



# CAMPUS

Revista Campus  
Lima, Perú  
V- XXIX  
Nº 37 / PP. 1 - 216  
enero - junio 2024  
Issn: 1812-6049

[usmp.edu.pe/campus](http://usmp.edu.pe/campus)



**USMP**  
UNIVERSIDAD DE  
SAN MARTÍN DE PORRES

Facultad de  
Ingeniería y  
Arquitectura



<b>Rector</b>	<b>José Antonio Chang Escobedo</b>
<b>Vicerrector Académico</b>	<b>Raúl Eduardo Bao García</b>
<b>Decano</b>	<b>Luis Cárdenas Lucero</b>
<b>Editor</b>	<b>Luis Celi Saavedra</b>





# CAMPUS

Revista de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura



<b>Rector</b>	<b>José Antonio Chang Escobedo</b>
<b>Vicerrector Académico</b>	<b>Raúl Eduardo Bao García</b>
<b>Decano</b>	<b>Luis Cárdenas Lucero</b>
<b>Editor</b>	<b>Luis Celi Saavedra</b>

# CAMPUS

Revista de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura

| Campus | Lima, Perú | V. XXIX | No. 37 | PP. 1-216 | enero-junio | 2024 | ISSN (impreso): 1812-6049 | ISSN (en línea): 2523-1820 |



**Dirección electrónica:**  
<http://usmp.edu.pe>

**DIRECTOR DE LA REVISTA CAMPUS**

Luis Celi Saavedra  
Universidad de San Martín de Porres, Perú

**EDITOR GENERAL**

Víctor Anthony García Rivera  
University Laval, Centre for Optics, Photonics and Laser, Canada

**EDITORES ASOCIADOS**

Danilo Manzani  
Universidad de Sao Paulo, Brasil

Rosalvina Campos Pérez  
Universidad Nacional Federico Villarreal, Perú

**CONSEJO EDITORIAL**

Perla Velasco-Elizondo  
Universidad Autónoma de Zacatecas, México

Carlos Vázquez Rivas  
Universidad de Puerto Rico, Recinto de Río Piedras,  
Puerto Rico

George Argota Pérez  
Universidad de La Habana, Cuba

Humberto Cervantes Maceda  
Universidad Autónoma Metropolitana, México

Luis Castro Careaga  
Universidad Autónoma Metropolitana, México

Nils Murrugarra Llerena  
University of Pittsburgh, Estados Unidos

Luis Hernán García Paucar  
Aston University, Inglaterra

Maritza Catalina Condori Bustamante  
Universidad de Sao Paulo, Sao Paulo, Brasil

John Tredinnick-Rowe  
University of Plymouth-United Kingdom

Martín Moisés Soto Córdova  
Universidad de Ciencias y Humanidades, Perú

Carlos Andrés Mugruza Vasallo  
Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, Perú

Luis Carrasco Venegas  
Universidad Nacional del Callao, Perú

Raquel Rosario Caro Zaldívar  
Universidad Nacional Federico Villarreal, Perú

Luz Castañeda Pérez  
Universidad Nacional Federico Villarreal, Perú

José Alberto Iannacone Oliver  
Universidad Ricardo Palma, Perú

Andrés Ramos Salas  
Universidad de San Martín de Porres, Perú

Gladys Irma Charca Ramos  
Universidad Tecnológica del Perú, Perú

Norma León Lescano  
Universidad de San Martín de Porres, Perú

Alexander Gorina Sánchez  
Universidad de Oriente, Cuba

**TECNOLOGÍA INFORMÁTICA**  
Milagros Quispe Rodríguez

**TRADUCCIÓN**  
Julio Herrera Campos

Periodicidad: 2 números al año

**Correspondencia y solicitudes:** Av. La Fontana 1250- Urbanización Santa Patricia-La Molina -Lima 12  
Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de San Martín de Porres, Lima, Perú  
Teléfono: 511- 208600 anexo 1146 Correo: [revistacampus@usmp.pe](mailto:revistacampus@usmp.pe)  
Hecho el depósito legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2016-02094

**Editado por:** Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Av. La Fontana 1250- Urbanización Santa Patricia-La Molina  
-Lima 12

# CAMPUS

## Contenido

---

Efecto agudo y crónico de los metales pesados sobre anuros (Amphibia) ..... 15 CRISTIAN AGUILAR PRINCIPE ATENEA COLLAZOS AQUINO ROBERT HUAYAMA DE LA CRUZ DEICY ORE ESCALANTE CAROLINE MONRROY ELIAS JORGE SANCHEZ RIVERA YUMAR SALAS CAMACHO JOSÉ IANNAcone	Modelación geoespacial para la caracterización agro-ecología-económica para el desarrollo de los cultivos de agroexportación, unidad hidrográfica Piura, Perú ..... 113 NIELL WILSON RIVAS MEZA NÉSTOR MONTALVO ARQUINIGO ISSAAK RAFAEL VÁSQUEZ ROMERO
ChatGPT como herramienta estratégica de aprendizaje de un curso de pregrado de desarrollo de aplicaciones multiplataforma orientado a la Web ..... 45 EIRIKU YAMAO NORMA LEÓN LESCANO YOSSEF ASDRUJAL HJAR MACEDO FRED LUIS DUARTE JACOME	Efectos ecotoxicológicos del plomo (Pb) sobre la familia Anatidae: Una revisión sistemática ..... 129 DIEGO BOCANEGRA OLAVARRIA CONNIE CESPEDES CACERES KARLA FERNÁNDEZ SÁNCHEZ RONALDO GALDO LAVADO WILBER TICUÑA BLAS JOSÉ IANNAcone
Ingeniería tecnológica de alimentación para el rendimiento de peso total de cuyes, Tacna-Perú ..... 59 INÉS MARITZA AGUILAR CONDORI EDWIN ISMAEL PALZA CHAMBE NOEMÍ ANA MARÍA CONDOR LAZO IRENE VILMA LIMACHE ORTIZ GEORGE ARGOTA PÉREZ	Aplicación de la minería de datos en el marketing usando el análisis de sentimientos de los clientes e-commerce ..... 167 IVAN PETRLIK AZABACHE JOSÉ COVEÑAS LALUPU WILFREDO CARRANZA BARRENA LUZ TORRES-TALAVERANO
Efectos tóxicos agudos y crónicos de los hidrocarburos sobre crustáceos de las familias palaemonidae y hyalellidae: revisión sistemática ..... 69 J. VALERIA YON LEIVA ÁDAN MARINA ALESSANDRA LAURENTE JIMENA RUBY ROJAS PALACIOS KIARA MAURTUA MARÍA GRACIELA ÁLVAREZ PIERO ZEVALLOS JOSÉ IANNAcone	Ingeniería económica circular desde su tecnologización ..... 195 GEOMANIS ARGOTA PÉREZ GEORGE ARGOTA PÉREZ
Calidad de agua del humedal laguna del Tragadero de la provincia de Jauja - Junín ..... 91 EMILIA MISARI-CHUQUIPOMA RAÚL D. CÓNDO BEDOYA JULIÁN CCASANI ALLENDE RAFAEL CLETO CHUQUICONDOR VILLAFUERTE	Low-cost I o T and computer vision-based on aquaculture monitoring system ..... 207 EIRIKU YAMAO



# PRESENTACIÓN

---

La revista CAMPUS, fundada en 1989 por la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de San Martín de Porres (Lima, Perú), es una publicación científica y tecnológica. Divulga investigaciones mediante artículos científicos originales, revisiones y comunicaciones cortas en todas las ramas de la ingeniería. Las publicaciones incluyen tanto investigación básica, que amplía el conocimiento fundamental en estas áreas, como investigación aplicada, que desarrolla tecnologías avanzadas e innovaciones en productos y servicios. Su público objetivo incluye a la comunidad científica, investigadores, estudiantes de ingeniería y ciencias, y líderes en diversas áreas del conocimiento, tanto a nivel nacional como internacional.

Los manuscritos enviados a la revista CAMPUS son evaluados por pares externos. Este proceso de revisión es dinámico, objetivo y riguroso, y se completa dentro de un plazo máximo de 21 días. Las observaciones realizadas se alinean con la política editorial, contribuyendo a la generación de nuevos conocimientos y tecnologías. Las opiniones expresadas en los manuscritos son responsabilidad exclusiva de los autores y no reflejan necesariamente la postura de la revista CAMPUS.

Esta obra está bajo una licencia Creative Commons CC-BY. El término “acceso abierto” significa que la literatura está disponible de forma gratuita en Internet, permitiendo a los usuarios leer, descargar, copiar, distribuir, imprimir, buscar o utilizarla para fines legales, sin barreras financieras, legales o técnicas, excepto las inherentes al acceso a Internet. La única limitación en cuanto a reproducción y distribución, y el único rol del copyright en este contexto, es otorgar a los autores el control sobre la integridad de sus trabajos y el derecho a ser adecuadamente reconocidos y citados.

Los artículos científicos cuentan con DOI (Digital Object Identifier) y los volúmenes publicados por la revista tienen ISSN (International Standard Serial Number). La revista está indexada en el Directory of Open Access Journals (DOAJ), Latindex 2.0, Google Scholar, la Matriz de Información para el Análisis de Revistas (MIAR), la Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico (REDIB), Crossref y el Directory of Open Access Scholarly Resources (ROAD). Nuestra plataforma se gestiona mediante el sistema OJS, que permite un proceso de evaluación transparente de los manuscritos sometidos por diversos autores. Todas las publicaciones de nuestra revista están disponibles en el Repositorio Académico USMP.

Saludos cordiales,

Dr. Luis Celi Saavedra  
Director de la Revista CAMPUS



# Efecto agudo y crónico de los metales pesados sobre anuros (Amphibia)

## Acute and chronic effect of heavy metals on anuros (Amphibia)

Recibido: mayo 05 de 2024 | Revisado: mayo 24 de 2024 | Aceptado: junio 10 de 2024

CRISTIAN AGUILAR PRINCIPE<sup>1</sup>  
ATENEA COLLAZOS AQUINO<sup>1</sup>  
ROBERT HUAYAMA DE LA CRUZ<sup>1</sup>  
DEICY ORE ESCALANTE<sup>1</sup>  
CAROLINE MONRROY ELIAS<sup>1</sup>  
JORGE SANCHEZ RIVERA<sup>1</sup>  
YUMAR SALAS CAMACHO<sup>1</sup>  
JOSÉ IANNAcone<sup>1</sup>

### RESUMEN

El efecto negativo de las actividades humanas sobre la biodiversidad expone la vulnerabilidad de los anfibios, que se posicionan como el grupo de vertebrados más afectado a nivel global, constituyendo aproximadamente el 41% de todas las especies. Por ende, el objetivo de esta investigación es describir los efectos de la exposición de metales pesados en anuros, analizando los impactos en diversos órganos, tanto en términos de efectos agudos y crónicos. Se realizó una búsqueda de información en bases de datos como Scopus, ScienceDirect, ResearchGate, Research4Life, Scielo, CABI, Springer, Wiley, ProQuest, PubMed, Redalyc y Google Académico. Para ello se empleó el enfoque PRISMA para el análisis y selección de información, logrando seleccionar 56 artículos para la presente revisión sistemática. La mayoría de los artículos analizados se enfocaron en la evaluación larvaria de anuros, destacando el cadmio como metal recurrente debido a su presencia natural. Asimismo, se centraron en evaluar efectos subletales en anuros, explorando los impactos de metales pesados en distintos órganos. Los resultados revelaron que la mayoría de los artículos analizados se centraron en la evaluación de anuros durante su fase larvaria. Además, se observó que el cadmio fue el metal más recurrente en las investigaciones. Asimismo, se determinó que la mayoría de los artículos se enfocan en la evaluación de efectos subletales en los anuros.

**Palabras clave:** absorción, actividades antropogénicas, bioacumulación, toxicidad

### ABSTRACT

The negative effects of human activities on biodiversity highlight the vulnerability of amphibians, positioning them as the most affected group of vertebrates globally, constituting approximately 41% of all species. Therefore, the objective of this research is to describe the effects of exposure to heavy metals in anurans, analyzing impacts on various organs, both in terms of acute and chronic effects. A search for information was conducted in databases such as Scopus, ScienceDirect, ResearchGate, Research4Life, Scielo, CABI, Springer, Wiley, ProQuest, PubMed, Redalyc, and Google Scholar. The PRISMA approach was employed for the analysis and selection of information, resulting in the selection of 56 articles for the present systematic review. Most analyzed articles focused on the larval evaluation of anurans, highlighting cadmium as a recurring metal due to its natural presence. Additionally, the emphasis was on assessing sublethal effects in anurans, exploring the impacts of heavy metals on various organs. The results revealed that the majority of the analyzed articles focused on the assessment of anurans during their larval stage. Additionally, it was observed that cadmium was the most recurrent metal in the research. Furthermore, it was determined that most articles concentrate on evaluating sublethal effects in anurans.

<sup>1</sup> Universidad Científica del Sur,  
Lima-Perú

Autor de correspondencia:  
joseiannacone@gmail.com

**Keywords:** absorption, anthropogenic activities, bioaccumulation, toxicity

© Los autores. Este artículo es publicado por la Revista Campus de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de San Martín de Porres. Este artículo se distribuye en los términos de la Licencia Creative Commons Atribución No-Comercial – Compartir-Igual 4.0 Internacional (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite el uso no comercial, distribución y reproducción en cualquier medio siempre que la obra original sea debidamente citada. Para uso comercial contactar a: [revistacampus@usmp.pe](mailto:revistacampus@usmp.pe).

<https://doi.org/10.24265/campus.2024.v29n37.01>

## Introducción

En entornos naturales, se identifican diversos tipos de agentes contaminantes, que incluyen fertilizantes, pesticidas, metales pesados y compuestos utilizados como descongelantes en carreteras. Este amplio espectro de contaminantes se introduce con creciente frecuencia en el entorno ambiental, ya sea mediante su aplicación directa, la escorrentía procedente de áreas donde se emplean en actividades agrícolas, forestales o mineras, la descarga de aguas residuales urbanas e industriales, y la deposición atmosférica (Klingbeil et al., 2019). De manera que, es evidente que la presencia de contaminantes es generalizada, como lo respaldan las investigaciones de (Gouveia et al., 2019), y se prevé un aumento en su incidencia en un futuro cercano, de acuerdo con las perspectivas (Schmeller et al., 2018).

Los metales pesados (MP) son elementos no biodegradables constituidos por metales y metaloides que se encuentran dentro de la corteza terrestre, los cuales son liberados al ambiente por procesos naturales y antropogénicos (Khashman, 2004). Así mismo, poseen la capacidad de circular dentro de los ciclos biogeoquímicos y biomagnificarse, lo cual causa que esté presente por la bioacumulación en los tejidos de los organismos vivos (Danjuma & Adbulkadir, 2018). Los MP provocan la inestabilidad de un ecosistema y en altas concentraciones generan impactos negativos al ambiente (Martin, 2000). En el suelo provoca cambios fisicoquímicos como la reducción de materia orgánica, la disminución de minerales (N, P y K) y una alteración del pH, causando cambios biológicos como el desarrollo anormal de las plantas y la reducción de los

microorganismos y la diversidad biológica (Martin et al., 1996).

