varias innovaciones evolutivas y se basa en la herencia compartida de redes génicas regulatorias, no en genes específicos para la generación de estructuras particulares (Shubin et al., 2009). Las innovaciones o novedades evolutivas, a menudo utilizadas como sinónimos, se refieren a la aparición en un taxón particular de una estructura inexistente en sus ancestros inmediatos. Sin embargo, debería diferenciarse entre novedad evolutiva, que es una estructura nueva, aunque podría ser construida sobre mecanismos moleculares ancestrales, e innovación evolutiva, que es una estructura modificada de una que ya existía en los ancestros inmediatos (Almudí & Pascual-Anaya, 2019).

A pesar que se ha avanzado mucho en este campo en estos años, sobretudo como consecuencia de estudios genómicos, los que han echado alguna luz sobre los eventos iniciales de la evolución de los animales y de sus SN (León, 2019), muchas preguntas básicas, del estilo de como fue el primer SN o cuál fue la principal innovación evolutiva implicada en su historia inicial, aún quedan sin respuesta. De todas maneras, es necesario reconocer que numerosas capacidades como cierto tipo de memoria, o la discriminación entre lo dañino o no, ya existían antes de su origen (Arendt, 2021), como puede inferirse de las conductas vistas en protistas o incluso, bacterias. Esto es, antes del origen de las neuronas.

La esencia del sistema nervioso: las neuronas

Una neurona es una de varios tipos celulares. Y aunque pudiera parecer algo simple de definir, el concepto de "tipo celular" no es fácil de demarcar y establecer (Slater, 2013), por lo que también lo es el de neurona, por lo se apelará a un concepto intuitivo del lector. Las neuronas quizás sean el tipo celular más polimórfico, y aunque a nivel molecular son difíciles de definir, la característica unificadora a todas estas células es que presentan un tipo de unión celular específica, la sinapsis, que les permite pasar información a otras equivalentes, o incluso a otros tipos celulares. Sin embargo, varias moléculas presentes en la sinapsis también son encontradas en animales como las esponjas, o incluso en protistas, que en ningún caso presentan un SN. Más aún, ciertas características que hacen a la centralidad de la neurona, como los canales activados por voltaje, también existen en las bacterias. Asimismo, también se han

detectado potenciales de acción en ciertos protistas. Entre estos, alguno de los más estudiados e interesantes para esta discusión son los coanoflagelados, grupo ancestral a los metazoos. En dichos organismos se han hallado genes de canales operados por voltaje y diversas moléculas como algunas interviniendo en la exocitosis o proteínas constituyentes de las vesículas sinápticas o que actúan en las vías de señalización celular (Burkhardt & Sprecher 2017). Es así, y en la misma dirección de este análisis, que se han hallado una gran cantidad de moléculas y proteínas de gran importancia para la sinapsis en otros protistas, placozoos, poríferos (de los cuales ninguno posee neuronas) y ctenóforos. Vale aclarar que de estos últimos animales aún se discuten dos puntos muy importantes y relacionados entre sí: su estatus filogenético (Giribet & Edgecombe 2020), y si sus neuronas son o no homólogas con las de los demás animales, como fuera ya mencionado (Moroz, 2008). Sin embargo, en estos organismos, así como en los eumetazoos con SN, estas moléculas pueden tener otros roles, aunque quizás vinculados, en los tejidos no neurales. Por ejemplo, los placozoos poseen células glandulares que expresan ciertas proteínas sinápticas, al igual que las células globulares del mesohilo de las esponjas. Un probable escenario para el surgimiento de esta situación sería que el ancestro a estos animales y a los eumetazoos presentaba una célula secretoria o sensorial que luego derivó en las neuronas en estos últimos (Burkhardt & Sprecher, 2017). Sin embargo, hay otras explicaciones posibles. En este sentido, es necesario destacar que el epitelio, con sus uniones celulares concomitantes, habría sido el primer tejido en aparecer (Urquiza & Carezzano, 2013), a la vez que es muy probable que las neuronas hubieran derivado de un epitelio de origen ectodérmico, tal como ocurre en todos los animales, salvo en algunos cnidarios, en los que también se originan del epitelio endodérmico. Es necesario mencionar que en estos animales también existen células del tipo de los epitelios musculares, que poseen capacidades sensoriales a la vez que efectoras porque son contráctiles (Kristan, 2016). Debido a estas características tan particulares, se ha propuesto la hipótesis, aunque no se ha presentado sustento experimental en su apoyo, con que estas podrían haberse especializado como neuronas (Arendt, 2008; Brunet & Arendt, 2016). Sin embargo, si bien es probable

que estas células se hayan originado una sola vez, no puede descartarse su posible origen convergente.

De todas maneras, los datos moleculares por sí solos, al menos hasta ahora, no bastan para decidir qué tipo celular fue el ancestral a las neuronas y donde apareció, ya que la distribución de numerosas moléculas esenciales para su función sigue un patrón poco claro. Además, el registro fósil no ha dejado marcas de dicha evolución molecular, ni de las primeras prolongaciones que podrían calificar como neuritas. Más allá de esto, un escenario posible es que, al aumentar el tamaño de los animales, la comunicación del epitelio por sí mismo (como ocurre en *Trichoplax*, quizás el animal actual más simple) era ineficiente para cubrir las demandas de integración, por lo que algunas de estas se habrían especializado en forma de una red difusa de conducción eléctrica, probablemente con funciones mecanosensitivas en sus orígenes. Luego habrían derivado las sinapsis químicas, probablemente en la forma de una unión neuromuscular, y más específicamente invadiando miocitos lisos, que serían anteriores a los estriados (Kristan, 2016). De todas maneras, según algunos autores los miocitos, tanto lisos como estriados, habrían estado presentes en el *Urbilateria*, el ancestro de los bilaterales (Brunet et al., 2016), y habría sido la primera célula mesodérmica en aparecer (Rieger & Ladurner, 2003), lo que de alguna forma avala la idea de su primitiva conexión con las protoneuronas ya que es difícil imaginar un animal con músculos más o menos bien desarrollados y diversificados y sin un SN algo avanzado. Vale aclarar que los Cnidarios y Ctenophoros también presentan músculos, o al menos células epitelio musculares, y que habrían surgido antes de los bilaterados. Sin embargo, no está claro si tales células son homólogas a los miocitos de estos últimos, toda vez que aquellos son diblásticos, mientras los bilaterales triploblásticos, en los que el músculo deriva del mesodermo (Cole et al., 2020).

El aumento de tamaño también implicó, necesariamente, el paso del movimiento ciliar al muscular. Porque el primero es efectivo sólo en animales pequeños, por lo que al aumentar el tamaño de los mismos habría sido necesaria la aparición del músculo, y con este la de las neuronas. Las diversas innovaciones morfológicas relacionadas podrían haber surgido en forma un tanto repentina en esta transición evolutiva, la que fue llamada ASMO (Animal

Sensorimotor Organization) por Keijzer & Arnellos (2017) y Arnellos & Keijzer (2019). Empero, otros autores proponen que entre 550 a 540 millones de años atrás, habrían aparecido neuronas en forma independiente en tres linajes basales, ctenóforos, cnidarios y bilaterales, a partir de células secretoras (Moroz & Romanova, 2021). Moroz (2009) también postula que la centralización se produjo en forma independiente en varias ocasiones diferentes, quizás entre cinco a siete veces, en los nemátodos, artrópodos, anélidos, moluscos y cordados.

Quizás el aumento de tamaño, el paso a la locomoción ciliar y la coordinación neuronal hayan sentado las bases para la explosión Cámbrica subsecuente al origen de los primeros animales.

Una unión especial: La sinapsis

Las sinapsis son uniones celulares implicadas particularmente en la comunicación intercelular. Son básicamente bastante parecidas en los diferentes animales (Luo, 2016) aunque existen varios ejemplos particulares de sinapsis muy especializadas, como las fibras musgosas del cerebelo, entre otras (Lüscher & Petersen, 2013). Ahora bien, ¿cómo se originaron? Como fuera comentado, de los dos tipos de sinapsis, las eléctricas y las químicas, las primeras serían las más antiguas.

Sin embargo, vale aclarar que la comunicación intercelular puede prescindir de las sinapsis. En *Trichoplax*, por ejemplo, las células fibrosas ejecutan multitud de tareas, entre otras, probablemente conducción de la información, a pesar que no poseen dichas uniones (Moroz & Romanova, 2021). Así, está claro de lo expuesto que antes que las neuronas hicieran su aparición, se originaron los potenciales de membrana, y que probablemente el mecanismo de comunicación ancestral fue de tipo electrotónico, tal como ocurre mayoritariamente en los cnidarios modernos, aunque también existe esta comunicación entre las neuronas de los vertebrados. Con el tiempo, sin embargo, las sinapsis químicas, surgidas bastante atrás en el tiempo, fueron desplazando a las eléctricas. Con todo, los neurotransmisores, actores imprescindibles en las sinapsis químicas, no sólo existen en las neuronas sino también en las células neuroendocrinas. Pero como en estos tejidos las cantidades liberadas de mensajeros son mucho mayores, las neuronas suponen un adelanto, ya que son más eficientes. Por lo mismo, los

sistemas neuroendocrinos fueron perdiendo importancia, ya que las neuronas conducen la información más rápidamente, y muchas de sus funciones primigenias quedaron a cargo del sistema endócrino (Pannese, 2015). Probablemente los tejidos neuroendócrinos hayan surgido incluso antes de la evolución de los bilaterales (Shigeno et al., 2018), lo que parece bastante lógico, si se piensa en tales sistemas como conjuntos celulares que secretan mensajeros químicos. Así, la aparición de las sinapsis tendría que haber otorgado algunas ventajas, como un ahorro de recursos, al localizar la liberación de transmisores a puntos circunscritos; evitar su consumo como nutrientes, ya que muchos son aminoácidos y, finalmente, tendrían que haber permitido una mayor velocidad de conducción, así como una acción más precisa y localizada. Estructuralmente, la evolución de la sinapsis química se basaría en tres fenómenos: La modularidad de las moléculas implicadas; la reorganización de diversas moléculas intracelulares y extracelulares de células secretoras y por último, la selección diferencial de neurotransmisores para pasar de una secreción y comunicación parácrina a una sináptica (Moroz & Romanova, 2021).

¿Ganglio o cerebro?

Antes de avanzar con una discusión más detallada, es necesario aclarar ciertos términos. El concepto de cerebro que normalmente prevalece entre muchas personas con cierta formación científica, incluso biólogos, es que el mismo es el centro de información de los vertebrados y que los invertebrados en verdad tienen un "ganglio". En opinión del autor esta es una visión que debería cambiarse, y en lo que sigue se repararán brevemente estas ideas. Aparentemente fue entre los antiguos egipcios, en una serie de papiros, que habrían aparecido las primeras referencias escritas al cerebro, concepto que luego en Aristóteles se circunscribiría particularmente a los vertebrados. Pero con el tiempo comenzó a adoptarse una definición más funcional, y se definió al cerebro como el centro de control nervioso de los animales cefalizados. Lo que implicaba que se considerasen sólo estos, o el centro en el que tenían lugar eventos como la memoria o la conciencia, esta última aún más esquivada de definir que el cerebro. De esta manera, al menos en los estadios iniciales de la neurociencia, este órgano fue analizado según tres

visiones: estructural, "vertebrado-céntrica" y una que quizás podría denominarse "evolutiva", ya que intentaba incluir una perspectiva filogenética, pero siempre dentro de los vertebrados (Pagán, 2019). De todas maneras, hay que reconocer que no siempre es fácil definir las estructuras, como podrá verse más adelante con los cordones nerviosos de los pulpos, considerados a veces parte del SNC y a veces del SNP (Shigeno et al., 2018).