El impacto adverso de las actividades antropogénicas sobre la biodiversidad se manifiesta cada vez con mayor notoriedad, y en la actualidad, los anfibios destacan como el grupo de vertebrados más susceptible a nivel global, constituyendo aproximadamente el 41% de todas las especies (Goessens et al., 2022). Factores tales como enfermedades emergentes, la degradación de su hábitat, la introducción de especies no nativas y la contaminación de ecosistemas terrestres y acuáticos han sido identificados como determinantes significativos de esta amenaza (Deknock et al., 2022). En vista de estas amenazas identificadas, resulta de vital importancia evaluar la influencia y magnitud de sus efectos sobre las poblaciones de anfibios, con el propósito de contribuir al desarrollo de estrategias adecuadas para su gestión y conservación (Jayawardena et al., 2021).

Debido a su incapacidad para degradar, los metales pesados demuestran una marcada persistencia en el entorno natural, lo que resulta en su acumulación en una diversidad de tejidos corporales de los anuros, que incluyen, entre otros, los pulmones, el hígado, los riñones, los huesos, los órganos reproductores y el sistema inmunológico (Jayawardena et al., 2017). Esta acumulación de metales pesados en los tejidos corporales de los anfibios da lugar a la iniciación de procesos asociados al desarrollo de cáncer, mutaciones genéticas y malformaciones congénitas (Zhelev et al., 2020). Además, las alteraciones en los parámetros morfofisiológicos fundamentales de los anfibios permiten su utilización como indicadores biológicos informativos en la

evaluación de la contaminación ambiental (Zhang et al., 2018).

El objetivo de esta investigación es describir los efectos de la exposición de metales pesados en anuros, analizando los impactos en diversos órganos, tanto en términos de efectos agudos y crónicos, y considerar las variaciones en la susceptibilidad de las diferentes etapas de desarrollo, desde la etapa embrionaria, larvaria y adultos.

### Método

Se realizó una revisión bibliográfica hasta octubre del año 2023, siguiendo la metodología Prisma con el fin de obtener

una correcta revisión sistemática de la información.

### Búsqueda inicial

El diseño de la presente investigación es de tipo descriptivo, para ello se realizó la búsqueda bibliográfica de artículos científicos mediante las bases de datos de Scopus, ScienceDirect, ResearchGate, Research4Life, Scielo, CABI, Springer, Wiley, ProQuest, PubMed, Redalyc y Google Académico, utilizando las palabras claves “heavy metals” AND “toxicity” AND “anura”. Los artículos buscados presentaron una búsqueda durante los últimos 30 años, desde 1993 hasta el 2023.

**Tabla 1**

*Criterios de exclusión e inclusión usados para la revisión bibliográfica sobre efecto agudo y crónico de los metales pesados sobre anuros (amphibia)*

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Artículos originales	No relacionados de forma directa con el objetivo de investigación.
Notas científicas	Artículos de más de 30 años de antigüedad.
Efectos letales y subletales de metales pesados en anuros	Artículos de revisión
Enfoque en 1 o más especie de anfibio	Artículos que no se puedan acceder a texto completo
Artículos de los últimos 30 años	Artículos que no hablen específicamente de metales pesados
Artículos solo en idioma inglés	Artículos que no hablen de efectos letales y subletales de metales sobre los anuros.
Artículos que mencionan las etapas distintas etapas de desarrollo.	

Los resultados de búsqueda obtenidos con la palabra clave “heavy metals” AND “toxicity” AND “anura” fueron en Scopus (156), ScienceDirect (85), ResearchGate (40), Research4Life (100), SciELO (11), CABI (7), Springer (165), Wiley (3), ProQuest (75), PubMed (31), Redalyc (9) y Google Académico (972).

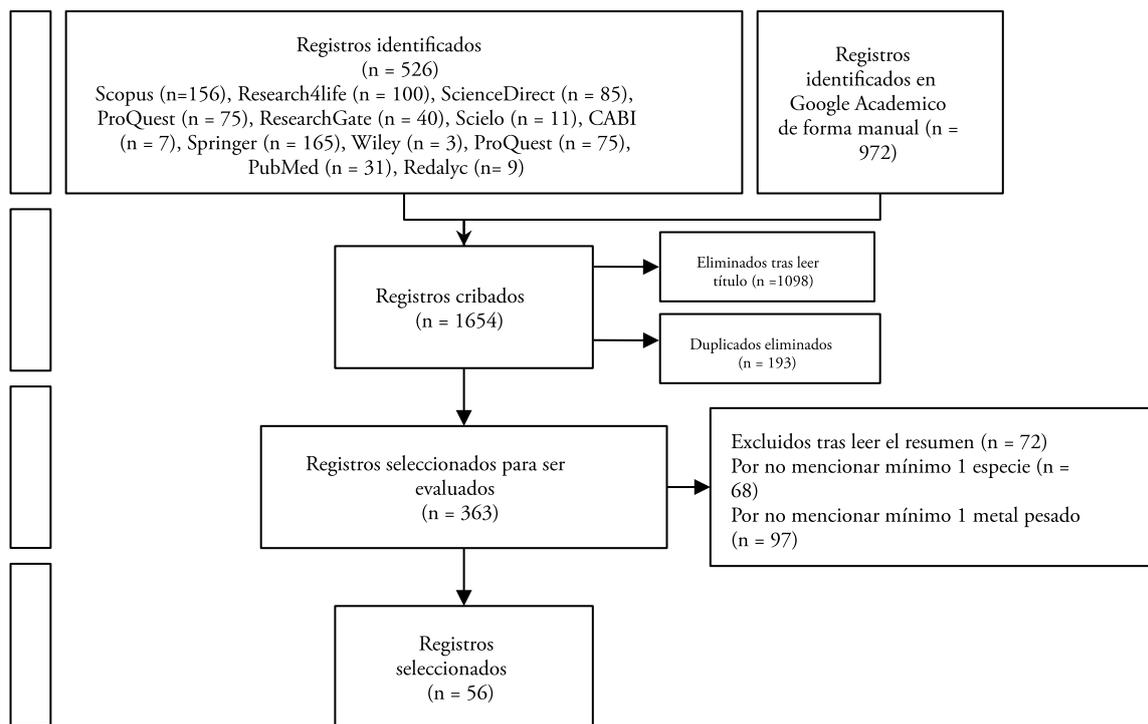
Según los criterios de exclusión e inclusión (Tabla 1), y de acuerdo con la lectura de los artículos se consideraron de Scopus (8), ScienceDirect (15), ResearchGate (1), Research4Life (9), SciELO (2), CABI (4), Springer (1), Wiley (3), ProQuest (3), PubMed (3), Redalyc (1) y Google Académico (6); estos fueron

considerados debido a que contenían temas relacionados con la letalidad y subletalidad de los metales pesados en anuros; asimismo, bioaculación de metales pesados en anfibios, cuáles fueron los órganos afectados; también no son de acceso restringido, presentan una facilidad

de interpretación y síntesis de resultados.

Finalmente, se obtuvieron 56 artículos (Figura 1) en base a los criterios de inclusión y fueron seleccionados para realizar la revisión sistemática conforme a la metodología PRISMA.

**Figura 1**  
*Flujograma Prisma*



## Resultados y Discusión

### Aspectos generales

Los diversos impactos ambientales, en su mayoría ocasionados por actividades antropogénicas, son consecuencia directa del aumento de los asentamientos humanos. Este incremento conlleva a la industrialización y al uso indiscriminado de sustancias químicas, resultando en la degradación y destrucción de hábitats naturales. Dentro de esta situación, estos riesgos representan una amenaza significativa para los anfibios, ya que su desarrollo temprano ocurre

exclusivamente en el agua. Además, los anfibios desempeñan un papel vital en programas de control ambiental y seguimiento de la biodiversidad, siendo este el motivo por el cual estas especies son los preferidos para estudios ecotoxicológicos (Gürkan et al., 2014).

Es en este contexto, que el presente estudio seleccionó un total de 56 artículos, de los cuales, 27 de las investigaciones se desarrollaron en Asia, 24 en América, tres en África y dos en Europa. Estos artículos abordan la especie de anfibio, etapas de desarrollo, metal pesado expuesto, efecto sobre el anfibio (Tabla 2).

**Tabla 2**  
*Lista de artículos sobre los efectos tóxicos de metales pesados en anuros seleccionados para la presente investigación*

N°	Autor (año)	País	Título	Objetivo	Especie de anfibio	Etapas	Metal pesado	Efecto
1	Muñoz-Escobar & Palacio-Baena (2010)	Colombia	Efectos del Cloruro de Mercurio (HgCl <sub>2</sub> ) sobre la sobrevivencia y crecimiento de Renacuajos de <i>Dendropsophus Bogerti</i>	Determinar los efectos letales y subletales del Hg en larvas de <i>Dendropsophus bogerti</i>	<i>Dendropsophus bogerti</i>	Larvaria	Hg	Alteración del crecimiento, peso y longitud (Subletal)
2	Patar et al. (2021)	India	Zinc contamination is an underestimated risk to amphibians: toxicity evaluation in tadpoles of <i>Fejervarya limnocharis</i>	Examinar los efectos del zinc en las larvas de <i>F. limnocharis</i> .	<i>Fejervarya limnocharis</i>	Larvaria	Zn	Mortalidad (Letal)
3	Teng et al. (2022)	China	Effects of cadmium exposure on thyroid gland and endochondral ossification in <i>Rana zhenhai ensis</i>	Evaluar los efectos adversos de la exposición subcrónica a concentraciones previstas de cadmio en larvas de <i>Rana zhenhai ensis</i>	<i>Rana zhenhai ensis</i>	Larvaria	Cd	Reducción de tasa de metamorfosis e inducción del riesgo de condición corporal (Subletal)
4	Samanta et al. (2020)	India	Acute toxicity assessment of arsenic, chromium and almix 20WP in <i>Euphlyctis cyanophlyctis tadpoles</i>	Evaluar la toxicidad aguda (CL <sub>50</sub> ) del arsénico, el cromo y el herbicida comercial Almix para el renacuajo de la rana india, <i>E. cyanophlyctis</i>	<i>Euphlyctis cyanophlyctis</i>	Larvaria	As, Cr	Mortalidad (Letal)
5	Jayawardena et al. (2021)	India	Cytogenotoxicity evaluation of a heavy metal mixture, detected in a polluted urban wetland: Micro-nucleus and comet induction in the Indian green frog ( <i>Euphlyctis hexadactylus</i> ) erythrocytes and the Allium cepa bioassay	Evaluar el potencial cito genotóxico de esta mezcla de metales pesados (Cd, Cr, Cu, Zn y Pb) en tres poblaciones de estudio de la misma especie de rana ( <i>E. hexadactylus</i> ).	<i>Euphlyctis hexadactylus</i>	Adulto	Cr, Cd, Cu, Zn, Pb	Apoptosis celular y rupturas de las cadenas de ADN (Subletal)

6	Zhu et al. (2023)	China	Cascading effects of Pb on the environmental and symbiotic microbiota and tadpoles' physiology based on field data and laboratory validation	Proponer conocimientos de campo sistemáticos sobre las influencias de los metales pesados en los ecosistemas acuáticos.	<i>Bufo gargarizans</i>	Larvaria	Pb	Disminución de la microbiota intestinal y la fisiología (Subletal)
7	Flynn et al. (2019)	Estados Unidos	Variation in metal tolerance associated with population exposure history in Southern toads ( <i>Anaxyrus terrestris</i> )	Evaluar la tolerancia de los descendientes a la exposición a metales acuáticos en ambientes con altos niveles de factores estresantes de elementos traza.	<i>Anaxyrus terrestris</i>	Adulto	Cu	Mayor tolerancia de los descendientes (Subletal)
8	Mirkovska et al. (2021)	Bulgaria	Chronic Exposure to Heavy Metals Induces Nuclear Abnormalities and Micronuclei in Erythrocytes of the Marsh Frog ( <i>Pelophylax ridibundus</i> Pallas, 1771)	Determinar el efecto citotóxico y genotóxico in situ en ranas de los pantanos ( <i>Pelophylax ridibundus</i> Pallas, 1771)	<i>Pelophylax ridibundus</i>	Adulto	Pb y Zn	Mayor inducción de NA en los eritrocitos (Subletal)
9	Xia et al. (2012)	China	Chronic toxicity of copper on embryo development in Chinese toad, <i>Bufo gargarizans</i>	Utilizar un enfoque multidisciplinario para evaluar los efectos complejos del Cu en el desarrollo embrionario de <i>B. gargarizans</i> .	<i>Bufo gargarizans</i>	Embrional	Cu	Pérdida de peso, mayor duración del crecimiento embrionario, malformación (aleta dorsal ondulada, cola flexionada, edema del saco vitelino) y pigmentación reducida del saco vitelino (Subletal)
10	Flynn et al. (2015)	Estados Unidos	Lethal and sublethal measures of chronic copper toxicity in the eastern narrowmouth toad, <i>Gastrophryne carolinensis</i>	Evaluar el impacto negativo de los niveles de Cu en la supervivencia y desarrollo embrionario y larvario de <i>G. carolinensis</i>	<i>Gastrophryne carolinensis</i>	Embrional Larvaria	Cu	Retrasos en el desarrollo en la transición de embrión a larva que nada libremente (Subletal)
11	Lu et al. (2021)	China	Cadmium-induced toxicity in amphibian tadpoles could be exacerbated by an alkaline, not acidic, pH level	Determinar si la toxicidad crónica del Cd en larvas de anfibios varía según el cambio de pH.	<i>Rana zhenhaiensis</i>	Larvaria	Cd	Reducción de supervivencia, metamorfosis, enzimas y alteración de glóbulos rojos (Subletal)
12	Duan et al. (2021)	China	Effect of lead exposure on jumping ability in <i>Pelophylax nigromaculatus</i>	Evaluar el efecto del plomo sobre la capacidad de salto de <i>Pelophylax nigromaculatus</i>	<i>Pelophylax nigromaculatus</i>	Adulto	Pb	Reducción de movilidad (Subletal)

13	Khatab et al. (2021)	Egipto	Genotoxicity and limb asymmetry in the Egyptian toad ( <i>Sclerophrys regularis</i> ) as biomarkers of heavy metal toxicity	Medir la inestabilidad del desarrollo y la genotoxicidad del estado estructural de los cromosomas de los glóbulos rojos del <i>Sclerophrys regularis</i> como biomarcadores de la toxicidad de los metales pesados	Adulto	Cr, Cd, Pb, Fe y Mn	Rotura del ADN y alteración morfológica (Subletal)
14	Ly et al. (2022)	China	Multiomics provide mechanistic insights into Pb-induced changes in traits related to tadpole fitness and environmental water quality	Investigar los efectos del Pb sobre los rasgos de peso corporal, desarrollo y tamaño intestinal relativo del <i>R. omei-montis</i> y las fluctuaciones en el agua ambiental e índices de calidad.	Larvaria	Pb	Alteración del crecimiento y desarrollo (Subletal)
15	Calfee & Little (2017)	Estados Unidos	Toxicity of cadmium, copper and zinc to the endangered chiricahua leopard frog ( <i>Lithobates chiricahuensis</i> )	Determinar la sensibilidad del <i>Lithobates chiricahuensis</i> a los metales pesados.	Larvaria	Cd, Cu y Zn	Mortalidad (Letal)
16	Vogiatzis & Loumbourdis (2001)	Estados Unidos	Exposure of Rana ridibunda to lead II. Impact of lead on various parameters of hepatic metabolism of the frog Rana ridibunda.	Estudiar el impacto del Pb en el metabolismo hepático de la Rana <i>ridibunda</i> midiendo los niveles hepáticos de glucógeno, lactato, grasa total, proteínas y glucosa.	Adulto	Pb	Estrés metabólico (Subletal)
17	Su et al. (2023)	China	Heavy metal pollution alters reproductive performance and mate choice in an anuran, <i>Strauch Bufo raddai</i>	Determinar si los metales pesados inducen estrés a los machos de <i>Strauch Bufo raddai</i> , provocando la alteración de las señales sexuales.	Adulto	Cu, Zn, Pb y Cd	Alteración del rendimiento reproductivo (Subletal)
18	Ojha et al. (2021)	India	Environmentally relevant concentrations of Cadmium impair morpho-physiological development and metamorphosis in <i>Polyypedates maculatus</i> (Anura, Rhacophoridae) tadpoles	Calcular los valores de concentración letal media (CL <sub>50</sub> ) después de 24 y 48 h para renacuajos de <i>P. maculatus</i> y probar la toxicidad crónica de diferentes concentraciones de Cd.	Larvaria	Cd	Desarrollo morfológico y la metamorfosis (Subletal)

19	Zhang et al. (2022)	China	Fat rather than health – Ecotoxic responses of <i>Bufo raddei</i> to environmental heavy metal stress during the non-breeding season	Evaluar los niveles de enriquecimiento de metales pesados en los órganos, el estado nutricional, el nivel de desarrollo gonadal, el nivel de oxidación y el estado inmunológico en <i>B. raddei</i> durante la temporada no reproductiva..	<i>Strauch Bufo raddei</i>	Adulto	Cu, Zn, Pb y Cd	Limitaciones nutricionales y falla del sistema inmunológico (Subletal)
20	Zhang et al. (2023)	China	Intestinal response of <i>Rana chensinensis</i> larvae exposed to Cr and Pb, alone and in combination	Evaluar la respuesta intestinal de renacuajos de <i>Rana chensinensis</i> a la exposición a Cr y Pb, solos y en combinación	<i>Rana chensinensis</i>	Larvaria	Cr y Pb	Cambio morfológico (Subletal)
21	Weir et al. (2016)	Estados Unidos	Integrando la toxicidad del cobre y el cambio climático para comprender el riesgo de extinción de dos especies de anuros de estanque durante la reproducción.	Comprender mejor la importancia relativa de la contaminación crónica de cobre en sapos del sur y ranas leopardo del sur ( <i>Lithobates esfero céfalo</i> ) en un entorno de régimen hidrológico cambiante.	<i>Anaxyrus terrestris</i> <i>Lithobates sphencephalus</i>	Larvaria Adulto	Cu	Mortalidad de embriones, problemas de crecimiento y reproducción (Letal/Subletal)
22	Park et al. (2014)	Korea	Toxicidad para el desarrollo de efluentes de aguas residuales municipales tratados en embriones de <i>Bombina orientalis</i> (Amphibia: Anura)	Examinar la supervivencia, la malformación y el crecimiento de embriones de <i>B. orientalis</i> en muestras de agua, incluido TWE de la cuenca de Tancheon, basándose en el ensayo de teratogénesis de embriones de rana modificados <i>Xenopus</i>	<i>Bombina orientalis</i>	Embrional Larvaria	Cd, Cu, Cr, Zn, Pb	Malformación embrionaria e inhibición de crecimiento (Subletal)
23	Gross et al. (2009)	Estados Unidos	Período crítico de sensibilidad a los efectos del cadmio en el crecimiento y desarrollo de las ranas	Identificar el período crítico de sensibilidad del crecimiento y desarrollo alterado por Cd en larvas de <i>R. pipiens</i> y al mismo tiempo aclarar los patrones generales de dosis-respuesta.	<i>Lithobates pipiens</i>	Larvaria	Cu	Adelanto de la metamorfosis de los renacuajos (Subletal)

24	Chen et al. (2007)	Estados Unidos	Efectos adversos de la exposición crónica al cobre en larvas de rana leopardo del norte ( <i>Rana pipiens</i> )	Determinar los efectos de la exposición crónica al Cu sobre la supervivencia, el desarrollo, el crecimiento, el rendimiento de la natación y la metamorfosis de las larvas de <i>Rana pipiens</i>	<i>Lithobates pipiens</i>	Larvaria	Cd	Deformidades y subdesarrollo (Subletal)
25	Karasov et al. (2005)	Estados Unidos	Exposición de campo de embriones de ranas y renacuajos a lo largo de un gradiente de contaminación en el ecosistema de Fox River y Green Bay en Wisconsin, EE.UU.	Investigar la acumulación de metales y contaminantes ambientales en tejidos de ranas a lo largo de un gradiente de contaminación en la cuenca de Green Bay.	<i>Lithobates clamitans</i> <i>Lithobates pipiens</i>	Embrional Larvaria	Cd, Cr, Pb	Disminución de la incubabilidad de embriones (Subletal)
26	da Rocha Braga et al. (2022)	Brasil	<i>Leptodactylus macrosternum</i> (Anura: Leptodactylidae) as a bioindicator of potentially toxic chemical elements in irrigated perimeters in northeastern Brazil	Cuantificar elementos potencialmente tóxicos en cadáveres de <i>L. macrosternum</i> , evaluando su potencial como bioindicador de contaminación de áreas del agrosistema en la cuenca del Bajo Río Jaguaribe, Ceará, noreste de Brasil.	<i>Leptodactylus macrosternum</i>	Adulto	Cr, Fe, Mn, Ni, Pb, As, Cd, Co, Cu, Zn	Menor índice corporal en los machos (Subletal)
27	Singh et al. (2016)	India	A Study on Bioaccumulation of Heavy Metals in two Anuran Tadpoles: <i>Climnotarsus Altiticola</i> and <i>Leptobrachium Smithi</i> From Rosekandy Tea Estate, Cachar, Assam	Estimar los niveles de metales pesados; Cu, Fe, Cr, Cd, Pb y Zn en renacuajos de dos especies diferentes de anuros: <i>Climnotarsus alticola</i> y <i>Leptobrachium smithi</i>	<i>Climnotarsus alticola</i> <i>Leptobrachium smithi</i>	Larvaria	Fe, Cr, Cd, Pb	Disminución de la población de anfibios (Letal)
28	Lajmanovich et al. (2019)	Argentina	First evaluation of novel potential synergistic effects of glyphosate and arsenic mixture on <i>Rhinella arenarum</i> (Anura: Bufonidae) tadpoles	Determinar la toxicidad individual de GBH y As(III), y realizar una primera y novedosa evaluación de su mezcla, en renacuajos del sapo común sudamericano, <i>Rhinella arenarum</i> .	<i>Rhinella arenarum</i>	Larvaria	Ar	Cambios estructurales y funcionales en los tejidos y la fisiología de los renacuajos (Subletal)

29	Kaczor-Kamińska et al. (2020)	Polonia	Multidirectional Changes in Parameters Related to Sulfur Metabolism in Frog Tissues Exposed to Heavy Metal-Related Stress	Evaluar los cambios en la actividad y la expresión génica de la cistionina $\gamma$ -liasa (CTH), 3-mercaptopiruvato sulfotransferasa y rodanasa en las especies de ranas.	<i>Pelophylax ridibundus</i> <i>Xenopus laevis</i> <i>Xenopus tropicalis</i>	Adulto	Ar	Alteración enzimática (Subletal)
30	ŞİŞMAN et al. (2015)	Turquía	Determination of Nuclear Abnormalities in Peripheral Erythrocytes of the Frog <i>Pelophylax ridibundus</i> (Anura: Ranidae) sampled from Karasu River Basin (Turkey) for Pollution Impacts.	Evaluar los efectos genotóxicos de los metales tóxicos de la rana <i>Pelophylax ridibundus</i> recolectada en dos ambientes de humedales contaminados de la cuenca del río Karasu.	<i>Pelophylax ridibundus</i>	Adulto	Cd, Al, Ar, Pb y Mn	Alteración de las células (Subletal)
31	Araújo et al. (2014)	Brazil	Avoidance and Mortality Driven by Copper in Temperate and Tropical Tadpoles.	Evaluar el efecto del cobre en la disminución inmediata en renacuajos de tres especies de anfibios.	<i>Leptodactylus latrans</i> <i>Lithobates catesbeianus</i> <i>Pelophylax perezi</i>	Larvaria	Cu	Mortalidad (Letal)
32	Peluso et al. (2020)	Argentina	Biomarkers of genotoxicity and health status of <i>Rhinella fernandezae</i> populations from the lower Paraná River Basin, Argentina.	Evaluar el estado de salud de las poblaciones de <i>Rhinella fernandezae</i> en tres sitios de la Provincia de Buenos Aires.	<i>Rhinella fernandezae</i>	Adulto	Al y Cu	Cambios corporales y alteración reproductiva de la hembra (Subletal)
33	Vasconcelos-Teixeira et al. (2022)	Brasil	Stress Response, Immunity, and Organ Mass in Toads ( <i>Rhinella diptycha</i> ) Living in Metal-Contaminated Areas.	Analizar la respuesta inmune innata, la capacidad de destrucción bacteriana, el edema por fibrohemaglutinina, dos biomarcadores de estrés, los niveles plasmáticos de corticosterona y la proporción de neutrófilos a linfocitos de la <i>Rhinella diptycha</i> que viven en lugares contaminados por metales pesados	<i>Rhinella diptycha</i>	Adulto	Al, Cu, Fe y Zn	Activación de las respuestas de estrés y del sistema inmune (Subletal)
34	Huang et al. (2017)	China	Chronic toxic effect of lead on male testis tissue in adult <i>Pelophylax nigromaculatus</i> .	El objeto de nuestro estudio es evaluar los efectos complejos del Pb en los testículos de <i>P. nigromaculatus</i> en concentraciones ambientales.	<i>Pelophylax nigromaculatus</i>	Adulto	Pb	Cambios patológicos espermatocarios (Subletal)

35	Giroto et al. (2020)	Brasil	Acute and Chronic Effects on Tadpoles ( <i>Lithobates catesbeianus</i> ) Exposed to Mining Tailings from the Dam Rupture in Mariana, MG (Brazil)	Describir las enfermedades agudas y crónicas de los efectos de los relaves mineros de la ruptura de la presa Fundão sobre anfibios, utilizando renacuajos de <i>Lithobates catesbeianus</i> (Anura, Ranidae).	<i>Lithobates catesbeianus</i>	Larvaria	Cd, Pb, Mn, Zn y Al	Reducción de la velocidad de nado (Subletal)
36	Wang & Jia (2009)	China	Low levels of lead exposure induce oxidative damage and DNA damage in the testes of the frog <i>Rana nigromaculatus</i>	Investigar los efectos crónicos de las bajas concentraciones de plomo (Pb) sobre el daño oxidativo y el daño del ADN en los testículos de la Rana <i>nigromaculata</i>	<i>Pelophylax nigromaculatus</i>	Adulto	Pb	Daño del ADN (Subletal)
37	Natale et al. (2006)	Argentina	Acute and chronic effects of Cr(VI) on <i>Hypsiboa pulchellus</i> embryos and tadpoles	Evaluar la exposición a corto (aguda) y a largo plazo (crónica) al Cr en concentraciones letales y subletales en <i>Hypsiboa pulchellus</i>	<i>Hypsiboa pulchellus</i>	Larvaria	Cr	Inhibición del crecimiento (Subletal)
38	Shaapera et al. (2013)	Nigeria	Assessment of Heavy Metals in <i>Rana esculenta</i> Organs from River Guma, Benue State Nigeria	Proporcionar una base para la predicción de las consecuencias de la contaminación por metales pesados en el río Guma y determinar la concentración de metales pesados en las ranas del río Guma	<i>Pelophylax esculentus</i>	Larvaria	Pb, Cr, Cu, Zn, Fe, Cd y Mg	Acumulación en el (intestino, hígado y piel (Subletal)
39	Priyadarshani et al. (2015)	Sri Lanka	Heavy metal mediated immunomodulation of the Indian green frog, <i>Euphlyctis hexadactylus</i> (Anura: Ranidae) in urban wetlands	Investigar los impactos de la toxicidad de los metales pesados en el sistema inmunológico de la rana verde india, <i>Euphlyctis hexadactylus</i>	<i>Euphlyctis hexadactylus</i>	Adulto	Cu, Zn, Pb y Cd	Estimulación de los fagocitosis y una tendencia hacia la inmunosupresión (Subletal)
40	Jayawardena et al. (2016)	Sri Lanka	Heavy metal mediated innate immune responses of the Indian green frog, <i>Euphlyctis hexadactylus</i> (Anura: Ranidae): Cellular profiles and associated Th1 skewed cytokine response	Evaluar respuestas inmunes innatas mediadas por metales pesados de la rana verde <i>Euphlyctis hexadactylus</i>	<i>Euphlyctis hexadactylus</i>	Adulto	Cd, Cr, Cu, Zn y Pb	Disminución y alteración de las células (Subletal)

41	Natale et al. (2000)	Argentina	Effect of Cr(VI) on early life stages of three species of hylid frogs (Amphibia, Anura) from South America	Determinar la sensibilidad de las ranas arbóreas al Cr VI, mediante bioensayos de toxicidad en laboratorio utilizando estadios tempranos de vida de estos organismos.	<i>Hypsiboas pulchellus</i> <i>Hymenolepis nana</i> <i>Scinax squadrirostris</i>	Larvaria Embrional	Cr	Mortalidad (Letal)
42	Jayawardena et al. (2017)	India	Heavy metal-induced toxicity in the Indian green frog: Biochemical and histopathological alterations	Evaluar las alteraciones bioquímicas en <i>E. hexadactylus</i> en el lugar contaminado	<i>Euphlyctis hexadactylus</i>	Adulto	Cd, Cr, Cu, Pb y Zn	Daño tisular (Subletal)
43	García et al. (2023)	México	Efecto del plomo y del arsénico en condiciones de laboratorio sobre la rana africana de uñas ( <i>Xenopus laevis</i> ) y la rana leopardo ( <i>Lithobates berlandieri</i> ).	Evaluar los efectos de plomo y arsénico en la Rana Africana de uñas <i>Xenopus laevis</i> y la rana leopardo ( <i>Lithobates berlandieri</i> ).	<i>Xenopus laevis</i> <i>Lithobates berlandieri</i>	Larvaria	Ar y Pb	Mortalidad (letal) y curvatura en la espina dorsal, tumefacciones y problemas en la pigmentación (Subletal)
44	Peluso et al. (2022)	Argentina	Environmental quality and ecotoxicity of sediments from the lower Salado River basin (Santa Fe, Argentina) on amphibian larvae.	Evaluar la calidad ambiental y la ecotoxicidad de los sedimentos de la cuenca baja del río Salado sobre larvas de anfibios, concretamente sobre larvas de <i>Rhinella arenarum</i> .	<i>Rhinella arenarum</i>	Adulto	Cr, Pb, Cd, Ti y Zn	Estrés oxidativo, genotoxicidad y neurotoxicidad (Subletal)
45	Gastelum et al. (2019)	México	Efecto del cloruro de cadmio durante el desarrollo larvario de la rana toro <i>Lithobates catesbeianus</i> (Shaw, 1802).	Exponer renacuajos de rana toro <i>Lithobates catesbeianus</i> en distintas concentraciones de Cd para evaluar su efecto en función de la mortalidad y analizar el daño en el tejido hepático mediante técnica histológica convencional.	<i>Lithobates catesbeianus</i>	Larvaria	Cd	Daño a la estructura celular hepática (Subletal)
46	Huang & Ma (2019)	China	The effects of lead on ATPase activity in the liver of <i>Pelophylax nigromaculatus</i> .	Evaluar los efectos del plomo sobre la actividad ATPasa en el hígado de <i>Pelophylax nigromaculatus</i> .	<i>Pelophylax nigromaculatus</i>	Adulto	Pb	Inhibición de la actividad enzima ATP y oscurecimiento del hígado (Subletal)