Ampliando la concepción de lo que es un cerebro, incluso se ha llegado a hablar de una especie de SN en plantas, y hasta de cerebros, en el sentido de un sistema integrador de información, en bacterias o mohos sociales (Pagán, 2019). De esta forma, aunque un cerebro, más que una estructura física quizás pueda ser conceptualizado como un estado de interacción informativa entre entidades con propiedades emergentes que podría ser caracterizado como conducta, en el presente trabajo se hará referencia al mismo bajo un punto de vista exclusivamente anatómico y se ceñirá a los animales. Un punto importante es que los cerebros, al igual que todas las estructuras, debido a constricciones de diseño y ontogenéticas, así como funcionales, no puede poseer cualquier estructura posible, lo que restringe las posibilidades y podría llevar a convergencias evolutivas (Shigeno et al., 2018), lo que puede obstaculizar la discusión sobre el origen y evolución de los SNC. Por ejemplo, según Satterlie (2017), los Cnidarios presentan una maquinaria celular que permitiría la centralización del SN, que podría haberse originado en el ancestro común con los bilaterales, sin embargo, debido a que poseen simetría radial, los mismos no habrían podido desarrollar una marcada centralización y cefalización.

Así es que el cerebro, definido como una masa de neuronas concentradas en la región cefálica, es, básicamente, un ganglio que ha experimentado un notable desarrollo, y que además puede resultar de la fusión de varios de estos, y, a pesar de que aún es materia de discusión, probablemente se haya originado antes de la divergencia entre protostomados y deuterostomados. Quizás se pueda fijar su aparición cerca de la separación de radiales y bilaterales, aún más anterior (Riebli & Reichert, 2016), entendiendo por radiales a los Cnidarios, y por bilaterales a todos los demás animales salvo las esponjas y plazoos. De todas maneras, se ha llegado a sugerir el incluir entre los bilaterales a los Cnidarios. Otro grupo problemático es el de los Ctenophoros, del cual aún no hay

certeza sobre su posición filogenética (Giribet & Edgecombe, 2020).

En este contexto es bueno mencionar que una de las razones esgrimidas a favor del origen independiente de los SNC complejos y cerebros es que los mismos se hallan en los taxones terminales de animales como anélidos, artrópodos o cordados, pero no en sus representantes más basales, o sea, en los taxones que surgieron primero (Shigeno et al., 2018). Por ejemplo, entre los anélidos, en los grupos que primero habrían aparecido y serían hermanos a los demás, como los owénidos, se encuentra un anillo nervioso intraepitelial a modo de cerebro, con apenas un tipo neuronal y sin formaciones ganglionares, mientras en otros grupos, el cerebro se agranda por el desarrollo de ganglios y la aparición de otros tipos neuronales (Beckers et al., 2019), como en los errantes, que poseen cerebros con cuerpos pedunculados (Heuer et al., 2010). En cuanto a los artrópodos, se considera que su estado ancestral sería el de un cerebro ganglionado, el que también existiría en los panartrópodos (artrópodos, onicóforos y tardígrados), el que en los artrópodos en sentido estricto se compone de tres neurómeros (que se comentarán más adelante) pero que en los tardígrados solo comprende uno de ellos, posiblemente el protocerebro mientras en los onicóforos existe también el deutocerebro (Giribet & Edgecombe, 2020). La explicación alternativa sería que, en cada uno de estos linajes, los grupos basales perdieron en forma secundaria dichas estructuras (Shigeno et al., 2018). Sin embargo, esta situación también podría explicarse por la acción de la homología profunda.

Más allá de su origen y evolución, posiblemente sea más cómodo y parsimonioso llamar cerebro no sólo al órgano nervioso cefálico típico de los vertebrados, sino también a los grupos de neuronas integradoras, dorsales y anteriores de los invertebrados. Estas neuronas poseen funciones integradoras, son el centro de "decisión" del organismo y el punto de llegada de todas o de la mayoría de las aferencias sensoriales. Al igual que ocurre con el cerebro de los vertebrados. Por otro lado, probablemente sería mejor reservar el término "ganglio" para los grupos neuronales que funcionan como estaciones periféricas de relevo e integración local. Esto aplicaría tanto para los ganglios periféricos de los mamíferos, como para los ganglios de las cuerdas nerviosas de los invertebrados. Una

discusión aparte merece la situación de los acúmulos neuronales de los cnidarios.

Generalidades del sistema nervioso de los invertebrados

Desde un punto de vista estructural, anatómicamente los sistemas nerviosos de los invertebrados con un SNC bien definido presentan una masa cefálica anterior, el cerebro, del que emergen una o más cuerdas nerviosas que corren a lo largo del animal, siempre ubicadas ventralmente. Estas cuerdas siempre son macizas y generalmente consisten de una serie de ganglios conectados por fibras nerviosas longitudinales. En muchos taxones estas cuerdas pueden ser dos o más, y en estos casos, los ganglios de ambos flancos se comunican con su par opuesto mediante fibras transversales, las comisuras.

Desde el punto de vista histológico el SN de los invertebrados presenta varias características comunes entre sí, y diferentes a los vertebrados. Una es que casi no presentan fibras mielinizadas, y en caso de existir, no parecen ser homólogas con las de los vertebrados. Por esta razón, si llegaran a precisar un sistema de conducción veloz, disponen de las conocidas fibras gigantes, como las halladas en los calamares o lombrices, porque a mayor calibre del axón, mayor será la velocidad de conducción. Otra es, como fuera adelantado, que sus masas nerviosas, ya sean el cerebro o los ganglios ventrales, poseen sus somas dispuestos en forma periférica, mientras las neuritas (ya sean axones o dendritas) se dirigen hacia el centro del órgano, conformando una masa enredada de fibras, el neurópilo. En los vertebrados, en general, los somas se disponen más profundamente en el órgano, desde donde emergen las neuritas, bien diferenciadas entre sí. También existen diferencias en la disposición de las sinapsis, ya que mientras en los invertebrados las mismas se localizan siempre en las neuritas, y por lo tanto en el neurópilo, en los vertebrados lo hacen también en el soma. Por esta razón, en los invertebrados las inferencias y eferencias informativas no se hallan separadas espacialmente (Meinertzhagen, 2010). Esto ocurre porque en estos animales las neuronas son, al menos en gran parte, unipolares, y las neuritas, o sea las prolongaciones neuronales, nacen como un único tronco que a poco se divide en una rama aferente y otra eferente, aunque ambos ramos poseen tanto sinapsis receptoras como emisoras de neurotransmisores, por lo que las diferencias entre axones

y dendritas no siempre es tan clara. Además, en los cnidarios la misma sinapsis presenta vesículas capaces de liberar neurotransmisores a ambos lados de la hendidura sináptica, por lo que se dice que son bidireccionales (Garm et al., 2007; Matheson, 2002). Es necesario, empero, mencionar que, en los platelmintos, así como en otros grupos como nematodos o rotíferos, los músculos envían prolongaciones hacia las neuronas, estableciendo así las sinapsis. Como puede verse, es una situación del todo diferente a la observada en los vertebrados, artrópodos o anélidos, por ejemplo (Hartenstein, 2017). Al menos en los nematodos, sus miocitos consisten de tres porciones, el sarcómero contráctil, una región no contráctil donde se asienta el núcleo, y un brazo sináptico, que se dirige al cordón nervioso donde se establece la unión neuromuscular (Decraemer et al., 2013).

De la exposición anterior puede inferirse que el SN se habría desarrollado por primera vez en los cnidarios y/o ctenóforos. Los primeros son las medusas y las hidras, mientras los segundos abarcan a las nueces de mar, menos familiares. Ambos grupos son exclusivamente acuáticos, y si bien los primeros presentan formas marinas y dulceacuícolas, los segundos sólo son hallados en el mar. No está muy claro cuál fue el primer grupo en aparecer, y algunos datos sugieren que los ctenóforos habrían derivado incluso antes que las esponjas, lo que significaría que estas tuvieron un SN y lo perdieron, o que en los ctenóforos apareció un SN en forma independiente de los demás animales (Hejnol & Rentzsch, 2015). Este punto es de crucial importancia, porque estos animales han sido considerados bastante avanzados y de aparición posterior a las esponjas. Los ctenóforos son animales excepcionales, porque a pesar de ser bastante grandes (hasta dos metros) se pueden mover tanto por corrientes ciliares como por músculos. Su plan corporal es claramente más complejo que el de los poríferos, incluyendo su SN. No obstante, esto, los ctenóforos poseen pocos genes para dirigir la formación de su SN, que incluye órganos de los sentidos, mientras los poríferos y placozoos, ambos carentes de un SN, poseen mayor número de genes relacionados al SN, aunque, es bueno insistir, no lo presentan. De ahí lo crucial de esta discusión (Giribet & Edgecombe, 2020). Es bueno recordar que las esponjas pueden reaccionar al ambiente, cerrando o abriendo sus poros en forma coordinada ante cambios ambientales agresivos (Matheson, 2002) y que

incluso sus larvas son móviles hasta que se asientan para originar al adulto, además de que pueden percibir la luz, entre otros estímulos (Leys et al., 2019).

Tipos De Sistemas Nerviosos

Cnidarios

Los cnidarios poseen neuronas de varias formas, unipolares, bipolares o multipolares que se comunican mediante sinapsis químicas o eléctricas, aunque su SN es difícil de observar con las técnicas usuales de microscopía óptica (Berzins et al., 2021). Las formas más complejas poseen mayormente neuronas bipolares, las que suelen formar redes nerviosas de conducción rápida. También puede existir un sistema de conducción lenta, formado por neuronas multipolares. Quizás la característica más exclusiva de este SN sea que sus sinapsis son bidireccionales, esto es, conducen el impulso en ambos sentidos, muy diferente de las sinapsis unidireccionales del resto de los animales, con la clásica imagen de la sinapsis conduciendo el mensaje desde el axón a la dendrita (Genzano et al., 2014). Sin embargo, también poseen sinapsis típicas, unidireccionales. En cualquier caso, las neuronas se disponen ya sea entre las células de la epidermis externa o la gastrodermis, al igual que las células sensoriales, lo que puede observarse en la figura 1. Las neuronas pueden establecer sinapsis entre ellas o con las células mioepiteliales, y pueden agruparse en zonas formando masas neuronales que según algunos autores habrían originado los órganos centralizados de los bilaterales (Hartenstein, 2017). El lector debe recordar que estos son animales diblásticos, y no poseerían músculos sino más bien células epitelio musculares, aunque este tópico, así como su origen es un punto de activa discusión (Seipel & Schmid, 2005; Steinmetz et al., 2012). Asimismo, si bien la clasificación en sistemas basiepiteliales, subepiteliales e invaginados es aplicado a los SNC (Hartenstein, 2017) de ser utilizado este criterio en estos animales probablemente el mismo sería un SN de tipo intraepitelial, en el que como fuera descrito antes, las neuronas se asientan por encima de la membrana basal (Hejnal & Rentzsch, 2015).