47	Sheriff & Arif (2021)	India	Effect of some heavy metals synergism on the longevity and bioaccumulation inside the muscles of frog <i>ridibunda</i> species under the laboratory conditions.	Determinar el posible uso de la Rana <i>ridibunda</i> como un indicador de la acumulación de mercurio y cadmio en los ecosistemas acuáticos y conocer el efecto de los metales pesados en los tejidos musculares de las patas.	<i>Pelophylax ridibundus</i>	Adulto	Cd y Hg	Mortalidad (Letal)
48	Kumar et al. (2019)	India	Response of Ultimobranchial and Parathyroid Glands of the Indian Skipper Frog, <i>Euphlyctis cyanophlyctis</i> to Cadmium Toxicity	Investigar los efectos de la exposición al cloruro de cadmio en las glándulas ultimobranchial y paratiroides de <i>Euphlyctis cyanophlyctis</i>	<i>Euphlyctis cyanophlyctis</i>	Adulto	Cd	Reducción del volumen nuclear, los epitelios foliculares y degeneración celular y vacuolización en la glándula (Subletal)
49	Smalling et al. (2019)	Estados Unidos	Associations between environmental pollutants and larval amphibians in wetlands contaminated by energy-related brines are potentially mediated by feeding traits	Determinar si la contaminación por salmuera aumenta las concentraciones de metales en los sedimentos de los humedales dentro de la cuenca Williston y si estos metales se bioacumulan en los tejidos de los anfibios nativos	<i>Lithobates pipiens</i> , <i>Pseudacris maculata</i> .	Larvaria	Cr, Fe, Hg, Mg, Na, Sr, Zn y Cu	Alteración del crecimiento, desarrollo, endocrinas e inmunosupresión (Subletal)
50	Gürkan et al. (2014)	Turquía	Acute toxic effects of cadmium in larvae of the green toad, <i>Pseudopidalea variabilis</i> (Pallas, 1769) (Amphibia: Anura)	Determinar las concentraciones letales de cadmio y los efectos tóxicos agudos en los tejidos y órganos de las larvas de <i>P. variabilis</i>	<i>Pseudopidalea variabilis</i>	Embrional Larvaria Adulto	Cd	Mortalidad (letal) y afectación sobre el tamaño corporal y hemorragia hepática (Subletal)
51	Franco-De-Sá & Val (2014)	Brasil	Copper toxicity for <i>Scinax ruber</i> and <i>Rhinella granulosa</i> (Amphibia: Anura) of the Amazon: Potential of Biotic Ligand Model to predict toxicity in urban streams	Determinar la sensibilidad al cobre de dos especies de anuros, <i>Scinax ruber</i> y <i>Rhinella granulosa</i> , asimismo verificar la capacidad del Modelo de Ligando Biótico para predecir la toxicidad en arroyos urbanos.	<i>Scinax ruber</i> y <i>Rhinella granulosa</i>	Embrional Larvaria	Cu	Mortalidad (Letal)

52	Othman et al., (2009)	Tailandia	Cadmium Accumulation in Two Populations of Rice Frogs ( <i>Fejervarya limnocharis</i> ) Naturally Exposed to Different Environmental Cadmium Levels	Determinar la acumulación de cadmio en hígado, riñón, ovario y testículo del <i>F. limnocharis</i> salvajes que están naturalmente expuestos a diferentes niveles de concentración	<i>Fejervarya limnocharis</i>	Adulto	Cd	Crecimiento irregular y disrupción hepático, renal y restricular (Subletal)
53	Fridman et al. (2004)	Argentina	Estradiol uptake, toxicity, metabolism, and adverse effects on cadmium-treated amphibian embryos	Determinar los umbrales de concentración de 17β-estradiol y Cd que causan letalidad en los embriones y evaluar los posibles efectos sinérgicos de ambos sobre la toxicidad.	<i>Bufo arenarum</i>	Embrional	Cd	Mortalidad (Letal)
54	Ezemonye & Enuneku, (2011)	Nigeria	Biochemical Alterations in <i>Hoplobatrachus occipitalis</i> Exposed to Sub Lethal Concentrations of Cadmium	Estudiar los efectos bioquímicos del cadmio en la rana adulta <i>Hoplobatrachus occipitalis</i> y contribuir a comprender el fenómeno de la disminución de las poblaciones.	<i>Hoplobatrachus occipitalis</i>	Adulto	Cd	Disminución de los niveles de glutatión y aumento de la peroxidación lipídica (Subletal)
55	Weir et al. (2016)	Estados Unidos	Environmental levels of Zn do not protect embryos from Cu toxicity in three species of amphibians	Investigar el efecto del zinc sobre la toxicidad del cobre en embriones de anfibios en tres especies	<i>Lithobates sphencephalus</i> <i>Anaxyrus terrestris</i> <i>Gastrophryne carolinensis</i>	Embrional	Cu y Zn	Disrupción del desarrollo embrionario (Subletal)
56	Ya et al. (2021)	China	Cadmium induced skeletal underdevelopment, liver cell apoptosis and hepatic energy metabolism disorder in <i>Bufo gargarizans</i> larvae by disrupting thyroid hormone signaling	Examinar los efectos tóxicos crónicos del Cd sobre el crecimiento esquelético, la muerte de las células hepáticas y el metabolismo energético hepático de larvas de anfibios mediante el uso de contaminación con Cd	<i>Bufo gargarizans</i>	Larvaria	Cd	Apoptosis de las células hepáticas y trastorno del metabolismo energético hepático (Subletal)

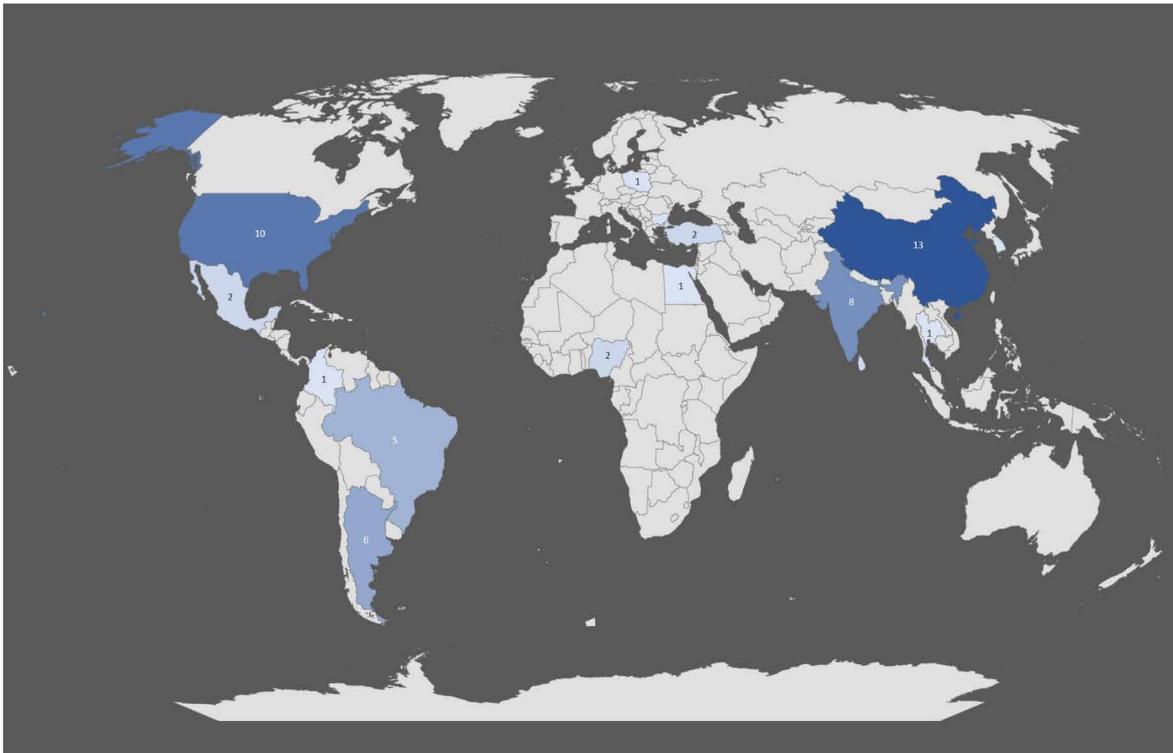
### Distribución geográfica de los artículos según el país de publicación

Es de suma importancia destacar la significativa contribución de distintos países en las investigaciones relacionadas con los efectos tóxicos, tanto agudos como crónicos, de metales pesados en anuros. China, al ser uno de los países más poblados y con mayor biodiversidad del mundo, encabeza la lista de artículos

con un total de 13 publicaciones, seguida de cerca por Estados Unidos e India, con 10 y ocho artículos respectivamente (Figura 2). La diversidad de naciones involucradas resalta la importancia global de comprender los efectos de los metales pesados en anuros y su impacto en la biodiversidad, así como mostrar el efecto que los metales pesados puedan tener sobre diferentes especies de anuros.

### Figura 2

*Distribución geográfica de los artículos sobre los efectos tóxicos de metales pesados en anuros según el país de publicación*



La Figura 2 muestra los artículos por país revisados en el presente trabajo de investigación.

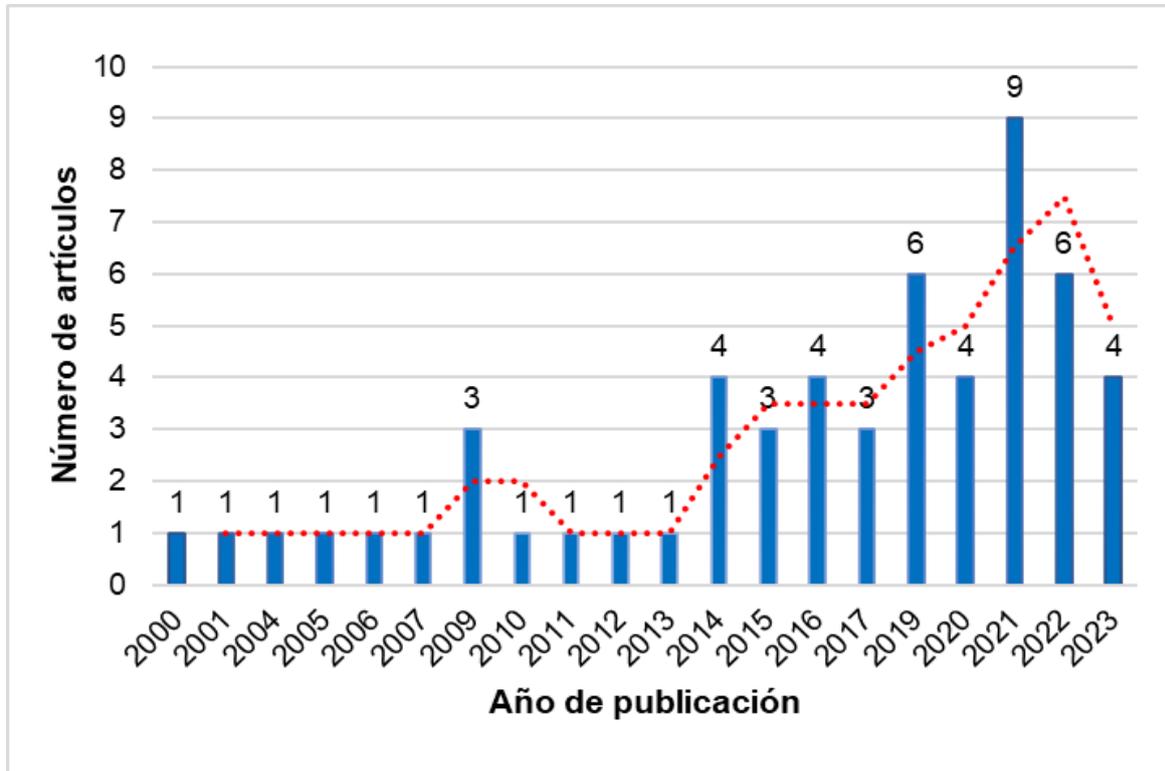
### Distribución de artículos revisados en 11 bases de datos según su año de publicación 1993 -2023

Tras la revisión de los artículos científicos, a pesar de que el rango temporal

abarca desde 1993 hasta 2023, el artículo más antiguo encontrado sobre los efectos tóxicos de metales pesados en anuros data del año 2000 (Figura 3). Además, se observa un potencial crecimiento en la cantidad de artículos sobre este tema a partir del año 2014.

### Figura 3

*Evolución de la cantidad de artículos sobre los efectos tóxicos de metales pesados en anuros según el año de publicación*



La figura muestra la cantidad de artículos obtenidos por año sobre los efectos tóxicos de metales pesados en anuros, asimismo, podemos observar que el año 2021 fue en el que se obtuvo la mayor cantidad de publicaciones.

### **Especies de anuros identificados en la revisión**

De la revisión de 56 artículos seleccionados se identificaron 51 especies

de anuros en total, dentro del cual a nivel continental se sitúan 26 especies en América, 16 en Asia, seis en Europa y tres en África. De acuerdo con (Tabla 3) el país con más especies evaluadas en estudios es Estados Unidos con nueve, India y Brasil cada uno con siete, Argentina y China cada uno con seis, México y Polonia cada uno con tres, Nigeria y Turquía cada uno dos y Bulgaria, Colombia, Corea, Egipto, Sri Lanka y Tailandia con uno cada uno.

**Tabla 3**

*Principales países que hicieron estudios sobre los efectos tóxicos de metales pesados en anuros según cantidad de especies estudiadas.*

País	Especies	Cantidad de especies	Autores
Estados Unidos	<i>Anaxyrus terrestris</i> , <i>Gastrophryne carolinensis</i> , <i>Lithobates chiricahuensis</i> , <i>Rana ridibunda</i> , <i>Lithobates sphenoccephalus</i> , <i>Lithobates pipiens</i> , <i>Lithobates clamitans</i> , <i>Pseudacris maculata</i>	9	Flynn et al. (2019), Flynn et al. (2015), Calfee & Little (2017), Vogiatzis & Loumbourdis (2001), Weir et al. (2016), Gross et al. (2009), Chen et al. (2007), Karasov et al. (2005), y Smalling et al. (2019)
Brasil	<i>Leptodactylus macrosternum</i> , <i>Leptodactylus latrans</i> , <i>Lithobates catesbeianus</i> , <i>Pelophylax perezi</i> , <i>Rhinella diptycha</i> , <i>Scinax ruber</i> y <i>Rhinella granulosa</i>	7	da Rocha Braga et al. (2022), Araújo et al. (2014), Vasconcelos-Teixeira et al. (2022), Giroto et al. (2020) y Franco-De-Sá & Val (2014)
India	<i>Fejervarya limnocharis</i> , <i>Euphlyctis cyanophlyctis</i> , <i>Euphlyctis hexadactylus</i> , <i>Polypedates maculatus</i> , <i>Clinotarsus alticola</i> , <i>Leptobrachium smithi</i> y <i>Pelophylax ridibundus</i>	7	Patar et al. (2021), Samanta et al. (2020), Jayawardena et al. (2021), Ojha et al. (2021), Singh et al., (2016), Jayawardena et al. (2017), Sheriff & Arif (2021) y Kumar et al. (2019)
Argentina	<i>Rhinella arenarum</i> , <i>Rhinella fernandezae</i> , <i>Hypsiboas pulchellus</i> , <i>Hymenolepis nana</i> , <i>Scinax squalirostris</i> y <i>Bufo arenarum</i>	6	Lajmanovich et al. (2019), Peluso et al. (2020), Natale et al. (2006), Natale et al. (2000), Peluso et al. (2022) y Fridman et al. (2004)
China	<i>Rana zhenhaiensis</i> , <i>Bufo gargarizans</i> , <i>Pelophylax nigromaculatus</i> , <i>Rhacophorus omeimontis</i> , <i>Strauch Bufo raddei</i> y <i>Rana chensinensis</i>	6	Teng et al. (2022), Zhu et al. (2023), Xia et al. (2012), Lu et al. (2021), Duan et al. (2021), Lv et al. (2022), Su et al. (2023), Zhang et al. (2022), Zhang et al. (2023), Huang et al. (2017), Wang & Jia (2009), Huang & Ma (2019) y Ya et al. (2021)
México	<i>Xenopus laevis</i> , <i>Lithobates berlandieri</i> y <i>Lithobates catesbeianus</i>	3	García et al. (2023) y Gastelum et al. (2019)
Polonia	<i>Pelophylax ridibundus</i> , <i>Xenopus laevis</i> y <i>Xenopus tropicalis</i>	3	Kaczor-Kamińska et al. (2020)
Nigeria	<i>Pelophylax esculentus</i> y <i>Hoplobatrachus occipitalis</i>	2	Shaapera et al. (2013) y Ezemonye & Enuneku, (2011)
Turquía	<i>Pelophylax ridibundus</i> y <i>Pseudepidalea variabilis</i>	2	ŞİŞMAN et al. (2015) y Gürkan et al. (2014)
Bulgaria	<i>Pelophylax ridibundus</i>	1	Mitkovska et al. (2021)
Colombia	<i>Dendropsophus bogerti</i>	1	Muñoz-Escobar & Palacio-Baena (2010)
Corea	<i>Bombina orientalis</i>	1	Park et al. (2014)
Egipto	<i>Sceloporus regularis</i>	1	Khattab et al. (2021)
Sri Lanka	<i>Euphlyctis hexadactylus</i>	1	Priyadarshani et al. (2015) y Jayawardena et al. (2016)
Tailandia	<i>Fejervarya limnocharis</i>	1	Othman et al. (2009)

Los datos fueron extraídos de los 56 artículos de investigación revisados.

Al analizar la Tabla 3, se evidencia que *Pelophylax ridibundus* es la especie más

recurrente en estudios realizados en diversos países, incluyendo a Polonia, Bulgaria, Turquía y Nigeria.

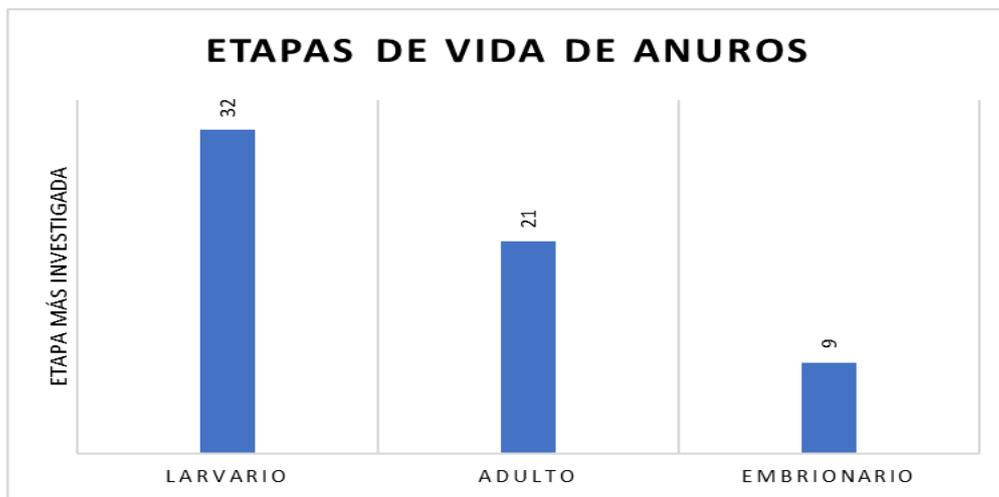
### Etapas estudiadas en las publicaciones

Dentro de los 56 artículos seleccionados

se abordan tres etapas del estadio de vida de las especies de anuro: larvario, adulto y embrionario, estudiadas en 32, 21 y nueve artículos, respectivamente. Es importante señalar que en algunos artículos revisados se trabajaron al mismo tiempo entre dos o tres etapas máximas (Figura 4).

### Figura 4

*Etapas de vida de los anuros estudiados en las publicaciones sobre los efectos tóxicos de metales pesados en anuros revisados*



En la Figura 4 se observa que la etapa larvaria de los anuros es la más frecuentemente estudiada en relación con los efectos tóxicos de metales pesados, con un total de 32 artículos, esto puede estar asociada, a que, en esta etapa, tienden a ser más móviles y se desarrollan en ambientes acuáticos, lo que los expone más directamente a contaminantes presentes en el agua, lo que aumenta la posibilidad de absorción de metales pesados a través de la piel y las branquias. Además, se destaca una proporción menor de estudios enfocados en la etapa embrionaria de los anuros, el cual puede deberse a que en la etapa embrionaria, los huevos suelen estar protegidos por una cubierta gelatinosa o por la madre, lo que puede reducir la exposición directa a los contaminantes (Figura 4).

### Distribución de metales analizados en la publicación de artículos

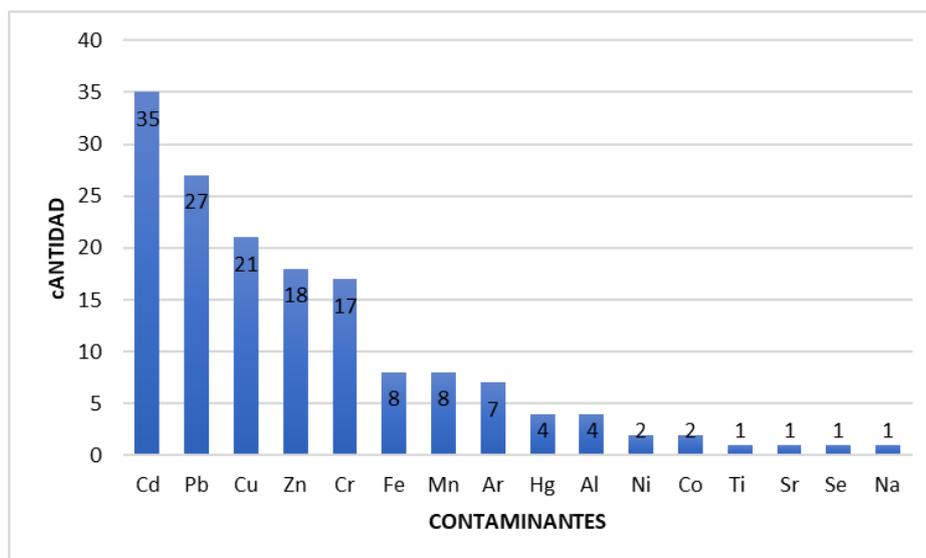
Al comparar los artículos seleccionados con las palabras clave determinadas, se observa un mayor enfoque en el estudio del contaminante Cadmio (Cd), presente en 35 artículos, seguido por el contaminante Plomo (Pb) en 27 artículos, y el contaminante Cobre (Cu) en 21 artículos. Además, se identifican otros contaminantes en proporciones menores, como Zinc (Zn) y Cromo (Cr), ambos presentes en 18 y 17 artículos respectivamente. También se detectaron otros contaminantes menos estudiados por los investigadores (Figura 5). Es preciso detallar que en los artículos revisados algunos investigadores trabajaron desde un metal pesado hasta un máximo de

10 contaminantes. Es relevante señalar que, en el análisis de la distribución de estos contaminantes hacia los anuros, se encuentran en aguas continentales como ríos, lagos, estanques naturales y

artificiales. Por otro lado, es importante destacar que los contaminantes pueden llegar a alterar el sistema inmunológico de los anuros y afectar órganos como el hígado, las branquias y los riñones.

### Figura 5

*Contaminantes analizados en los estudios revisados sobre los efectos tóxicos de metales pesados en anuros durante diversas etapas de su ciclo de vida*



Los metales más estudiados se pueden observar en la parte izquierda de la Figura 5, disminuyendo de manera secuencial hasta los menos estudiados por los autores.

Los metales pesados presentes en los anfibios, en su mayoría, se atribuyen a la industrialización, dado que los cuerpos de agua cercanos a estas zonas, según los estudios, reflejan su presencia. No obstante, es importante señalar que también se llevaron a cabo análisis en laboratorio, donde los anfibios fueron adquiridos y expuestos intencionalmente al agua del acuario y a los metales. De acuerdo con Kaczor et al. (2020), los elementos químicos de metales pesados son los principales agentes contaminantes en el entorno, ejerciendo tensiones significativas en los seres vivos. Esto se debe a que el plomo, mercurio y cadmio,

junto con sus compuestos, no son propensos a la degradación natural. La acumulación progresiva de estos metales perjudiciales en suelos y vegetación plantea un peligro evidente tanto para la fauna como para la salud humana. Según la revisión, la mayoría de las investigaciones se centraron en el cadmio. Esto se debe a que el cadmio se encuentra naturalmente en el entorno, aunque no es esencial para el desarrollo de los organismos. Su aumento en la naturaleza puede ser resultado de procesos naturales, como la descomposición de rocas por erosión y precipitaciones, o de actividades humanas (Gürkan et al., 2014).

### Efectos letales y subletales

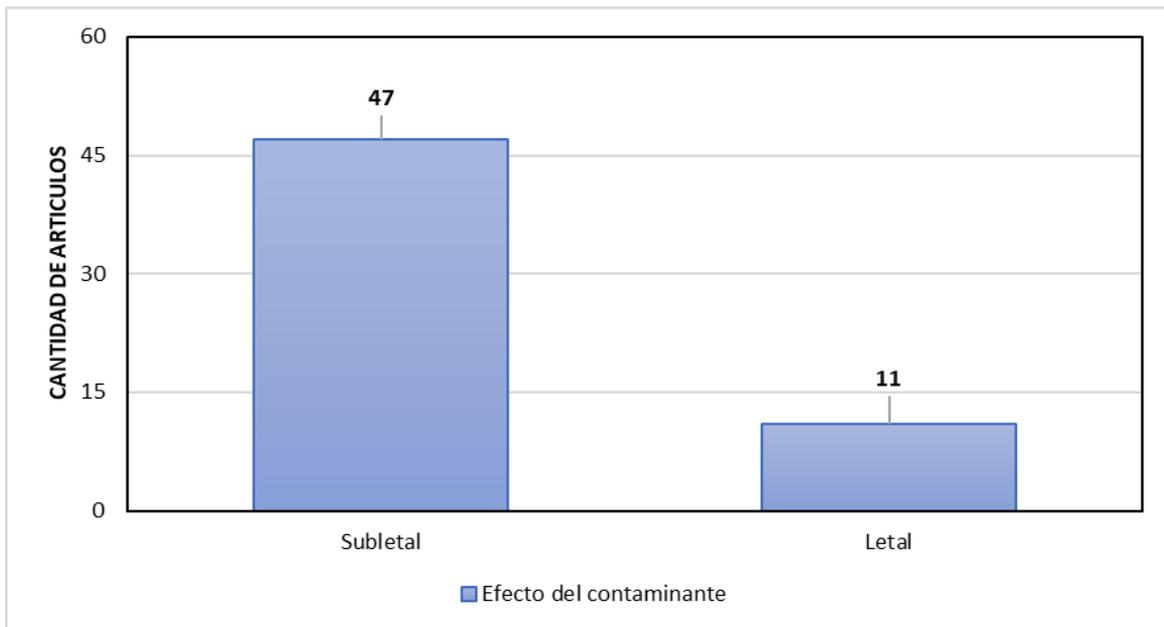
Tras examinar los 56 artículos, se observa que la mayoría de los estudios se

centran en investigar los efectos subletales de los metales pesados en las diversas etapas de los anuros, sumando un total de 47 artículos (Figura 6). No obstante,

es importante señalar que dos artículos abordan tanto los efectos letales como los subletales.

### Figura 6

Artículos revisados según el efecto letal o subletal de los efectos tóxicos de metales pesados en los anuros.



Los efectos de los metales pesados en los anfibios pueden manifestarse de manera letal o subletal, dependiendo de la concentración y de la resistencia inherente a estos elementos por parte de los anfibios. Por ejemplo, según Gürkan et al. (2014), el cadmio induce cambios en la estructura celular de órganos como el hígado, riñón, branquias, bazo y médula ósea, especialmente en el hígado, afectando su funcionamiento y generando ciertas actividades enzimáticas, lo que se manifiesta en lesiones celulares y necrosis hepática. La exposición al cadmio también puede afectar la condición corporal y la metamorfosis, como demostró Camacho et al. (2018), donde la alta contaminación por cadmio llevó a una mayor mortalidad y un retraso en la metamorfosis en anuros como *Bufo americanus* y *Rana sphenoccephala*, con

alteraciones en el funcionamiento de las glándulas suprarrenales que pueden dañar el material genético del ADN.

En cuanto al cobre (Cu), concentraciones superiores a 0,5 mg/L resultan en una mortalidad del 100%, además de afectar el crecimiento, como evidenciaron estudios en renacuajos de rana leopardo chiricahua (*Lithobates chiricahuensis*) y *R. omeimontis* (Vogiatzis et al. 2001; Yan et al., 2022).