Por otro lado, los cnidarios poseen numerosos neuropéptidos que influyen en una multitud de fenómenos vitales, así como especializaciones sorprendentes como los

nematocistos (cnidocitos urticantes), que son mecanorreceptores altamente diferenciados (Takahashi, 2020). Estas células disparan sus dardos a velocidades tan altas que están entre las más elevadas de todos los fenómenos biológicos, por lo que son energéticamente dispendiosos y deben ser bien regulados, lo que se logra gracias a la detección de señales no sólo mecánicas sino también químicas, para dar la respuesta más apropiada (Weir et al., 2020).

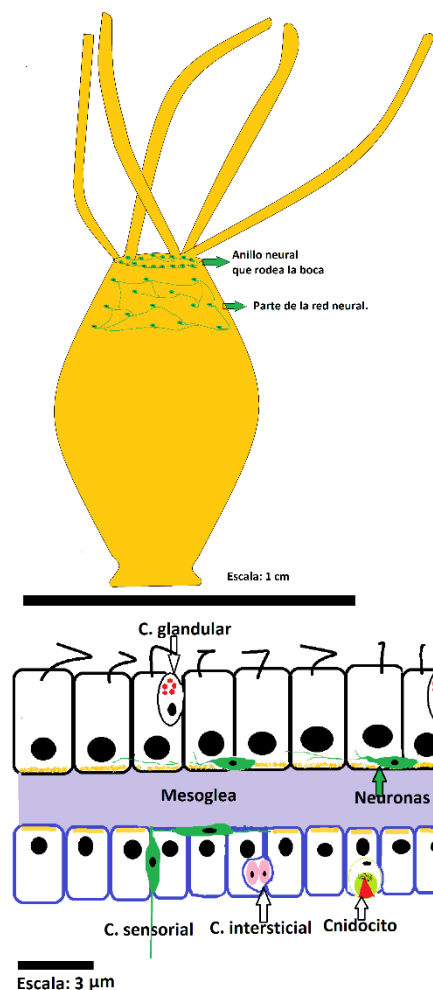


Figura 1: Se aprecia una hidra de agua dulce, con su sistema nervioso en red. En los cnidarios pueden hallarse concentraciones de neuronas, como las que rodean la boca, en la zona superior, y redes dispersas con neuronas no agregadas en ganglios, señalada en el dibujo como "red neural". En el detalle, corte de la pared corporal donde se observan las neuronas y las células sensoriales entremezcladas entre los dos epitelios que conforman el cuerpo de este animal diblástico. En el detalle, el estrato celular superior es el endodermo que recubre el sistema digestivo, mientras el inferior es el ectodermo que limita con el exterior. Ambos esquemas no están en la misma escala. Y las neuronas del primero

quizás estén algo exageradas para poderlas visualizar. Los colores no son realistas y fueron elegidos para destacar las estructuras. Ilustración: Sergio Urquiza (Inspirado en varias fuentes y observaciones *in vivo*).

Platelmintos

Estos animales engloban a las planarias marinas, de agua dulce y terrestres. Probablemente los primeros pasos hacia la centralización y cefalización fueron dados por los miembros de este grupo, cuyo SNC presenta numerosas similitudes morfológicas, ontogénicas y farmacológicas con el de los vertebrados. Por si fuera poco, pueden regenerar su sistema nervioso, incluso su cerebro en algunos casos, lo que impulsa el estudio de estos animales para poder entender y tratar varias dolencias humanas (Pagán, 2014). En ciertas especies el cerebro es muy complejo a pesar de lo cual se cree que podría ser similar al estado basal de los animales bilaterales, poseyendo hasta cinco agrupamientos ganglionares cefálicos. Es de destacar la gran cantidad de estructuras sensoriales que presentan, como ocelos, estaticostos, quimiorreceptores y mecanorreceptores (Roth, 2013) siendo uno de los animales bilaterales morfológicamente más simples, al menos en cuanto a la cantidad y desarrollo de los órganos y vísceras, salvo quizás los reproductivos.

En estos organismos existe un SNC con su cerebro anterior, del que emergen un conjunto de cuerdas nerviosas ventrales, pareadas y conectadas entre sí. Este agregado semeja un ortógono, denominación con la que se conoce al SN de los platelmintos. Las cuerdas nerviosas, que frecuentemente son más de dos (Schmidt-Rhaesa, 2007), pueden ser dorsales, laterales y ventrales, si bien las ventrales suelen ser las más conspicuas (Giribet & Edgecombe, 2020). Las neuronas acostumbran a entremezclarse con los músculos, una característica inusual, mientras que en la faringe parece residir un conjunto neuronal bastante independiente del resto, algo similar a lo visto en el SNAEn (sistema nervioso autónomo entérico) de los mamíferos (Pagán, 2014).

Las neuronas cerebrales poseen un conjunto de neurotransmisores muy variado, lo que prueba la complejidad de este SN (Pagán, 2014). Este filo anteriormente incluía a los nemertodermátidos y acelos, vermes acuáticos extremadamente simples y que actualmente se los considera en la base de la evolución de

los bilaterales. Otro animal afín a estos últimos es *Xenoturbella*, el que, igual que los dos grupos nombrados anteriormente, posee un sistema nervioso basiepitelial, incluyendo un cerebro. En algunos de estos, como ciertos acelomorfos, no existe una típica membrana basal separando al epitelio del músculo subyacente (Giribet & Edgedombe, 2020). Los tres taxones suelen incluirse en el filo Xenacoelomorpha, presentan un sistema nervioso muy variable y aunque sus relaciones filogenéticas son inestables y muy discutidas suelen ubicarse en la base de la evolución de los bilaterales (Martínez & Hartenstein, 2017) por lo que son de sumo interés en el estudio de la evolución inicial del SN.

Anélidos

Los anélidos son animales con una gran disparidad morfológica, aunque a simple vista pueden parecer muy similares. Los hay marinos (la mayoría), y dulceacuícolas y terrestres (Brusca et al., 2018). En la mayor parte del filo los SN son subepidérmicos, aunque la condición basiepidérmica, que sería el bauplan basal (Purschke, 2016) es hallada en algunos grupos como en los magelónidos y los owénidos (Beckers et al., 2019). El SNC consta de un cerebro anterior, un anillo subesofágico y la cuerda ventral de ganglios pareados vinculados por conectores transversales y por ramos longitudinales entre los ganglios anteriores y posteriores (Molnár et al., 2021). Este modelo, clásicamente conocido como "collar de perlas" y atribuido a este y otros filos en los manuales no parece ser exactamente el más representativo y hace unos años ha comenzado a ser revisado, ya que sólo es hallado en los hirudíneos (sanguijuelas), un grupo muy derivado, y es muy difícil utilizarlo como modelo del cual se habrían originado los demás SNC de los otros miembros del filo (Purschke, 2016). El SN, en principio en la mayoría de los animales, es un sistema de órganos bastante conservado y ha sido analizado, al menos en el antiguo taxón de los "poliquetos" (vermes marinos) para esclarecer ciertas relaciones filogenéticas a nivel de familias. Justamente por ser dicho taxón el que contendría a los "oligoquetos" (lombrices de tierra) es lógico esperar que presentara los casos más basales. Es así que entre ellos se presentan los citados ejemplos de SN basiepidérmicos, que sería incluso una plesiomorfía de los bilaterados. Vale aclarar que las cuerdas nerviosas, si bien pueden ser ganglionadas, esto es, con los

somas reunidos en grupos discretos, también pueden ser meduladas, que sería la condición ancestral y ocurre cuando los somas se disponen en forma continua a lo largo del cordón nervioso (Orrhage & Müller, 2005). Los conocidos axones gigantes, envueltos en las reacciones de huida, son hallados en buena parte del filo. El cerebro, en tanto, generalmente se halla en el prostomio, la región más anterior de la cabeza, aunque en los clitelados (lombrices de tierra, por ejemplo), puede encontrarse hasta en el tercer segmento. El cerebro de los anélidos basales no parece estar regionalizado, aunque en los Errantia, que incluye a buena parte de los que antes se conocían como poliquetos, el mismo se halla formado por tres zonas, anterior, media y posterior (Giribet & Edgecombe, 2020). De todas maneras, la regionalización del cerebro no parece reflejar una condición segmentaria, sino más bien una especialización morfofuncional y los Errantia, nuevamente, parecen exhibir una mayor organización de su neurópilo y somas neuronales. En estos últimos puede existir también un sistema estomatogástrico que inerva al sistema digestivo. El mismo se origina en diferentes puntos del cerebro o del conectivo circumesofágico, según el grupo, y se encuentra particularmente bien desarrollado en la faringe, donde cuenta con numerosos elementos sensitivos y motores. El número de nervios es, como su origen, muy variable, y generalmente son pares, pudiendo formar una comisura bucal (Purschke, 2016).

Generalmente es pasado por alto que los SN diferentes al de los vertebrados, también poseen neuroglías y capas de tejido conectivo, a veces muy desarrolladas. En estos animales el sistema nervioso se halla rodeado por tres capas protectoras: una interna epitelial, que corresponde al límite celómico; una media, conformada por miocitos; y una interna, compuesta por fibras, que puede penetrar incluso en el neurópilo (Molnár et al., 2021). El cerebro puede ser basiepidérmico o subepidérmico y en general no hay indicios de segmentación, salvo en los hirudíneos, muy derivados, y en los que no habría vestigios del equivalente al cerebro, aunque si existe un ganglio que es el resultado de la fusión de varios ganglios segmentarios. En los anélidos en general el cerebro puede presentar agrupaciones superficiales y diferenciadas de somas, o los mismos pueden disponerse periféricamente formando una capa, que casi nunca es continua, alrededor del neurópilo. Estos grupos a veces han sido llamados ganglios, término

desaconsejado porque en verdad sólo son grupos discretos de neuronas, aunque en ocasiones incluso tienen una envoltura glial diferenciada de su contorno. En muchos casos el cerebro se ha simplificado por la pérdida de estructuras sensoriales cefálicas como el órgano nuczal, como se observa en los clitelados. Asimismo, puede ser bastante simple en taxones basales, así como en los Sedentaria, donde puede verse incluso cierta constitución en forma de anillo nervioso. Al contrario, en los anfinómidos y Errantia el ganglio cerebral puede ser bastante complejo al punto de poder ser subdividido, como fuera dicho antes, en cerebro anterior, medio y posterior. Aunque no siempre es fácil decidir si es simple originalmente o simplificado secundariamente. Más allá de esto, en varios taxones, como los nereididos, los grupos neuronales discretos pueden ser bastante numerosos, con hasta 26 conjuntos, la mayoría de ellos pareados, aunque existen unos cuantos impares y únicos. Empero, aún faltan análisis estructurales más detallados para determinar la homología de estos conjuntos neuronales, uno de cuyos ejemplos más conspicuos son los cuerpos pedunculados (Purschke, 2016), aunque su distribución taxonómica no parece seguir un patrón muy claro (Giribet & Edgecombe, 2020).