El mercurio (Hg) se acumula en los riñones y el hígado, según investigaciones de Kaczor et al. (2020). Asimismo, altas concentraciones de zinc (Zn) pueden ocasionar mortalidad, según Patar et al. (2020). En su estudio, los renacuajos de *F. limnocharis* expuestos a cantidades subletales de  $ZnCl_2$  experimentaron un

aumento en la tasa de mortalidad, variable según la concentración del compuesto y el periodo de exposición.

Palas et al. (2020) examinaron la toxicidad aguda de una combinación de As, Cr y Al en los renacuajos de la rana india, *E. cyanophlyctis*. Los resultados de la toxicidad aguda (CL<sub>50</sub>) indicaron que el As fue más perjudicial que el Cr y la mezcla de Al para estos renacuajos, provocando mortalidad incluso con una exposición breve. Dada la permeabilidad de la piel y la ausencia de cáscara en los huevos de los anfibios, estos organismos están directamente expuestos a los contaminantes ambientales presentes en sus entornos.

### Conclusiones

A partir de la revisión de los artículos seleccionados, se logró describir los efectos de la exposición a metales pesados en anuros, abordando tanto los efectos agudos como los crónicos en diversos órganos de estas especies. Este análisis consideró los cambios de susceptibilidad en distintas fases de desarrollo, incluyendo las etapas embrionaria, larvaria y adulta. Los resultados indican que la etapa larvaria fue la más frecuentemente evaluada, siendo mencionada en el 51,61% de los artículos analizados. Además, se observó que la mayoría de los estudios se centró en los efectos subletales en los anuros, siendo evaluado este aspecto en el 81,03% de los artículos seleccionados. Los metales pesados, como el cobre (Cu), mercurio (Hg) y zinc (Zn),

demonstraron tener efectos tóxicos en los anuros, incluyendo consecuencias como mortalidad, deterioro del crecimiento y acumulación en órganos, siendo abordados en aproximadamente el 27% de los artículos revisados. La acumulación de metales pesados en los tejidos de los anuros puede desencadenar procesos asociados al cáncer, mutaciones genéticas y malformaciones congénitas. Dada su alta susceptibilidad, especialmente los anfibios, son particularmente vulnerables a los efectos adversos de la contaminación por metales pesados.

El interés en los efectos tóxicos de los metales pesados en los anuros ha experimentado un aumento desde el 2014, reflejando un creciente interés en esta área de investigación. Se han examinado diversas especies de anuros procedentes de distintas regiones, como América, Asia, Europa y África con el objetivo de evaluar los impactos de la contaminación por metales pesados. En este contexto, se destacó que el hígado es el órgano más afectado en los anuros expuestos a metales pesados, especialmente el cadmio. Por lo tanto, se destaca la utilidad de los anuros como indicadores biológicos iniciales para la detección de la contaminación por metales en agua dulce. Dada su alta susceptibilidad, los anfibios, en particular, son particularmente vulnerables a los efectos adversos derivados de la contaminación por metales pesados, lo que subraya la importancia de utilizar signos morfológicos en la monitorización de estos organismos en entornos acuáticos.

## Referencias

- Araújo, C. V. M., Shinn, C., Moreira-Santos, M., Lopes, I., Espíndola, E. L. G., & Ribeiro, R. (2014). Copper-driven avoidance and mortality in temperate and tropical tadpoles. *Aquatic Toxicology*, *146*, 70–75. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2013.10.030>
- Calfee, R. D., & Little, E. E. (2017). Toxicity of Cadmium, Copper, and Zinc to the Threatened Chiricahua Leopard Frog (*Lithobates [Rana] chiricahuensis*). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, *99*, 679–683. <https://doi.org/10.1007/s00128-017-2188-1>
- Chen, T.-H., Gross, J. A., & Karasov, W. H. (2007). Adverse effects of chronic copper exposure in larval northern leopard frogs (*Rana pipiens*). *Environmental Toxicology and Chemistry*, *26*, 1470–1475. <https://doi.org/https://doi.org/10.1897/06-487R.1>
- da Rocha Braga, R., de Menezes Gondim, P., Pereira, R. M., Batista, B. L., & Matushima, E. R. (2022). *Leptodactylus macrosternum* (Anura: Leptodactylidae) as a bioindicator of potentially toxic chemical elements in irrigated perimeters in northeastern Brazil. *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, *4*, 124–131. <https://doi.org/10.1016/j.enceco.2022.02.003>
- Deknock, A., Pasmans, F., Van Leeuwenberg, R., Van Praet, S., De Troyer, N., Goessens, T., Lammens, L., Bruneel, S., Lens, L., Martel, A., Croubels, S., & Goethals, P. (2022). Impact of heavy metal exposure on biological control of a deadly amphibian pathogen by zooplankton. *Science of The Total Environment*, *823*, 153800. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153800>
- Duan, R., Huang, M., Yi, M., Zhao, Q., Wan, Y., & Liu, Y. (2021). Effect of Lead Exposure on Jumping Ability in *Pelophylax nigromaculata*. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, *106*, 652–657. <https://doi.org/10.1007/s00128-021-03150-6>
- Ezemonye, L. I. N., & Enuneku, A. A. (2011). Biochemical alterations in *Hoplobatrachus occipitalis* exposed to sub lethal concentrations of cadmium. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, *11*(3), 485–489. [https://doi.org/10.4194/1303-2712-v11\\_3\\_21](https://doi.org/10.4194/1303-2712-v11_3_21)
- Flynn, R. W., Love, C. N., Coleman, A., & Lance, S. L. (2019). Variation in metal tolerance associated with population exposure history in Southern toads (*Anaxyrus terrestris*). *Aquatic Toxicology*, *207*, 163–169. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2018.12.009>
- Flynn, R. W., Scott, D. E., Kuhne, W., Soteropoulos, D., & Lance, S. L. (2015). Lethal and sublethal measures of chronic copper toxicity in the eastern narrowmouth toad, *Gastrophryne carolinensis*.

- Environmental Toxicology and Chemistry*, 34(3), 575–582. <https://doi.org/10.1002/etc.2835>
- Franco-De-Sá, J. F. O., & Val, A. L. (2014). Copper toxicity for *Scinax ruber* and *Rhinella granulosa* (Amphibia: Anura) of the Amazon: Potential of Biotic Ligand Model to predict toxicity in urban streams. *Acta Amazónica*, 44(4), 491–498. <https://doi.org/10.1590/1809-4392201400383>
- Fridman, O., Corró, L., & Herkovits, J. (2004). Estradiol uptake, toxicity, metabolism, and adverse effects on cadmium-treated amphibian embryos. *Environmental Health Perspectives*, 112(8), 862–866. <https://doi.org/10.1289/ehp.6647>
- García, M., Puente, C., García, M., Czaja, A., Aguirre, J., Torres, C., & Aguillón, D. (2023). Efecto del plomo y del arsénico en condiciones de laboratorio sobre la rana africana de uñas (*Xenopus laevis*) y la rana leopardo (*Lithobates berlandieri*). *Revista de Toxicología*, 40, 35–39.
- Gastelum, A., Aquino, A., & Aldama, L. (2019). Efecto del cloruro de cadmio durante el desarrollo larvario de la rana toro *Lithobates catesbeianus* (Shaw, 1802). *Acta Universitaria*, 29. <https://doi.org/https://doi.org/10.15174/au.2019.1902>
- Giroto, L., Espíndola, E. L. G., Gebara, R. C., & Freitas, J. S. (2020). Acute and chronic effects on tadpoles (*Lithobates catesbeianus*) exposed to mining tailings from the Dam Rupture in Mariana, MG (Brazil). *Water, Air, and Soil Pollution*, 231, 325. <https://doi.org/10.1007/s11270-020-04691-y>
- Goessens, T., De Baere, S., Deknock, A., De Troyer, N., Van Leeuwenberg, R., Martel, A., Pasmans, F., Goethals, P., Lens, L., Spanoghe, P., Vanhaecke, L., & Croubels, S. (2022). Agricultural contaminants in amphibian breeding ponds: occurrence, risk and correlation with agricultural land use. *Science of The Total Environment*, 806, 150661. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150661>
- Gouveia, D., Almunia, C., Cogne, Y., Pible, O., Esposti, D. D., Salvador, A., Cristóbal, S., Sheehan, D., Chaumot, A., Geffard, O., & Armengaud, J. (2019). Ecotoxicoproteomics: A decade of progress in our understanding of anthropogenic impact on the environment. *Journal of Proteomics*, 198, 66-77. <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2018.12.001>
- Gross, J. A., Johnson, P. T., Prah, L. K., & Karasov, W. H. (2009). Critical period of sensitivity for effects of cadmium on frog growth and development. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 28, 1227–1232. <https://doi.org/https://doi.org/10.1890/15-1082>
- Gürkan, M., Çetin, A., & Hayretdağ, S. (2014). Acute toxic effects of cadmium in larvae of the green toad, *Pseudepidalea variabilis* (Pallas, 1769) (Amphibia: Anura). *Arhiv Za Higijenu Rada i Toksikologiju*, 65, 301–309. <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2018.12.001>

doi.org/10.2478/10004-1254-65-2014-2522

- Huang, M., & Ma, J. (2019). The effects of lead on ATPase activity in liver of *Pelophylax nigromaculata*. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 252, 042065. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/252/4/042065>
- Huang, M.-Y., Men, Q.-L., Meng, X.-G., Fang, X.-X., & Tao, M.-Z. (2017). Chronic Toxic Effect of Lead on Male Testis Tissue in Adult *Pelophylax nigromaculata*. *Nature Environment and Pollution Technology*, 16, 213–218. [www.neptjournal.com](http://www.neptjournal.com)
- Jayawardena, U. A., Angunawela, P., Wickramasinghe, D. D., Ratnasooriya, W. D., & Udagama, P. V. (2017). Heavy metal-induced toxicity in the Indian green frog: Biochemical and histopathological alterations. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 36, 2855–2867. <https://doi.org/10.1002/etc.3848>
- Jayawardena, U. A., Angunawela, P., Wickramasinghe, D., Ratnasooriya, W. D., & Udagama, P. (2017). Heavy metal-induced toxicity in the Indian Green Frog: biochemical and histopathological alterations. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 36, 2855-2867. <https://doi.org/10.1002/etc.3848>
- Jayawardena, U. A., Ratnasooriya, W. D., Wickramasinghe, D. D., & Udagama, P. V. (2016). Heavy metal mediated innate immune responses of the Indian green frog, *Euphlyctis hexadactylus* (Anura: Ranidae): Cellular profiles and associated Th1 skewed cytokine response. *Science of the Total Environment*, 566–567, 1194–1204. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.171>
- Jayawardena, U. A., Wickramasinghe, D., & Udagama, P. (2021). Cytogenotoxicity evaluation of a heavy metal mixture, detected in a polluted urban wetland: micronucleus and comet induction in the Indian green frog (*Euphlyctis hexadactylus*) erythrocytes and the *Allium Cepa* bioassay. *Chemosphere*, 277, 130278. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130278>
- Kaczor-Kamińska, M., Sura, P., & Wróbel, M. (2020). Multidirectional changes in parameters related to sulfur metabolism in frog tissues exposed to heavy metal-related stress. *Biomolecules*, 10, 574. <https://doi.org/10.3390/biom10040574>
- Karasov, W. H., Jung, R. E., Langenberg, S. Vanden, & Bergeson, T. L. E. (2005). Field exposure of frog embryos and tadpoles along a pollution gradient in the fox river and green bay ecosystem in Wisconsin, USA. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 24, 942–953. <https://doi.org/10.1897/04-213R.1>
- Khattab, N. M. A., Saber, S. A., El-Salkh, B. A., & Said, R. E. M. (2021). Genotoxicity and limbs asymmetry in the Egyptian toad (*Sclerophrys*

- regularis*) as biomarkers for heavy metals toxicity. *Egyptian Journal of Aquatic Biology & Fisheries*, 25, 705–717. [www.ejabf.journals.ekb.eg](http://www.ejabf.journals.ekb.eg)
- Klingbeil, B. T., La Sorte, F. A., Lepczyk, C. A., Fink, D., & Flather, C. H. (2019). Geographical associations with anthropogenic noise pollution for North American breeding birds. *Global Ecology and Biogeography*, 29, 148–158. <https://doi.org/10.1111/geb.13016>
- Kumar, A., Srivastava, S., Kumar, S., Faggio, C., Sekiguchi, T., & Suzuki, N. (2019). Response of Ultimobranchial and Parathyroid Glands of the Indian Skipper Frog, *Euphlyctis cyanophlyctis* to cadmium toxicity. *Iranian Journal of Toxicology*, 13, 39–44. <http://www.ijt.ir>
- Lajmanovich, R. C., Peltzer, P. M., Attademo, A. M., Martinuzzi, C. S., Simoniello, M. F., Colussi, C. L., Cuzziol Boccioni, A. P., & Sigrist, M. (2019). First evaluation of novel potential synergistic effects of glyphosate and arsenic mixture on *Rhinella arenarum* (Anura: Bufonidae) tadpoles. *Heliyon*, 5, e02601. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02601>
- Lu, H., Hu, Y., Kang, C., Meng, Q., & Lin, Z. (2021). Cadmium-induced toxicity to amphibian tadpoles might be exacerbated by alkaline not acidic pH level. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 218, 112288. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112288>
- Lv, Y., Zhang, Q., De, Chang, L. M., Yang, D. L., Riaz, L., Li, C., Chen, X. H., Jiang, J. P., & Zhu, W. (2022). Multi-omics provide mechanistic insight into the Pb-induced changes in tadpole fitness-related traits and environmental water quality. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 247, 114207. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.114207>
- Mitkovska, V. I., Dimitrov, H. A., & Chassovnikarova, T. G. (2021). Chronic exposure to heavy metals induces nuclear abnormalities and micronuclei in erythrocytes of the marsh frog (*Pelophylax ridibundus* Pallas, 1771). *Ecología Balkánica*, 4, 97–108. <http://eb.bio.uni-plovdiv.bg>
- Muñoz-Escobar, E. M., & Palacio-Baena, J. A. (2010). Efectos del cloruro de mercurio (HgCl<sub>2</sub>) sobre la sobrevivencia y crecimiento de renacuajos de *Dendrosophus bogerti*. *Actualidades Biológicas*, 32, 189–197.
- Natale, G. S., Basso, N. G., & Ronco, A. E. (2000). Effect of Cr VI on early life stages of three species of hylid frogs (Amphibia, Anura) from South America. *Environmental Toxicology*, 15, 509–512. [https://doi.org/10.1002/1522-7278\(2000\)15:5](https://doi.org/10.1002/1522-7278(2000)15:5)
- Natale, G., Ammassari, L., Basso, N., & Ronco, A. (2006). Acute and chronic effects of Cr(VI) on *Hypsiboas pulchellus* embryos and tadpoles. *Diseases of Aquatic Organisms*, 72, 261–267. <https://doi.org/10.3354/dao072261>