Artrópodos e insectos

Los artrópodos son un taxón hiperdiverso que exhiben una clara segmentación no sólo en su cuerpo sino también en su SN, donde el cordón nervioso ventral suele ser único y ganglionado. Con todo, estos ganglios pueden fusionarse en una o unas pocas masas neuronales ventrales y torácicas, por ejemplo, en los dípteros. Los somas se asientan principalmente en la superficie ventral de los ganglios, dando origen a las neuritas primarias, que a su vez generan las dendritas y los axones conformando el neurópilo al interior ganglionar. En este, y en forma análoga a lo que ocurre en los vertebrados, existe cierta regionalización, ya que las prolongaciones sensitivas son ventrales y las motoras dorsales (situación opuesta a los vertebrados). Asimismo, las neuritas sensitivas se agrupan según la modalidad sensorial asociada a ellas (Loesel et al., 2013).

Los insectos, particularmente, pueden presentar las áreas presinápticas y postsinápticas distribuidas en distintos puntos, aunque también pueden asentarse en la misma

neurita. Existe una capa neuroglial de diferente magnitud, así como estratos de tejido conectivo, e incluso una barrera neuro hemolinfática, todo lo cual atestigua el nivel de complejidad estructural que han desarrollado. El cerebro de los insectos consiste en la reunión de varios ganglios y consta de tres porciones, el protocerebro, el deutocerebro y el tritocerebro, formados principalmente por neuronas de asociación vinculadas a los órganos de los sentidos, sean cefálicos o corporales. Sin embargo, existen unas pocas neuronas motoras destinadas a las antenas. Ubicado ventralmente y unido por ambos flancos al cerebro se halla el ganglio subesofágico, al que continúa el cordón nervioso

ventral. El protocerebro posee tres importantes centros nerviosos: los lóbulos ópticos; el complejo central y los cuerpos pedunculados, destinados al procesamiento visual y a la regulación del patrón motor. El deutocerebro se vincula a las antenas, que son los órganos de la olfacción, a quienes destinan un neurópilo especializado, el glomérulo. Finalmente se encuentra el tritocerebro, que inerva diversas zonas de la boca y al sistema estomatógástrico, implicado en la regulación del sistema digestivo (Rogers, 2013; Nation, 2016). En la página siguiente puede apreciarse en la figura 2 un esquema que ilustra a grandes rasgos el SNC de un insecto.

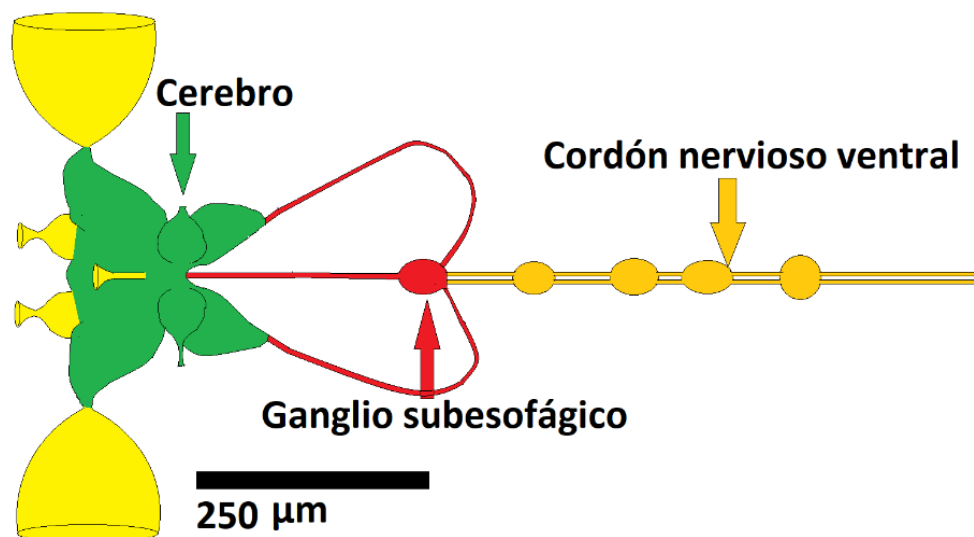


Figura. 2. Esquema general del SNC de un insecto. Puede apreciarse como grandes masas amarillas los ganglios ópticos asociados a los ojos. Hacia posterior (a la derecha del lector) se observan en color naranja la cuerda nerviosa ventral, con espesamientos periódicos que son los ganglios. Se muestran apenas tres por una cuestión de simplicidad. En rojo, y uniendo al cerebro y a la cuerda ventral, se halla el ganglio subesofágico. En *Drosófila*, una pequeña mosca, cada hemisferio mide unas 250 μm . En las figuras 2, 3 y 4 las dimensiones son similares.

A pesar de la amplia disparidad que este sistema pueda exhibir a simple vista entre los artrópodos y los vertebrados, ya en el siglo XIX se había propuesto que los SNC de ambos taxones eran equivalentes, aunque invertidos en sentido dorso ventral, o sea, que la cuerda nerviosa ventral de un insecto sería equivalente a la médula espinal de los vertebrados. Aunque desechada en su momento, últimamente esta propuesta ha recibido mucho apoyo experimental ya que ambos grupos poseen la expresión de los genes que determinan la formación del

tejido nervioso embrionario invertido uno respecto del otro, razón que explica la disposición espacial contrapuesta de sus SNC. Incluso, sorprendentemente, insectos como *Drosófila* y los mamíferos comparten una regionalización somatosensorial en sus SNC (Tsubouchi et al., 2017). Por otro lado, según algunos estudios, el desarrollo de la cuerda ventral como una cadena ganglionar se habría dado por la condensación de las neuronas en conjuntos ganglionares discretos en forma gradual en el linaje de los artrópodos, o quizás entre los ancestros de los tardígrados

y los artrópodos, ya que los onicóforos no la presentan (Martin et al., 2017). Sin embargo, no puede descartarse que el cordón nervioso haya sido primitivamente ganglionado, y se haya simplificado secundariamente en los onicóforos (Mayer, 2016). Por otro lado, el que los artrópodos poseen un cerebro muy avanzado queda evidenciado porque les permite migrar distancias considerables, desarrollar la eusocialidad, reconocer a individuos conespecíficos y recordar si sus encuentros fueron positivos o negativos, entre un largo etc. Sin embargo, hay que decir que para hacer esto el cerebro parece que no debe ser necesariamente muy grande. Así, en algunos casos ciertos circuitos neurales relativamente pequeños bastan para que el animal pueda exhibir varias conductas muy interesantes relacionadas a la alimentación o a la interacción con el ambiente, como se observa en las larvas actuales o en los colémbolos. Esto también se apoya en ciertas inferencias del registro fósil, donde pueden detectarse ciertas conductas bastante elaboradas, ya desde

la misma base evolutiva de los artrópodos, lo que podría haberse logrado con centros cerebrales superiores relativamente pequeños. En este sentido, se considera que cada uno de los clados que conforman a este filo presenta un patrón estructural del SN bastante conservado y característico de los mismos, a pesar de la limitada cantidad de elementos que los conforman. Por otro lado, y a pesar que la fosilización de estos restos es muy improbable y lo que se ha hallado es muy discutido, todo parece indicar que ya hace 518 millones de años, en el cámbrico inferior, el SNC de los artrópodos se hallaba diferenciado en un cerebro y una cuerda ventral. En la actualidad, se considera que los panartrópodos (artrópodos más onicóforos y tardígrados) poseen al menos dos neurópilos en común: el complejo central y los cuerpos pedunculados. Incluso se ha propuesto la correspondencia entre el cerebro de los cuatro clados actuales de artrópodos con diversos grupos fósiles cámbricos, como megacheira y otros taxones (Strausfeld, 2018).

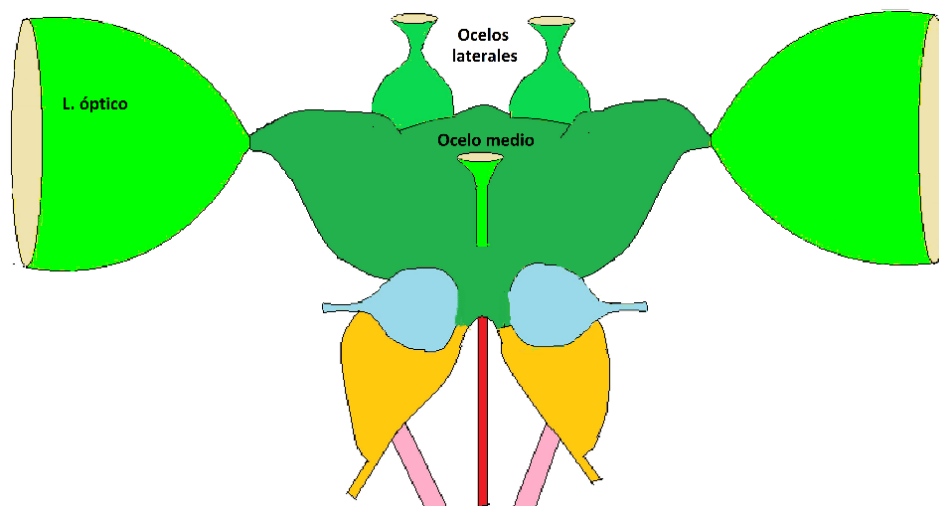


Figura. 3. Esquema del cerebro de un insecto en el que se aprecian las regiones principales. En tonos verdes el protocerebro, en celeste el deutocerebro, y en naranja el tritocerebro. Los cordones rosados y rojos son cordones nerviosos. Los lóbulos ópticos se vinculan en sus extremos externos con los ojos compuestos laterales, que se representan en un color beige. En el protocerebro se hallan los neurópilos cerebrales superiores, cuyo detalle se observan en la figura 3.

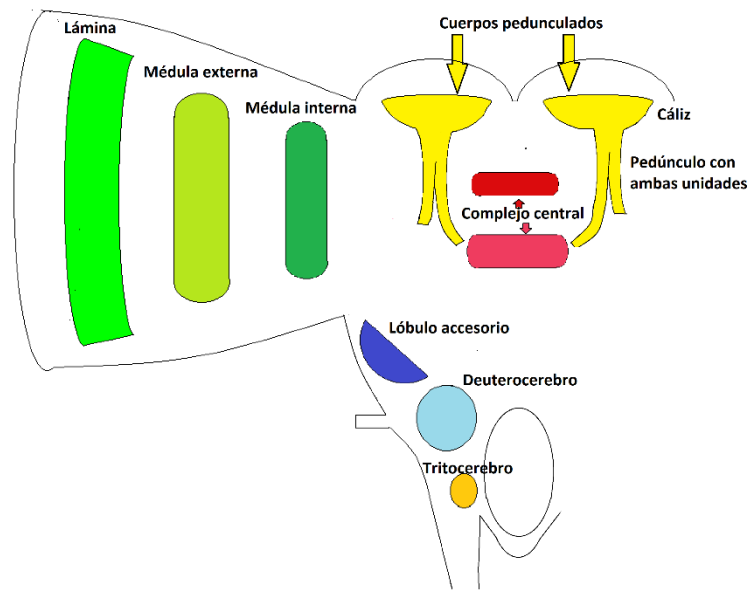


Figura. 4. Corte esquemático del cerebro de un insecto mostrando diversos neurópilos. Aproximadamente como si se hubiera seccionado la figura anterior en forma frontal. En tonos verdes, marrones, y amarillos los pertenecientes al protocerebro. Estos son, el lóbulo óptico, en tonos verdes; los cuerpos pedunculados, en amarillo, y el complejo central, en dos tonos de rojo. Se muestran los de ambos lados a fin de apreciar las relaciones topográficas. Abajo, pequeño y celeste se aprecia al deuterocerebro y en naranja el tritocerebro. El lóbulo accesorio se coloreó en azul.

El complejo central es un neurópilo ubicado en la línea media que consta de cuatro grupos neuronales. Uno, el cuerpo central, se ubica ventral y anteriormente en el protocerebro, y consiste de dos porciones, una superior y una inferior. Otra porción es el puente protocerebral, ubicado dorsal y posteriormente al anterior. Salvo en los apterigotas, existen aún otras porciones, los nódulos, que se vinculan desde la zona ventral al cuerpo central. También se pueden encontrar zonas equivalentes al complejo central en otros artrópodos, aunque sus relaciones evolutivas son muy discutidas. El puente se compone de unas ocho hileras de neuronas en cada hemisferio, las que pueden estar más o menos fusionadas en la línea media. Adopta una forma de barra alargada y algo arqueada. El cuerpo central también consiste de hileras de neuronas, generalmente cuatro a cada lado. Las neuronas de los nódulos, empero, no siguen esta disposición columnar (Pfeiffer & Homberg, 2014). Se cree que el complejo central sería homólogo en los panartrópodos, aunque en los crustáceos ha derivado mucho respecto del plan basal. Además, si bien ha alcanzado un notable desarrollo en los estomatópodos (mantis marinas) y en los hexápodos y su base sería heredada del plan básico ancestral, la complejidad de cada

uno se habría alcanzado en forma independiente (Strausfeld, 2018). Por otro lado, probablemente el complejo central y los ganglios basales de los vertebrados representen un caso de homología profunda, y signifique que en la base misma de la evolución de los bilaterales ya existían complejos cerebrales que les permitían efectuar varias conductas complejas (Strausfeld & Hirth, 2013). Los cuerpos pedunculados, otro importante centro de asociación, son hallados en todos los hexápodos, salvo los arqueognatos, grupo hermano a todos los insectos, carencia que ha llevado a creer que estos neurópilos serían exclusivos de los insectos, y que su parecido a estructuras similares encontradas en otros taxones de artrópodos sería una convergencia (Strausfeld, 2018). Así es que entre dichos grupos se hallan cuerpos pedunculados en los onicóforos (Mayer 2016), quelicerados (Sinakevitch et al., 2020) y crustáceos (Harzsch & Krieger, 2021; Maza et al., 2021). Hay que resaltar, sin embargo, que se ha discutido su presencia en las arañas (Foelix, 2011) y en los crustáceos, siendo en estos últimos que el cuerpo hemielipsoide, largamente sospechado como su homólogo en los crustáceos, correspondería a dicho elemento (Harzsch & Krieger, 2021). Respecto a los miriápodos, de acuerdo a Sombke & Rosemberg (2016) existen cuerpos pedunculados tanto en

los quilópodos como en los diplópodos, aunque en Sombke et al. (2011) se afirma que no hay certeza acerca de si los neurópilos que reciben dicho nombre en los quilópodos serían homólogos al de los hexápodos. Más allá de los desacuerdos entre los científicos y de las profundas divergencias en la estructura de estos neurópilos, para ciertos autores, los cuerpos pedunculados de todos los artrópodos serían homólogos, así como también lo serían con los de otros filos (Wolf & Strausfeld, 2015). Estas regiones cerebrales son las estructuras nerviosas más estudiadas de los insectos (Strausfeld, 2018) y se trata de dos núcleos nerviosos muy desarrollados, pero de tamaño muy dispar según el taxón, ya que en drosófila sólo lo forman el 4 % del total de las neuronas, en tanto este porcentaje trepa hasta un 40% en *Apis mellifera* (Groh & Rössler, 2020). Son considerados el centro nervioso superior de integración, y al menos funcionalmente, equivalentes a la corteza de los mamíferos (Lefebvre et al., 2007). Incluso, aunque en diferentes momentos, se ha postulado que existiría homología entre estos neurópilos con al menos tres estructuras de los vertebrados: el cerebelo, el hipocampo o la corteza piriforme, según diferentes autores (Campbell & Turner, 2010). Asimismo, se discute intensamente su existencia y homología en otros artrópodos e invertebrados como los anélidos (Heuer & Loesel 2009) aunque no parecen existir en los moluscos (Faller et al., 2012). En los insectos los cuerpos pedunculados se hallan formados por neuronas intrínsecas muy pequeñas, llamadas células de Kenyon que exhiben un alto nivel de organización. Estas células emiten sus dendritas formando una lámina ordenada dispuesta horizontalmente y que en conjunto componen una gran estructura: el cáliz. Los axones, en tanto, forman un ramillete también muy ordenado que forma el pedúnculo, el que puede hallarse dividido en diferentes lóbulos. Las dendritas son el centro de recepción de aferencias sensoriales originadas en otras zonas del cerebro, y los axones, a su vez, envían su flujo informativo hacia neuronas eferentes ubicadas en el protocerebro (Strausfeld et al., 1998). Aunque la fuente principal de información proviene de los lóbulos antenales y por tanto son aferencias olfatorias, esta no es su única función (Loesel et al., 2013).

Moluscos

Este filo presenta una amplia disparidad anatómica y ecológica, como puede inferirse al comparar una almeja y

un pulpo. Hay animales con un arreglo estructural muy basal y similar al de los platelmintos, como los aplacóforos y poliaplacóforos, que presentarían incluso una red nerviosa periférica de tipo difuso y no parecen poseer sentidos muy avanzados, y otros animales con un patrón divergente (Hartenstein, 2017), como los pulpos. Los últimos son considerados los animales invertebrados más inteligentes, equivalentes a ciertos vertebrados, aunque su cerebro es, relativamente, más simple (Gutnick et al., 2017), si bien presentan un patrón de órganos sensoriales exquisito, cuya información es procesada periféricamente, por lo que las respuestas son muy veloces.

En los moluscos el SN más simple siempre se creyó que podría encontrarse en los poliaplacóforos, un grupo basal, y en el cual no se ha identificado por mucho tiempo agrupaciones neuronales, por lo que no poseerían ni ganglios ni cerebro. En un reciente estudio, sin embargo, esta visión ha sido discutida (Sumner-Rooney & Sigwart, 2018). Más allá de esto, en general el SNC de la mayoría de los miembros del filo está conformado por una serie de ganglios pareados y dispuestos a lo largo del cuerpo, de alguna manera, podría decirse, dispersos en el mismo: el par cerebral, el pedal, el pleural y el bucal. A veces puede hallarse un par visceral. En ciertos casos los ganglios se unen formando un anillo circumbucal o circumesofágico. La contraparte periférica está formada por nervios destinados a la musculatura voluntaria, así como de una sección autonómica. Vinculan a las regiones corporales anteriores con las posteriores uno o dos pares de cordones nerviosos amielínicos y muy variables según el taxón. El cerebro de los cefalópodos, por su parte, consiste de varias masas nerviosas, divididas en una serie de lóbulos, los que resultan de la fusión de un numeroso grupo de neuronas reunidas en ganglios. Es así que puede dividirse en las mencionadas porciones supraesofágica y subesofágica, ambas vinculadas por los lados por ciertos lóbulos. En *Octopus*, unas de las más conspicuas de las citadas masas es la zona central del cerebro, en la que reside el lóbulo vertical (Fig. 6). De todas maneras, el SN es algo variable entre los diferentes cefalópodos (Ponder et al., 2019). En cuanto al origen de este sorprendente órgano nervioso, según Mather & Kuba (2013), y citando a Young (1971), las masas nerviosas de los pulpos y calamares no se habrían generado por el aumento de tamaño de los ganglios primitivos, sino por el agrandamiento y posterior fusión de

una cuerda nerviosa entérica similar a la hallada en los anfineuros, moluscos basales del tipo de los poliplacóforos, mencionados más arriba. Estos serían cordones nerviosos medulados, no ganglionados y el secreto del aumento del tamaño del cerebro de los pulpos podría residir en una neurogénesis aumentada, similar a la vista en la corteza de los mamíferos (Deryckere & Seuntjens, 2018). De todas formas, el SN de los cefalópodos como grupo no es tan homogéneo. Por ejemplo, los calamares, al nadar activamente y ser pelágicos disponen del sistema del axón gigante para reaccionar rápidamente, mientras los pulpos, casi siempre bentónicos no lo poseen (Budelmann, 1995). Este tipo de respuestas de huida, explosivas, también pueden verse en los vertebrados, en los que se halla mediada por las células de Mauthner (Shigeno et al., 2018). Asimismo, recuerde el lector que también los anélidos poseen axones gigantes a los flancos de los cordones nerviosos, que podrían ser comparados con los sistemas mencionados. A continuación, en la figura 5 puede verse la disposición general del SNC de un pulpo, y luego un detalle

de su cerebro, en el que sobresalen los lóbulos ópticos.

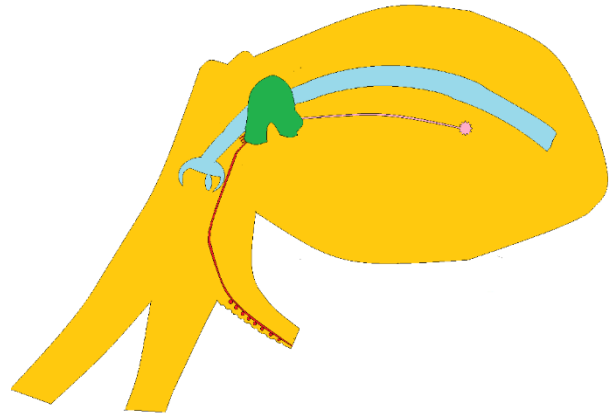
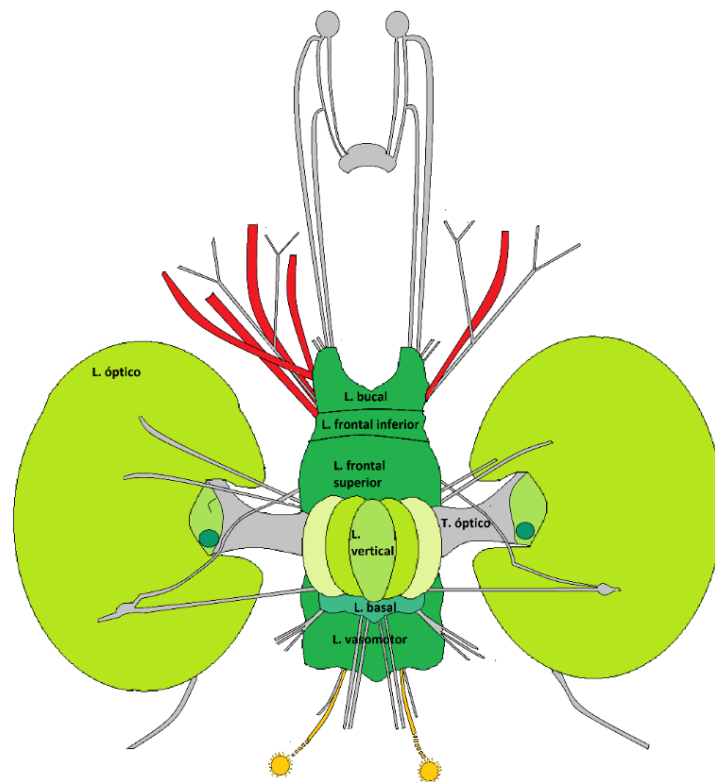


Figura 5. Imagen esquemática de un pulpo exhibiendo el arreglo corporal general. En verde: cerebro; celeste: tubo digestivo; rosado: nervio y ganglio estrellado; rojo: nervios braquiales. Conectado a uno de estos, en uno de los brazos, se pueden ver esferas rojas representando a los ganglios de las ventosas. El tamaño de los pulpos varía bastante de acuerdo a la especie, pero en principio este esquema representaría una tercera parte de un *Octopus minor*.