- Ojha, S., Roy, A., & Mohapatra, A. Kr. (2021). Environmentally relevant concentrations of Cadmium impair morpho-physiological development and metamorphosis in *Polypedates maculatus* (Anura, Rhacophoridae) tadpoles. *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 3, 133–141. <https://doi.org/10.1016/j.enceco.2021.03.002>
- Othman, M. S., Khonsue, W., Kitana, J., Thirakhupt, K., Robson, M. G., & Kitana, N. (2009). Cadmium accumulation in two populations of rice frogs (*Fejervarya limnocharis*) naturally exposed to different environmental cadmium levels. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 83, 703–707. <https://doi.org/10.1007/s00128-009-9845-y>
- Park, C. J., Ahn, H. M., Cho, S. C., Kim, T. H., Oh, J. M., Ahn, H. K., Chun, S. H., & Gye, M. C. (2014). Developmental toxicity of treated municipal wastewater effluent on *Bombina orientalis* (Amphibia: Anura) embryos. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 33, 954–961. <https://doi.org/10.1002/etc.2519>
- Patar, A., Das, I., Giri, S., & Giri, A. (2021). Zinc contamination is an underestimated risk to amphibians: toxicity evaluation in tadpoles of *Fejervarya limnocharis*. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 29, 489–498. <https://doi.org/10.3846/jeelm.2021.15814>
- Peluso, J., Aronzon, C. M., Acquaroni, M., & Pérez Coll, C. S. (2020). Biomarkers of genotoxicity and health status of *Rhinella fernandezae* populations from the lower Paraná River Basin, Argentina. *Ecological Indicators*, 117, 106588. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106588>
- Peluso, J., Aronzon, C. M., Martínez Chehda, A., Cuzziol Boccioni, A. P., Peltzer, P. M., De Geronimo, E., Aparicio, V., Gonzalez, F., Valenzuela, L., & Lajmanovich, R. C. (2022). Environmental quality and ecotoxicity of sediments from the lower Salado River basin (Santa Fe, Argentina) on amphibian larvae. *Aquatic Toxicology*, 253, 106342. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2022.106342>
- Priyadarshani, S., Madhushani, W. A. N., Jayawardena, U. A., Wickramasinghe, D. D., & Udagama, P. V. (2015). Heavy metal mediated immunomodulation of the Indian green frog, *Euphlyctis hexadactylus* (Anura: Ranidae) in urban wetlands. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 116, 40–49. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.02.037>
- Samanta, P., Pal, S., Mukherjee, A. K., & Ghosh, A. R. (2020). Acute toxicity assessment of arsenic, chromium and almix 20WP in *Euphlyctis cyanophlyctis* tadpoles. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 191, 110209. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110209>
- Schmeller, D. S., Loyau, A., Bao, K., Brack, W., Chatzinotas, A., De Vleeschouwer, F., Friesen, J.,

- Gandois, L., Hansson, S. V., Haver, M., Roux, G. L., Shen, J., Teisserenc, R., & Vredenburg, V. T. (2018). People, pollution and Pathogens – Global change impacts in mountain freshwater ecosystems. *Science of The Total Environment*, 622-623, 756-763. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.006>
- Shaapera, U., Nnamonu, L. A., & Eneji, I. S. (2013). Assessment of heavy metals in rana esculenta organs from river Guma, Benue State Nigeria. *American Journal of Analytical Chemistry*, 4, 496–500. <https://doi.org/10.4236/ajac.2013.49063>
- Sheriff, H. A., & Arif, S. M. (2021). Effect of some heavy metals synergism on the longevity and bioaccumulation inside the muscles of frog ridibunda species under the laboratory conditions. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 779, 012124. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/779/1/012124>
- Singh, P., Dey, M., & Narayana, S. (2016). A Study on Bioaccumulation of Heavy Metals in two Anuran Tadpoles: *Clinotarsus alticola* and *Leptobrachium smithi* from Rosekandy Tea Estate, Cachar, Assam. *Current World Environment*, 11, 325–332. <https://doi.org/10.12944/cwe.11.1.39>
- Şişman, T., Aşkin, H., Türkez, H., Özkan, H., İncekara, Ü., & Çolak, S. (2015). Karasu Nehri (Erzurum) Havzasında Yaşayan *Pelophylax ridibundus* (Anura: Ranidae) Kurbağalarında Kirliliğin Neden Olduğu Eritrositik Çekirdek Anormalliklerinin Tespiti. *Journal of Limnology and Freshwater Fisheries Research*, 1, 75–75. <https://doi.org/10.17216/limnofish-5000115825>
- Smalling, K. L., Anderson, C. W., Honeycutt, R. K., Cozzarelli, I. M., Preston, T., & Hossack, B. R. (2019). Associations between environmental pollutants and larval amphibians in wetlands contaminated by energy-related brines are potentially mediated by feeding traits. *Environmental Pollution*, 248, 260–268. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.02.033>
- Su, R., Guo, R., Liu, Z., Yuan, Y., & Zhang, W. (2023). Heavy metal pollution alters reproductive performance and mate choice in an anuran, *Strauchbufo raddei*. *Marine Pollution Bulletin*, 196, 115675. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115675>
- Teng, Y., Ren, C., Chen, X., Shen, Y., Zhang, Z., Chai, L., & Wang, H. (2022). Effects of cadmium exposure on thyroid gland and endochondral ossification in *Rana zhenhaiensis*. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 92, 103860. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2022.103860>
- Vasconcelos-Teixeira, R., Titon, S. C. M., Titon, B., Pompêo, M. L. M., Gomes, F. R., & Assis, V. R. (2022). Stress response, immunity, and organ mass in toads (*Rhinella diptycha*) living in metal-contaminated areas. *Biological Trace*

- Element Research*, 200, 800–811. <https://doi.org/10.1007/s12011-021-02699-x>
- Vogiatzis, A. K., & Loumbourdis, N. S. (2001). Exposure of *Rana ridibunda* to lead II. Impact of lead on various parameters of liver metabolism of the frog *Rana ridibunda*. *Journal of Applied Toxicology*, 21, 269–274. <https://doi.org/10.1002/jat.753>
- Wang, M. Z., & Jia, X. Y. (2009). Low levels of lead exposure induce oxidative damage and DNA damage in the testes of the frog *Rana nigromaculata*. *Ecotoxicology*, 18, 94–99. <https://doi.org/10.1007/s10646-008-0262-5>
- Weir, S., Flynn, R., Scott, D., Yu, S., & Lance, S. (2016). Environmental levels of Zn do not protect embryos from Cu toxicity in three species of amphibians. *Environmental Pollution*, 214, 161–168. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.04.005>
- Weir, S., Scott, D., Salice, S., & Lance, S. (2016). Integrating copper toxicity and climate change to understand extinction risk to two species of pond-breeding anurans. *Ecological Applications*, 26, 1721–1732. <https://doi.org/https://doi.org/10.1890/15-1082>
- Xia, K., Zhao, H., Wu, M., & Wang, H. (2012). Chronic toxicity of copper on embryo development in Chinese toad, *Bufo gargarizans*. *Chemosphere*, 87, 1395–1402. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.02.047>
- Ya, J., Xu, Y., Wang, G., & Zhao, H. (2021). Cadmium induced skeletal underdevelopment, liver cell apoptosis and hepatic energy metabolism disorder in *Bufo gargarizans* larvae by disrupting thyroid hormone signaling. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 211. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.111957>
- Zhang, S., Chen, A., Deng, H., Jiang, L., Liu, X., & Chai, L. (2023). Intestinal response of *Rana chensinensis* larvae exposed to Cr and Pb, alone and in combination. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 255. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.114774>
- Zhang, W., Guo, R., Ai, S., Yang, Y., Ding, J., & Zhang, Y. (2018). Long-term heavy metal pollution varied female reproduction investment in free-living Anura, *Bufo raddei*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 159, 136–142. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.05.001>
- Zhang, W., Sun, H., Su, R., & Wang, S. (2022). Fat rather than health – Ecotoxic responses of *Bufo raddei* to environmental heavy metal stress during the non-breeding season. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 244. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.114040>
- Zhelev, Z. M., Arnaudova, D., Popgeorgiev, G., & Tsonev, S. (2020). In situ assessment of health status and heavy metal bioaccumulation of adult *Pelophylax ridibundus* (Anura: ranidae) individuals inhabiting polluted area in southern Bulgaria.

*Ecological Indicators*, 115, 106413.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106413>

Zhu, W., Lv, Y., Zhang, Q. De, Chang, L. M., Chen, Q. H., Wang, B., & Jiang, J. P. (2023). Cascading effects

of Pb on the environmental and symbiotic microbiota and tadpoles' physiology based on field data and laboratory validation. *Science of the Total Environment*, 862, 160817. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160817>



# ChatGPT como herramienta estratégica de aprendizaje de un curso de pregrado de desarrollo de aplicaciones multiplataforma orientado a la Web

## ChatGPT as a strategic learning tool of an undergraduate Web oriented multiform application development course

Recibido: mayo 06 de 2024 | Revisado: mayo 20 de 2024 | Aceptado: junio 12 de 2024

EIRIKU YAMAO<sup>1</sup>  
NORMA LEÓN LESCANO<sup>1</sup>  
YOSSEF ASDRUJAL HJAR MACEDO<sup>1</sup>  
FRED LUIS DUARTE JACOME<sup>1</sup>

### RESUMEN

En este trabajo se describe la experiencia de uso de ChatGPT como herramienta de apoyo en un curso de programación de pregrado para desarrollar aplicaciones multiplataforma orientadas a la web. El método de enseñanza-aprendizaje está adaptado para integrar la Inteligencia Artificial como asistente de instructor y alumnos. El estudio es cualitativo y descriptivo, con datos recolectados a partir de una entrevista semiestructurada con el instructor del curso y una encuesta a los estudiantes que se analizó para presentar la percepción de utilidad de ChatGPT en clase. Los resultados muestran que los estudiantes percibieron que ChatGPT puede acelerar el proceso de desarrollo para el FrontEnd (90%), BackEnd (66%), pruebas y depuración (83%). El instructor del curso enfatiza los aspectos positivos de usar ChatGPT como asistente, para mostrar información actualizada, orientación y recomendación, también hace reflexionar a los estudiantes sobre las soluciones dadas a la formación de sus habilidades de orden superior. Por último, se recomienda el uso de ChatGPT como herramienta de apoyo para estudiantes con conocimientos y fundamentos adecuados en programación.

**Palabras clave:** ChatGPT, Estrategias de aprendizaje, Educación en ciencias de la computación, Desarrollo de software

### ABSTRACT

This paper describes the experience of using ChatGPT as a support tool in an undergraduate programming course to develop web-oriented multiplatform applications. The teaching-learning method is adapted to integrate Artificial Intelligence as an assistant for instructor and students. The study is qualitative and descriptive, with data collected from semi structured interview with the course instructor and a survey for the students which was analyzed to present the perception of utility of ChatGPT in class. Results show that students perceived that ChatGPT can accelerate the development process for the FrontEnd (90%), BackEnd (66%), testing and debugging (83%). The course instructor emphasizes the positive aspects of using ChatGPT as an assistant, to show up-to-date information, guidance and recommendation; it also makes the students reflect on the solutions given training their higher-order skills. Finally, the use of ChatGPT as a support tool is recommended for students with proper knowledge and foundation in programming.

<sup>1</sup> Universidad de San Martín de Porres  
La Molina, Lima-Perú

Correo electrónico de contacto:  
eyamao@usmp.pe

**Keywords:** ChatGPT, Learning Strategies, Computer science education, Software development

© Los autores. Este artículo es publicado por la Revista Campus de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de San Martín de Porres. Este artículo se distribuye en los términos de la Licencia Creative Commons Atribución No-Comercial – Compartir-Igual 4.0 Internacional (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite el uso no comercial, distribución y reproducción en cualquier medio siempre que la obra original sea debidamente citada. Para uso comercial contactar a: [revistacampus@usmp.pe](mailto:revistacampus@usmp.pe).

<https://doi.org/10.24265/campus.2024.v29n37.02>

## Introducción

La enseñanza de las Ciencias de la Computación, más concretamente las metodologías de enseñanza/aprendizaje, están experimentando una transformación radical dados los avances en Inteligencia Artificial (IA) y procesamiento del lenguaje natural. En este contexto, el uso de ChatGPT (Chat Generative Pre-trained Transformer) se ha convertido en una herramienta revolucionaria para ayudar a los instructores y estudiantes en el aprendizaje y la comprensión de muchas materias, incluido el desarrollo de software y la programación (Denny et al., 2023; Okonkwo y Ade-Ibijola, 2022)

ChatGPT tiene la capacidad de generar código tomando como entrada una solicitud o un planteamiento de un problema. Todavía no puede reemplazar completamente a un desarrollador humano, pero puede ayudar a producir funciones genéricas, código repetitivo o para depurar (Borji, 2023). ChatGPT puede generar fragmentos de código basados en plantillas o ejemplos que ha visto, pero no es capaz de crear una lógica de software compleja que requiera principios de ingeniería de software y resolución de problemas complejos (Sadik et al., 2023).

La competencia de ChatGPT, si es capaz de generar el código correcto, depende de dos factores principales: el nivel de abstracción del lenguaje y la popularidad del lenguaje. El corpus más grande de código a partir del cual entrenar, proporciona un mejor rendimiento en lenguajes populares (Buscemi, 2023).

Otro uso popular de ChatGPT es como asistente de programación, asumiendo un

nivel adecuado de ingeniería rápida para interactuar correctamente y habilidades de desarrollo de software por parte del programador. Se puede utilizar para mejorar las habilidades de programación, aprender un nuevo lenguaje de programación, marco o herramientas, recopilar información, explicar código complejo, depuración y optimización de código, formato y creación de datos, pruebas, documentación y traducción de código (Azaria et al., 2023; Tian et al., 2023).

En la educación en Ciencias de la Computación, se puede utilizar en un curso de programación desde el punto de vista del estudiante como asistente en tiempo real para tareas y deberes, también puede ayudar a desglosar problemas complejos en partes más pequeñas, crear ejercicios, prácticas y cuestionarios sobre muchos temas, brindar orientación durante discusiones y debates, y ayudar a los estudiantes con discapacidades con texto a voz y voz a texto. Los instructores también pueden beneficiarse de ChatGPT para crear trabajos de clase, responder preguntas de los estudiantes, generar planes de lecciones personalizados para cada estudiante, facilitar la evaluación y la evaluación, generar preguntas o cuestionarios de dificultad variada sobre el mismo tema. Todo esto disponible en cualquier momento y en cualquier lugar (Geng et al., 2023; Rahman y Watanobe, 2023). El modelo GPT-4 del rendimiento de ChatGPT como ayuda didáctica en un curso introductorio de programación se acerca más a un tutor humano en muchos escenarios (Phung et al., 2023).