Escala aproximada, 2 mm.

Figura 6. Esquema del cerebro de un pulpo. Vista dorsal. De la parte superior del dibujo emergen los nervios braquiales, en rojo, cuatro de cada lado, aunque no se muestran todos. Se dirigen hacia anterior. Los cordones grises son otros nervios. Las masas de tonos verdes son los diversos lóbulos cerebrales. En naranja, en la zona inferior, se aprecian los ganglios estrellados, ubicados en la región posterior del

cuerpo. La región media del cerebro se asienta en una caja cartilaginosa, por fuera de la que se hallan los lóbulos ópticos. Abreviaturas. L: lóbulo; T. tracto. Aunque el esquema se basa en *Octopus vulgaris*, la escala se basa en *Octopus minor*, una especie de la que hace poco se hizo un atlas de su cerebro.

Las neuronas de los cefalópodos son unipolares, como en la mayoría de los demás invertebrados, y tanto las destinadas al área sensorial como a la motora se dispondrían en diferentes niveles jerárquicos. Así, en la masa supraesofágica se hallarían los centros motores de mayor jerarquía mientras en la subesofágica se encontrarían los centros motores de nivel inferior, o sea, aquellos que contienen a las motoneuronas que inervan a los músculos. Estos animales poseen dos sistemas de aprendizaje y memoria diferentes, el visual y el quimiotáctil. El primero se asienta en la zona más dorsal del cerebro en el lóbulo vertical y en el frontal superior, y se vincula a la memoria a largo plazo, y están formados por tres tipos de neuronas, todas unipolares. Existe, además una estrecha coincidencia funcional y estructural entre estas regiones y el hipocampo de los mamíferos. El segundo sistema, el quimiotáctil, está conformado principalmente por el lóbulo frontal mediano inferior y por el subfrontal, y guarda estrecha similitud con los anteriores (Gutnick et al., 2017). A diferencia de lo que ocurre con los insectos y los vertebrados, los cefalópodos no parecen presentar una configuración somatotópica en su SNC, aunque hay algunos datos que hacen creer que su anillo subesofágico podría tenerla. En la masa subesofágica existe cierta organización dorso ventral, por lo que la zona dorsal del cerebro se relaciona con la cavidad paleal mientras la ventral con los brazos, aunque no ha podido efectuarse una clara correspondencia con la segregación entre las astas dorsales sensoriales y ventrales motoras como puede observarse en los vertebrados (Shigeno et al., 2018). La razón de esta carencia probablemente sea debida a que

este tipo de control no sería eficiente en un animal sin una estructura corporal fija respecto al ambiente, salvo la cabeza, y quizás las aferencias de los brazos sirvan para configurar algún tipo de representación espacial (Hochner, 2013). De hecho, la corporeidad en un animal de cuerpo blando y extremadamente flexible se alcanza de diferente manera a la que puede observarse en los insectos o vertebrados, con sus esqueletos rígidos (Nesher et al., 2020). Es más, ha existido bastante discusión en torno a si el SN de cada brazo es parte del SNC (equivalente a la médula de los vertebrados) o del SNP (equivalente a los nervios periféricos) (Shigeno et al., 2018). Otro punto de sumo interés es la presencia de tejidos y órganos neurosecretorios. Se han encontrado varios tejidos que podrían cumplir este rol, equivalentes al hipotálamo de los vertebrados, aunque se desconoce su filogenia entre los moluscos. Estos son la glándula óptica y el lóbulo sub pedunculado, ambos asociados al cerebro y vinculados a la reproducción (Shigeno et al., 2018).

Estos últimos autores han propuesto dos lóbulos, el dorsal basal y el sub vertical como equivalentes al tálamo de los vertebrados, ya que reciben aferencias de multitud de centros nerviosos del cuerpo, y actuarían como una estación de relevo intermedia hacia los centros nerviosos de los lóbulos frontal y vertical. Para finalizar, y aunque no es posible aún hablar de homología, se cree que también existe al menos cierta correspondencia entre los ganglios basales de los vertebrados y el lóbulo basal de los cefalópodos, el complejo central de los insectos y el neurópilo central de los anélidos, entre otros animales (Shigeno et al., 2018).

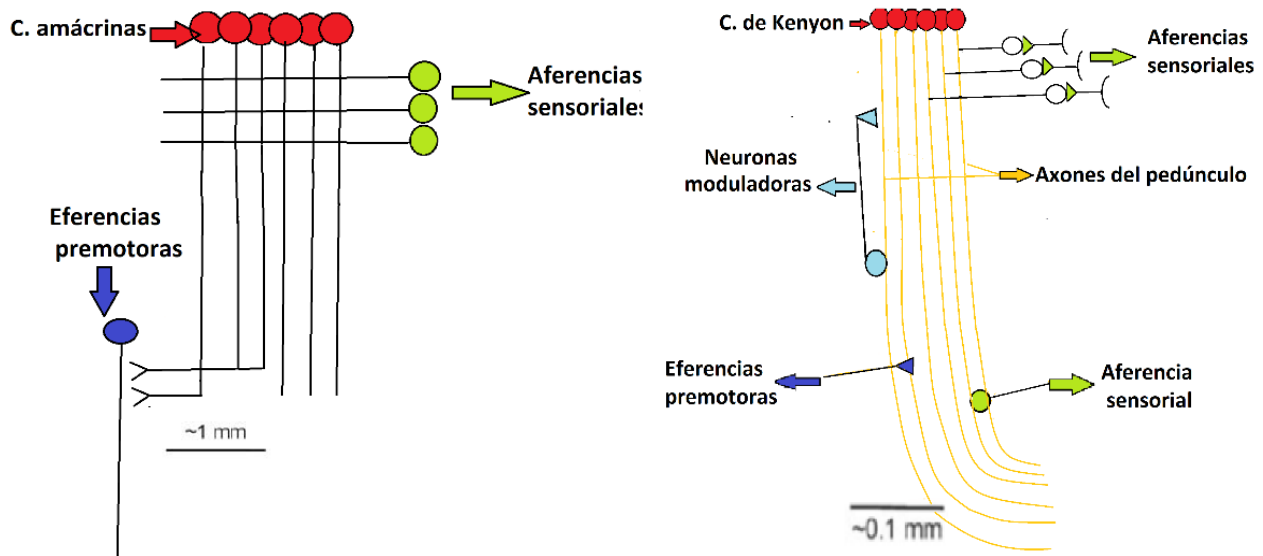


Figura 7. En esta imagen pueden observarse ciertas coincidencias estructurales en la conformación del lóbulo vertical de los pulpos (izquierda) y el cuerpo pedunculado de los insectos (derecha). Los CP exhiben una estructura básica que consiste de numerosas interneuronas intrínsecas que exhiben prolongaciones paralelas y rectilíneas conformando un ortógono, que se vinculan a neuronas aferentes sensoriales. Presentan también circuitos de retroalimentación, así como vínculos moduladores y finalmente emiten sus prolongaciones eferentes. En los pulpos también existen estos elementos. Las estructuras equivalentes se han coloreado de forma similar (El circuito del LV. redibujado de Hochner (2010); el circuito del CP. redibujado desde Wolff & Srausfeld (2015)).

3. Conclusiones

¿Cuándo y en que animal surgió el primer SN? Aún no puede responderse a este interrogante. Existe cierta evidencia de que las esponjas podrían haber tenido un SN que luego perdieron, (Ryan & Chiodin, 2015) lo que de ser cierto significaría, entre otras cosas, que el mismo podría haber sido muy complejo casi desde los inicios. Esto lleva a discutir cómo podría haber sido la apariencia del primer animal, bautizado como Urmetazoo, del que habrían derivado las esponjas, e incluso los ctenóforos. ¿Podría haber tenido algún tipo de sistema nervioso, o de integración, al menos muy básico? Es muy aventurado afirmar tal cosa, aunque si las esponjas contaron con un SN, y, como fuera discutido, los cnidarios y ctenóforos poseen uno bastante complejo, aunque son animales divergentes, parece probable que el Urbilateria, el putativo antecesor de todos los animales bilaterales, surgido luego de los anteriores, podría haber contado con un equipo sensorial y neural bastante desarrollado. De aquí que es tentador creer que los SNC de los bilaterales serían antiguos y homólogos. A pesar de lo dicho, como muchos de los grupos actuales son muy derivados y cuentan con

un cuerpo muy complejo, como algunos taxones particulares de anélidos, artrópodos y moluscos, el SNC debe poseer necesariamente estructuras neurales muy desarrolladas para regular, por ejemplo, los movimientos. Esto es una condición que podría conducir a la aparición independiente de los SN, al menos en parte. Por esto, si estos son o no homólogos aún no es posible aseverarlo, porque podría ser el caso de que al menos se den ciertos casos de homología profunda, en parte desde la misma base de la evolución animal, y en parte de la época en que se produjo la dicotomía entre protostomados y deuterostomados.

4. Conflicto de intereses

Ninguno.

5. Agradecimientos

El autor desea agradecer el inestimable aporte del Biólogo y doctorando Nicolás Ramírez, que se encuentra efectuando una adscripción a la cátedra, por la lectura del manuscrito original, así como por la ayuda en las ilustraciones del presente artículo.

6. Referencias Bibliográficas

- Almudí, I., & Pascual-Anaya, J. (2019). How do morphological novelties evolve? Novel approaches to define novel morphologies. *Old Questions and Young Approaches to Animal Evolution*, 107-132.
- Arendt D. (2021). Elementary nervous systems. *Philosophical Transactions of Royal Society B*, 376: 20200347.
- Arendt, D. (2008). The evolution of cell types in animals: emerging principles from molecular studies. *Nature Reviews Genetics*, 9 (11), 868-882.
- Arnellos, A., & Keijzer, F. (2019). Bodily complexity: Integrated multicellular organizations for contraction-based motility. *Frontiers in physiology*, (10), 1-17.
- Beckers, P., Helm, C., & Bartolomaeus, T. (2019). The anatomy and development of the nervous system in Magelonidae (Annelida)—insights into the evolution of the annelid brain. *BMC evolutionary biology*, 19(1), 1-21.
- Berzins, I. K., Yanong, R. P., LaDouceur, E. E., & Peters, E. C. (2021). Cnidaria. En: LaDouceur E.B. (Ed.) *Invertebrate Histology*, 55-86. John Wiley & Sons, Inc.
- Biserova, N. M., Gordeev, I. I., Korneva, J. V., & Salnikova, M. M. (2010). Structure of the glial cells in the nervous system of parasitic and free-living flatworms. *Biology Bulletin*, 37(3), 277-287.
- Brunet, T. & Arendt, D. (2016). From damage response to action potentials: early evolution of neural and contractile modules in stem eukaryotes. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 371 (1685),1-14.
- Brunet, T.; Fischer, A. H.; Steinmetz, P. R.; Lauri, A.; Bertucci, P. & Arendt, D. 2016. The evolutionary origin of bilaterian smooth and striated myocytes. *Elife*, 5: e19607. DOI: 10.7554/eLife.19607
- Brusca, R., Moore, W., Shuster, S. (2018). *Invertebrados*. 3a edición. Editora Guanabara-Koogan, Rio de Janeiro. 1010pp.
- Budelmann, B. U. (1995). The cephalopod nervous system: what evolution has made of the molluscan design. En: Breidbach, O. & Kutsch, W. *The nervous systems of invertebrates: An evolutionary and comparative approach*, 115-138. Birkhäuser Basel.
- Burkhardt, P., & Sprecher, S. G. (2017). Evolutionary origin of synapses and neurons—Bridging the gap. *Bioessays*, 39 (10),1700024.
- Butler, A. B., & Hodos, W. (2005). *Comparative vertebrate neuroanatomy: evolution and adaptation*. John Wiley & Sons.
- Campbell, R. A., & Turner, G. C. (2010). The mushroom body. *Current Biology*, 20(1),11-12.
- Cole, A. G., Kaul, S., Jahnel, S. M., Steger, J., Zimmerman, B., Reischl, Richards, G., Rentzsch, F., Steimetz, P., & Technau, U. (2020). Muscle cell type diversification facilitated by extensive gene duplications. *bioRxiv*.
- Decraemer, W., Coomans, A., & Baldwin, J. (2013). Morphology of Nematoda. En; Schmidt-Rhaesa, A. (Ed.) *Nematoda* (V.2), 1-60. De Gruyter.
- Deryckere, A., & Seuntjens, E. (2018). The cephalopod large brain enigma: are conserved mechanisms of stem cell expansion the key? *Frontiers in physiology*, 9, 1160.
- Faller, S., Rothe, B. H., Todt, C., Schmidt-Rhaesa, A., & Loesel, R. (2012). Comparative neuroanatomy of Caudofoveata, Solenogastres, Polyplacophora, and Scaphopoda (Mollusca) and its phylogenetic implications. *Zoomorphology*, 131(2), 149-170.
- Foelix, R. F. (2011). *Biology of spiders*. Oxford University Press, New York.
- Gabella G: *Autonomic Nervous System* (2001) *Encyclopedia of life sciences*, Macmillan Publishers Ltd, Nature Publishing Group.
- Garm, A., Poussart, Y., Parkefelt, L., Ekström, P., & Nilsson, D. E. (2007). The ring nerve of the box jellyfish *Tripedalia cystophora*. *Cell and tissue research*, 329(1), 147-157.
- Genzano, G. N., Schiariti, A., & Mianzan, H. W. (2014). Cnidaria. *Los Invertebrados Marinos*. Fundación Félix de Azara, Buenos Aires, 67-85.
- Giribet, G., & Edgecombe, G. D. (2020). *The invertebrate tree of life*. Princeton University Press.
- Groh, C., & Rössler, W. (2020). Analysis of synaptic microcircuits in the mushroom bodies of the honeybee. *Insects*, 11(1), 43.
- Gutnick, T., Shomrat, T., Mather, J. A., & Kuba, M. J. (2017). The cephalopod brain: Motion control, learning, and cognition. En: Saleuddin, S., & Mukai, S. (Eds.). *Physiology of Molluscs* 137-177. Apple Academic.
- Hartenstein, V. (2017). The central nervous system of invertebrates. En: Sheperd, S (Ed.) *The Wiley Handbook of Evolutionary Neuroscience*. 173-235.
- Harzsch, S., & Krieger, J. (2021). Genealogical relationships of mushroom bodies, hemiellipsoid bodies, and their afferent pathways in the brains of Pancrustacea: Recent progress and open questions. *Arthropod Structure & Development*, 65, 101100.
- Hejnol, A., & Rentzsch, F. (2015). Neural nets. *Current Biology*, 25(18), R782-R786.
- Heuer, C. M., & Loesel, R. (2009). Three-dimensional reconstruction of mushroom body neuropils in the polychaete species *Nereis diversicolor* and *Harmothoe areolata* (Phyllodocida, Annelida). *Zoomorphology*, 128(3), 219-226.
- Heuer, C. M., Müller, C. H., Todt, C., & Loesel, R. (2010). Comparative neuroanatomy suggests repeated reduction of neuroarchitectural complexity in Annelida. *Frontiers in zoology*, 7(1), 1-21.
- Hochner, B. (2010). Functional and comparative assessments of the octopus learning and memory system. *Front. Biosci.*, (2), 764-771.
- Hochner, B. (2013). How nervous systems evolve in relation to their embodiment: what we can learn from octopuses and other molluscs. *Brain Behav. Evol.*, (82),19-30. doi: 10.1159/000353419.
- Keijzer, F., & Arnellos, A. (2017). The animal sensorimotor organization: a challenge for the environmental complexity thesis. *Biology & philosophy*, 32(3), 421-441.
- Koizumi, O., Hamada, S., Minobe, S., Hamaguchi-Hamada, K., Kurumata-Shigeto, M., Nakamura, M., & Namikawa, H. (2015). The nerve ring in cnidarians: its presence and structure in hydrozoan medusae. *Zoology*, 118(2), 79-88.
- Kristan Jr, W. B. (2016). Early evolution of neurons. *Current Biology*, 26(20), 949-954.
- LaDouceur, E. (2021). *Invertebrate Histology*. John Wiley & Sons, Inc.
- Lefebvre, L., Reader, S. M., & Boire, D. (2007). The evolution of encephalization. En: Kaas JH (ed): *Evolution of Nervous Systems*. New York, Academic Press, (1),121-141
- Leon, A. (2019). ¿Cuándo apareció el sistema nervioso? Enfoque evolutivo en metazoos no vertebrados. *REBIOL*, 39(1), 50-55.
- Loesel, R.; Wolf, H.; Kenning, M.; Harzsch, S. & Sombke, A. (2013). Architectural principles and evolution of the arthropod central nervous system. En: Minelli, A.; Boxshall, G. y Fusco, G. (eds.). *Arthropod biology and evolution: molecules, development, morphology*. Springer Science & Business Media.
- Luo, L. (2016). *Principles of neurobiology*. Garland Science. United States of American.
- Lüscher, C., & Petersen, C. (2013). The synapse. En: (Galizia C. G. y Lledo, P. M. Eds.). *Neurosciences-From Molecule to*

- Behavior: a university textbook. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg.
- Martin, C., Gross, V., Hering, L., Tepper, B., Jahn, H., de Sena Oliveira, I., Stevenson, P. & Mayer, G. (2017). The nervous and visual systems of onychophorans and tardigrades: learning about arthropod evolution from their closest relatives. *Journal of Comparative Physiology A*, 203(8), 565-590.
- Martín-Durán, J. M., Pang, K., Børve, A., Lê, H. S., Furu, A., Cannon, J. T., Jondelius, U. & Hejnol, A. (2018). Convergent evolution of bilaterian nerve cords. *Nature*, 553(7686), 45-50.
- Martínez, P., Hartenstein, V., & Sprecher, S. G. (2017). Xenacoelomorpha nervous systems. En: Sherman, M. (Ed.) *Oxford Research Encyclopedia of Neuroscience*. Oxford University Press, USA.
- Mather, J. A., & Kuba, M. J. (2013). The cephalopod specialties: complex nervous system, learning, and cognition. *Canadian Journal of Zoology*, 91(6), 431-449.
- Matheson, T. (2002). Invertebrate nervous systems. *Encyclopedia of life sciences*, Macmillan Publishers Ltd, Nature Publishing Group.
- Mayer, G. (2016). Onychophora. Structure and Evolution of Invertebrate Nervous Systems. En: Schmidt-Rhaesa, A., Harzsch, S. y Purschke, G. (Eds.). *Oxford University Press*.
- Maza, F. J., Sztarker, J., Cozzarin, M. E., Lepore, M. G., & Delorenzi, A. (2021). A crabs' high-order brain center resolved as a mushroom body-like structure. *Journal of Comparative Neurology*, 529(3), 501-523.
- Meinertzhagen, I. A. (2010). The organisation of invertebrate brains: cells, synapses and circuits. *Acta Zoologica*, 91 (1), 64-71.
- Molnár, K., Kriska, G., & Lów, P. (2021). Annelida. En: E.B. La Douceur (Ed.) *Invertebrate Histology*, 185-219. John Wiley & Sons, Inc.
- Moroz, L. L. (2009). On the independent origins of complex brains and neurons. *Brain, behavior and evolution*, 74(3), 177-190.
- Moroz, L. L., & Romanova, D. Y. (2021). Selective Advantages of Synapses in Evolution. *Front. Cell Dev. Biol.* 9: 726563.
- Nation, J. L. (2016). *Insect physiology and biochemistry*. CRC press, Boca Raton.
- Nesher, N., Levy, G., Zullo, L., & Hochner, B. (2020). Octopus Motor Control. En: Sherman, M. (Ed.) *Oxford Research Encyclopedia of Neuroscience*. Oxford University Press, USA.
- Orrhage, L., & Müller, M. C. (2005). Morphology of the nervous system of Polychaeta (Annelida). *Hydrobiologia*, 535(1), 79-111.
- Pagán, O. R. (2019). The brain: a concept in flux. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 374(1774), 20180383.
- Pannese, E. (2015). *Neurocytology. Fine Structure of Neurons, Nerve Processes, and Neuroglial Cells*. Springer International Publishing Switzerland.
- Pfeiffer, K., & Homberg, U. (2014). Organization and functional roles of the central complex in the insect brain. *Annual review of entomology*, (59), 165-184.
- Ponder, W. F., Lindberg, D. R., & Ponder, J. M. (2019). *Biology and Evolution of the Mollusca*. CRC Press.
- Purschke (2016). Annelida. Basal groups and pleistoannelida. En: Schmidt-Rhaesa, A., Harzsch, S. & Purschke, G. (Eds.) *Structure and Evolution of Invertebrate Nervous Systems*. Oxford University Press, 254-312.
- Riebli, N., & Reichert, H. (2016). The first nervous system. *The Wiley Handbook of Evolutionary Neuroscience*, 125-152.
- Rieger R. & Ladurner P. (2003). The Significance of Muscle Cells for the Origin of Mesoderm in Bilateria. *Integrative and comparative biology*, (43), 47-54.
- Rogers S. Nervous system (2013). En: Simpson S.J. & Douglas A.E. (Eds.) *The Insects: Structure and Function* (5th edition), Cambridge University Press.
- Roth, G. (2013). *The long evolution of brains and minds*. New York: Springer.
- Ryan, J. F., & Chiodin, M. (2015). Where is my mind? How sponges and placozoans may have lost neural cell types. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 370(1684) 20150059.
- Satterlie, R. A. (2011). Do jellyfish have central nervous systems? *Journal of Experimental Biology*, 214(8), 1215-1223.
- Schmidt-Rhaesa, A. (2007). *The evolution of organ systems*. Oxford University Press.
- Seipel, K., & Schmid, V. (2005). Evolution of striated muscle: jellyfish and the origin of triploblasty. *Developmental biology*, 282(1), 14-26.
- Shigeno S, Andrews P.L.R, Ponte, G. & Fiorito, G (2018). Cephalopod Brains: An overview of Current Knowledge to Facilitate Comparison With Vertebrates. *Front. Physiol.* 9:952. doi: 10.3389/fphys.2018.00952
- Shubin, N., Tabin, C., & Carroll, S. (2009). Deep homology and the origins of evolutionary novelty. *Nature*, 457(7231), 818-823.
- Sinakevitch, I., Long, S. M., & Gronenberg, W. (2020). The central nervous system of whip spiders (Amblypygi): large mushroom bodies receive olfactory and visual input. *Journal of Comparative Neurology*, 529(7), 1642-1658.
- Slater, M. H. (2013). Cell types as natural kinds. *Biological Theory*, 7 (2), 170-179.
- Sombke, A. y Rosemberg, J. (2016) Myriapoda. Structure and Evolution of Invertebrate Nervous Systems. En: Schmidt-Rhaesa, A., Harzsch, S. y Purschke, G. (Eds.) *Oxford University Press* 2016.
- Sombke, A., Rosenberg, J. & Hilken, G. (2011) Chilopoda – the nervous system En: Minelli, A. (Ed.) *The myriapoda. A Treatise on zoology – anatomy, taxonomy, biology*
- Steinmetz, P. R., Kraus, J. E., Larroux, C., Hammel, J. U., Amon-Hassenzahl, A., Houliston, E., Wörheide, G., Nickel, M., Degnan, B., & Technau, U. (2012). Independent evolution of striated muscles in cnidarians and bilaterians. *Nature*, 487(7406), 231-234.
- Strausfeld, N. J. (2018). The divergent evolution of arthropod brains: Ground pattern organization and stability through geological time. En: Byrne, J. H. (Ed.) *The Oxford Handbook of Invertebrate Neurobiology* New York, NY: Oxford University Press. 31-68.
- Strausfeld, N. J., & Hirth, F. (2013). Deep homology of arthropod central complex and vertebrate basal ganglia. *Science*, 340(6129), 157-161.
- Strausfeld, N. J., Hansen, L., Li, Y., Gomez, R. S., & Ito, K. (1998). Evolution, discovery, and interpretations of arthropod mushroom bodies. *Learning & memory*, 5(1), 11-37.
- Sumner-Rooney, L., & Sigwart, J. D. (2018). Do chitons have a brain? New evidence for diversity and complexity in the polyplacophoran central nervous system. *Journal of morphology*, 279(7), 936-949.
- Takahashi, T. (2020). Comparative aspects of structure and function of Cnidarian neuropeptides. *Frontiers in endocrinology*, 11, 339.
- Tsubouchi, A., Yano, T., Yokoyama, T., Murtin, C., Otsuna, H. & Ito, K. (2017). Topological and modality-specific representation of somatosensory information in the fly brain. *Science*, 358(6363), 615-623.
- Urquiza, S. P. & Carezzano, F. J. (2018). *Morfología Animal*. Tomo I. Editorial Sima, Córdoba. 160 pp.
- Urquiza, S. P. & Carezzano, F. J. (2019). *Morfología Animal*. Tomo II. Editorial Sima, Córdoba. 180 pp.
- Urquiza-Bardone, S. P., & Carezzano, F. J. (2013). Las uniones celulares y la emergencia de los animales. *The Biologist (Lima)*, 11(2).
- Weir, K., Dupre, C., van Giesen, L., Lee, A. S., & Bellono, N. W. (2020). A molecular filter for the cnidarian stinging response.

Elife, 9, e57578.

Wolff, G. H., & Strausfeld, N. J. (2015). Genealogical correspondence of mushroom bodies across invertebrate phyla. *Current Biology*, 25 (1), 38-44.

Young, J.Z. (1971). *The anatomy of the nervous system of Octopus vulgaris*. Clarendon Press, Oxford.



PRESENCIA DE *Xylophanes tersa* (SPHINGIDAE: MACROGLOSSINAE) EN LA PROVINCIA DE LIMA

PRESENCE OF *Xylophanes tersa* (SPHINGIDAE: MACROGLOSSINAE) IN THE PROVINCE OF LIMA

Rubén A. Guzmán Pittman^{1*}

¹ Asociación Científica Para la Conservación de la Biodiversidad.

Rubén A. Guzmán Pittman:



<https://orcid.org/0000-0002-9826-6100>

Nota científica

Recibido: 20 de setiembre 2021
Aceptado: 24 de noviembre 2021

Citar como:

Guzmán, R. 2021. Presencia de *Xylophanes Tersa* (Sphingidae: Macroglossinae) en la provincia de Lima. REBIOL, 41(2):277-279.

* Autor para correspondencia: ragp1981@gmail.com

DOI: <http://dx.doi.org/10.17268/rebiol.2021.41.02.12>

Se actualiza el registro de Sphingidae para la provincia de Lima con la adición del Macroglossinae *Xylophanes tersa* (Linnaeus, 1771), encontrada en octubre de 2021 lo que incrementa a 13 las especies en la provincia. La familia Sphingidae, presenta unas 18 especies (Lamas, 1981), descritas inicialmente por Arthur Miles Moss; siendo el último recuento de 12 especies (Guzmán & Vásquez, 2018) para la provincia de Lima. Las esfinges, son polillas bastante grandes, teniendo su especie de mayor tamaño en *Cocytius antaeus* para la zona estudiada, con unos 230 mm de apertura alar.

Los Macroglossini son de un tamaño bastante pequeño, siendo el género *Xylophanes* quien presenta una forma bastante estilizada en comparación con otras especies de Sphingidae, con la relación cuerpo-apertura alar de 1:1.6, en contraparte con otras especies de la familia cuya relación es mayor, alas posteriores considerablemente pequeñas en comparación con otras especies de la familia (Cock, 2018).

El espécimen fue colectado alrededor de las 20:00hrs (hora local), en el distrito de Chaclacayo, en un jardín con plantas cultivadas el 19 de octubre de 2021, que

corresponde al inicio de la temporada de lluvias; el ejemplar fue encontrado descansando sobre una rama de *Eucalyptus globulus*, cabe decir que sólo la usaba como lugar de reposo, donde se lo colectó y preparó para ser conservado como espécimen testigo en la colección entomológica, con la metodología standard de conservación (Arroyo, 1973), finalmente se lo incluyó junto con el resto de la colección de la familia Sphingidae correspondientes al primer estudio que se llevó a cabo en los últimos años (Guzmán & Vásquez, 2018).

El individuo encontrado corresponde con un macho de *Xylophanes tersa* (código de colección EnRG #0000047), caracterizado por presentar una coloración cobriza, tórax más oscuro, con dos líneas rojizas en las tegulas y la porción ventral blanquecina muy contrastante, el abdomen más claro, marrón rojizo, con una serie de líneas más oscuras marrones en sentido longitudinal, alas anteriores pardas, con líneas oscuras y amarillentas claras que van desde la base al ápice, una franja oscura hacia el borde de ataque del ala; otras líneas oscuras delimitando el área marginal, alas posteriores negras, con siete manchas amarillo pálido, las correspondientes a las celdas



entre las venas Cu1, A1 y A2 fusionadas. Ventralmente de coloración rojiza, alas bastante ocres con numerosos jaspes marrón verdoso, área discal del ala anterior más oscura que el resto del ala, área marginal del ala anterior mucho más pálida, casi blanquecina; alas posteriores muy rojizas, con el área basal punteada, seguida de dos franjas oscuras en las áreas discal y postdiscal, área marginal con una serie de puntos limitados por una línea sinuosa hacia el borde del ala.

En base a esto, se podría intuir que, al igual que *Hyles annei*, la especie más común de Macroglossinae en el área de estudio, podría tener una amplia distribución, ya que los especímenes colectados entre los '60 y '80, corresponden al departamento de Junín, que es limítrofe con Lima, con lo que otras especies también podrían tener una distribución similar si en caso son tolerables a las variaciones altitudinales (densidad del aire y concentración de oxígeno). Por otro lado, la presión humana podría haber restringido la distribución de esta especie a sólo las zonas altas, inclusive, sin llegar al departamento de Lima. Las larvas se alimentan de *Spermacoce* sp. (Lamas, 1981), pero sólo se ha encontrado un adulto macho hasta la fecha, dentro de la provincia de Lima, lo que la hace una especie desacostumbrada para la zona.

Según los comentarios acerca de la especie (Lamas, 1981), se menciona que es una especie particularmente rara, sin especímenes provenientes del departamento de Lima, siendo el ejemplar publicado en dicho trabajo proveniente del departamento de Junín, sólo los comentarios de A. M. Moss mencionan su presencia, así como otras siete especies presentes en el departamento de Lima en 1912. Hasta la fecha, desde que se iniciaron las observaciones más recientes (Guzmán & Vásquez, 2018), no se había reportado a esta especie en el ámbito de la provincia de Lima, en el lapso de 1998 al 2020, es posible que, por la casualidad del confinamiento, debido a las medidas de bioseguridad en respuesta a la pandemia de SARS-CoV-2, que ocasiona la COVID-19, muchas especies hayan ampliado sus distribuciones al estar menos alteradas que en años anteriores a 2020.

Con este espécimen (Código de colección EnRG #0000047), se complementa a 13 las especies de la familia

Sphingidae dentro de la provincia de Lima; cabría esperar que, en los próximos años, con más especímenes, puedan completarse lo descrito por Arthur Miles Moss de 18 especies para el departamento de Lima, a pesar de que, en los últimos años no se ha alcanzado esa cifra, es muy probable que la presión antropogénica haya tenido impacto negativo impidiendo el asentamiento y reproducción de otras especies que son menos adaptables a los cambios.

Aún no se tienen detalles de la presencia de *Pseudosphinx tetrio*, *Cocytius lucifer*, *Erinnyis lassauxi*, *Erinnyis obscura*, *Erinnyis crameri*, *Eumorpha fasciata* y *Eumorpha labruscae*, en parte debido a que algunas como *Pseudosphinx tetrio* son de carácter migratorio, mientras que otras se han asentado en las localidades de la provincia de Lima, este carácter migratorio permite de que únicamente se encuentren adultos y no larvas, lo que respondería la ausencia de larvas de ciertas especies anteriormente descritas (Guzmán & Vásquez, 2018); sólo estudios detallados en base a especímenes pueden aclarar muchas incógnitas que aún se presenten en el caso de las esfinges de la provincia de Lima.

Referencias Bibliográficas

- Arroyo, J. 1975, Cómo coleccionar mariposas, edit. Tiempo Libre, 103 pp.
- Cock, M. J. 2018, Hawk-moths (Sphingidae) of Trinidad, West Indies: an illustrated and annotated catalogue, Living World, J. Trinidad and Tobago Field Naturalist's Club, 73 pp.
- Guzmán, R. & Vásquez, R. 2018, Diversidad de Esfinges (Lepidoptera: Sphingidae) en el valle del río Rímac provincia de Lima y Cañete, Lima Perú, Rev. Sagasteguiana. 6(2): 91-104.
- Lamas, G. 1981. Arthur Miles Moss (1873 1948) y los Sphingidae de Lima; Boletín de Lima, Separata, 8pp.

Linkografía

- Sphingidae of America
<http://www.silkmoths.bizland.com/Sphinx/danjansphinx.htm>

ANEXOS



Figura. 1. Especimen **EnRG #000047** adulto de *Xylophanes tersa* encontrado en Chacacayo, Lima, Perú en 2021; vista dorsal y ventral. (Fotografía.- Rubén Guzmán P.)