Estos generadores de programas de IA se desarrollaron como una herramienta para ayudar a los desarrolladores de

software a resolver tareas complejas, sin considerar los posibles impactos en la educación. Dada la novedad de ChatGPT, no existen políticas y directrices claras para su uso en la educación. Todavía existe cierta confusión con respecto a la validez de su uso, en cuanto a cuándo o cómo se puede usar o en qué casos se consideraría hacer trampa. El consenso de muchos autores es que ChatGPT llegó para quedarse, y será utilizado por los estudiantes, ya sea que el instructor lo apruebe o no (Denny et al., 2023; AK, 2023; Philbin, 2023; Rajabi et al., 2023; Shaufan, 2023). Prohibir su uso no es realista, por lo que los instructores deben brindar orientación sobre cómo usarlo de la manera correcta y reducir el uso indebido no supervisado, que puede tener un impacto negativo en el proceso de aprendizaje (Daun y Brings, 2023; Malik et al., 2023)

Este artículo presenta la experiencia de integración de ChatGPT en un curso de programación avanzada de pregrado para estudiantes de tercer año, redefiniendo la forma en que los estudiantes adquieren habilidades en el desarrollo de software para una aplicación multiplataforma basada en la web. Se presentan las acciones tomadas para incluir ChatGPT como herramienta de apoyo para el instructor y los estudiantes, junto con el método descriptivo basado en la revisión de la literatura, la entrevista abierta y una encuesta realizada para capturar la percepción de los estudiantes e instructores sobre la utilidad de ChatGPT en su curso.

El documento está estructurado de la siguiente manera: En primer lugar, se presenta el método, en segundo lugar, se describe el curso y los cambios para incluir ChatGPT, en tercer lugar, se presentan los resultados del estudio, en la

siguiente sección se presenta la discusión y, finalmente, las conclusiones de este estudio.

## Método

El método de estudio es descriptivo, observacional, sin intervención del investigador, la recolección de datos es prospectiva con datos primarios. La muestra de estudio se divide en dos grupos, instructores y estudiantes que participaron en Programación I, un curso de tercer año de un programa de cinco años en 2023, con un total de 29 estudiantes, 23 hombres y seis mujeres.

Se realizó una entrevista semiestructurada e individual con el instructor del curso, el director del programa y tres estudiantes del curso (nota alta, nota media y un tercero seleccionado al azar). La información recopilada durante la entrevista sirvió de base para crear un instrumento para medir la percepción de utilidad de ChatGPT como herramienta de apoyo durante el curso. La recolección de datos con la encuesta se realizó en setiembre de 2023.

## Descripción del curso

Programación I es un curso teórico-práctico de tercer año de un programa de cinco años en la Universidad de San Martín de Porres en Lima, Perú. Utiliza un sistema de evaluación mixto, con cuestionarios, casos prácticos de laboratorio y un proyecto de curso. El curso tiene como objetivo proporcionar a los estudiantes los conocimientos y habilidades necesarios para desarrollar una aplicación multiplataforma orientada a la web. Los cursos tomados por los estudiantes anteriormente incluyen

Introducción a la Programación, Algoritmos y Estructuras de Datos, Teoría y Diseño de Bases de Datos y Diseño Web.

Durante el semestre 2023-I, el curso incorporó el uso de ChatGPT (modelo GPT-4.0) como asistente (Ahmed y Sharo, 2023) para desarrollar código, funcionalidades básicas para Front-End

en JavaScript y Back-End en C# durante los cursos. También se utilizó como herramienta de apoyo a los métodos de enseñanza-aprendizaje utilizados en el curso, como se muestra en la Tabla 1. Durante la primera semana, se establecieron límites en cuanto a cómo y cuándo se acepta el uso de ChatGPT en el curso, Tabla 2

**Tabla 1**  
*Inclusión de ChatGPT en métodos de enseñanza*

Actividades en el método de enseñanza-aprendizaje	Participación de ChatGPT
El instructor asume el rol de experto.	Sin participación
El instructor transmite información a los estudiantes	Exposición con interacción: ChatGPT ayuda al instructor
El instructor diseña el curso en base a problemas con muchas soluciones. El instructor aumenta la motivación de los estudiantes mediante el uso de casos del mundo real.	Método de demostración-ejecución con ChatGPT. Los estudiantes resuelven los casos con la ayuda de ChatGPT.
Los estudiantes como destinatarios de la información	Exposición con interacción: ChatGPT ayuda al estudiante
Presentación del instructor como comunicación unidireccional. Se da información a los estudiantes	Método de demostración
El instructor asume el rol de experto	Discusión guiada, con la ayuda de ChatGPT
Trabajo en grupo de los alumnos con la ayuda del instructor	Discusión guiada, con la ayuda de ChatGPT
Participación activa del estudiante para resolver problemas, identificar necesidades, investigar, aprender, aplicar posibles soluciones.	Discusión guiada, con la ayuda de ChatGPT
Los estudiantes experimentan el proceso de aprendizaje en un ambiente cooperativo.	Método de demostración-ejecución
El instructor evita los escenarios de “una sola respuesta” y ayuda a los estudiantes a formular problemas, explorar posibles soluciones y tomar decisiones	ChatGPT ayuda al instructor con el enunciado del caso
La evaluación es sumativa a cargo de los instructores	Tradicional – Sin participación de ChatGPT <sup>47</sup>

**Tabla 2**

*Límites de uso de ChatGPT*

Temas del curso	Uso de ChatGPT
Fundamento teórico	Como ayuda, para repasar temas de cursos anteriores
Diseño de la arquitectura de la solución	Desarrollar el pensamiento computacional, ayudar en los conceptos
Codificación front-end (JavaScript).	Asistente de codificación. Generar funcionalidades básicas y scripts
Codificación de back-end (C#)	Asistente de codificación. Generar funcionalidades básicas y scripts
Consultas a la base de datos	Creación de consultas básicas
Cuestionarios y cuestionarios	Prohibido
Exámenes (parciales y finales)	Prohibido

### Experiencia

Al comienzo del curso, el instructor establece los procedimientos, la arquitectura web, los marcos, las versiones del lenguaje de programación y los motores de base de datos, y la estructura base para GitHub. El instructor también explica el papel de ChatGPT en clase.

El instructor puede usar ChatGPT durante la clase para mostrar datos que respalden sus declaraciones, mostrar ejemplos de sintaxis de código en diferentes lenguajes de programación y validar el código de funcionalidades para el front-end y el back-end. El instructor interactúa con ChatGPT a través de indicaciones y las respuestas se prueban en clase, cualquier posible error es analizado y corregido por el instructor y/o los estudiantes.

En la parte práctica del curso, que se desarrolla en un laboratorio de informática, los estudiantes utilizan ChatGPT para resolver hojas de práctica. Los casos presentados en curso requieren

de análisis y reflexión del problema y la calificación se basa en la estrategia utilizada por el estudiante para resolverlos en base a experiencias previas, de ahí que ChatGPT se utilice solo como una herramienta de apoyo para ayudar a crear códigos y funciones rutinarias para la aplicación web. Los estudiantes se dan cuenta desde el principio de que la estructura de la indicación es importante para obtener las respuestas deseadas y que estas respuestas pueden contener errores de codificación que deben corregirse.

### Resultados

Resultados de los datos recogidos y hallazgos del nivel de aceptación de los estudiantes de ChatGPT como herramienta de apoyo para el curso.

En primer lugar, como herramienta de apoyo a la codificación, ChatGPT tiene un mejor rendimiento/menos errores con JavaScript en comparación con el rendimiento de la generación de código en C#.

Para el instructor, ChatGPT ayudó a impartir material del curso a partir de conceptos y generación de código para front-end y back-end, con una precisión de alrededor del 80% según lo informado por el instructor. También hace que la clase sea más dinámica, incluso cuando hay un error en la respuesta, porque se convierte en un tema de discusión durante la clase para encontrarlo y solucionarlo.

#### Comentarios abiertos de los estudiantes

- El mejor uso de ChatGPT depende de la capacidad del estudiante para escribir un mensaje adecuado.
- ChatGPT, a veces, carece de contexto en sus respuestas. Puede ser técnicamente correcto, pero no relevante o útil para la situación específica del estudiante
- ChatGPT puede dar respuestas incorrectas o desactualizadas. Podría confundirse si carece de la comprensión de los conceptos adecuados.
- ChatGPT no puede dar respuestas basadas en la experiencia como el instructor. Funciona como una herramienta de ayuda o apoyo, pero no estoy seguro si funciona como una fuente principal de información.
- Fue muy importante durante nuestro curso. El instructor nos enseñó cómo y cuándo usarlo. También nos advirtió que sin conocimiento previo, podría llevarnos a errores.
- Como nota positiva, ayuda a resolver dudas sobre algunos algoritmos y los casos o situaciones revisadas en clase. El lado negativo es que no dará exactamente lo que se necesita. Tendrá algunos errores como parámetros desordenados que se deben encontrar y corregir.
- Mis comentarios son en su mayoría más positivos que negativos. Encuentro que

ChatGPT es una ayuda extra al lado del instructor porque no hay suficiente tiempo durante las horas de clase para responder todas las preguntas o resolver todos los problemas encontrados en clase puedes preguntarle a ChatGPT.

- Es muy bueno cuando no entendemos una parte del programa y puede guiar paso a paso. Lo negativo es que ChatGPT no siempre da el código correcto. Tendrá algunos errores y nosllevará solo a la mitad del camino.

Los aspectos más destacados de la entrevista con el instructor sobre el uso de ChatGPT son los siguientes:

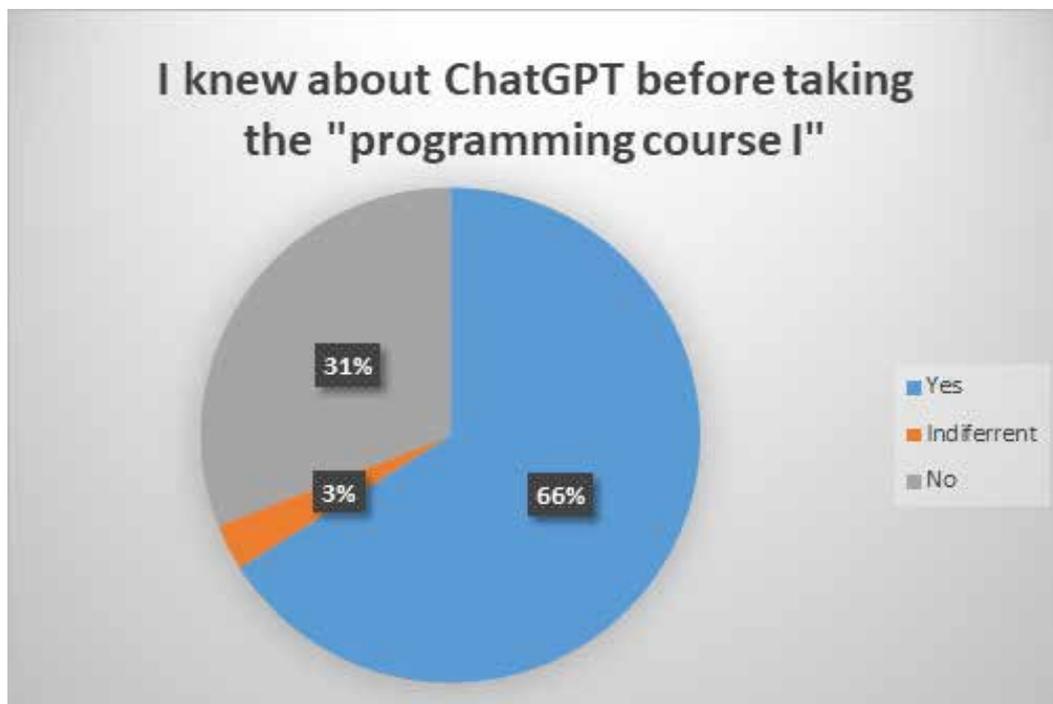
- Acelera el desarrollo de código y la implementación de la sintaxis de código que puede ser compleja de recordar.
- Aumenta la productividad a la hora de codificar.
- Mejora la alfabetización del código, porque no es 100% fiable.
- Ayuda a explicar diferentes escenarios de toma de decisiones en codificación. Por ejemplo, ¿Cuándo usar un tipo de variable flotante o doble? Al generar fragmentos de código que muestran cada caso y ejecutar el código, se vuelve más fácil de entender para el estudiante.
- Ayuda a mostrar datos que complementan los temas de la clase. Por ejemplo, para el tema de ¿Cuál es el lenguaje de programación más popular? ChatGPT puede mostrar estadísticas actualizadas y dar algunos enlaces para obtener información adicional. Los estudiantes pueden ver que no es solo una opinión o percepción del instructor. Hay datos que respaldan cualquier afirmación.
- Facilita el proceso de enseñanza, hay

cosas que no recuerdo o no estoy seguro, como muchos estudiantes preguntan ¿Cuál es el mejor framework para JavaScript, AngularJS, ReactJS o NodeJS? Me explicó, pero al mismo tiempo le hago la misma pregunta a ChatGPT para mostrar una información más complementaria como las encuestas realizadas a los desarrolladores.

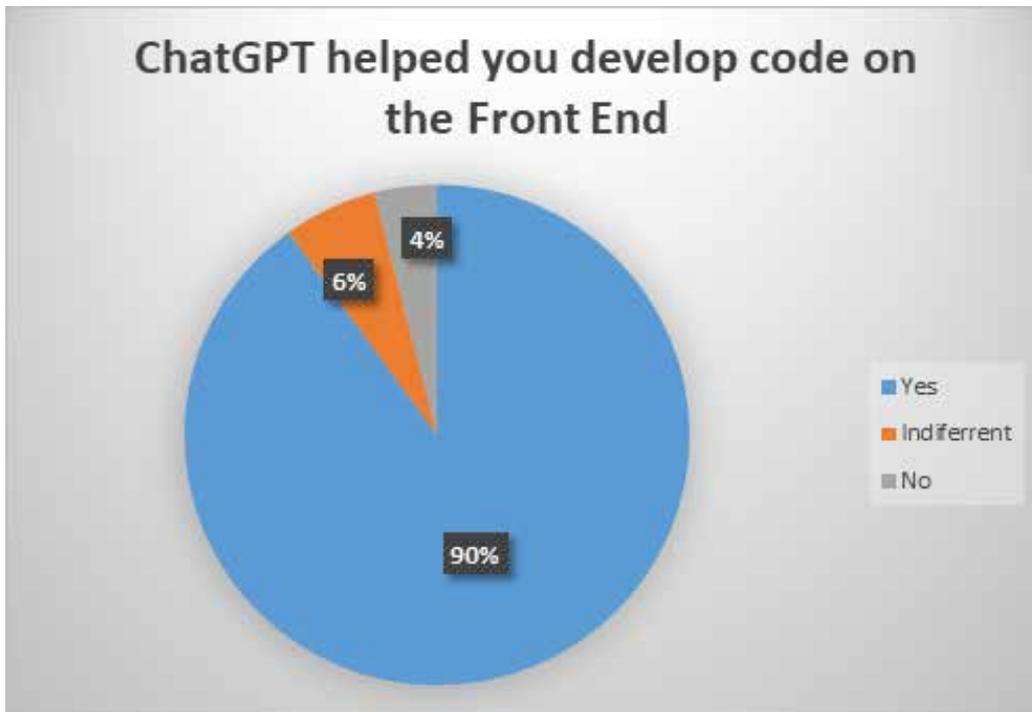
- Mejora el criterio del alumno. Lo ideal es que el alumno se dé cuenta de que hay cierta incertidumbre, la información tiene que ser analizada y validada.
- Diseñar y entender la arquitectura de software para cada caso, permite a los estudiantes tener una interacción adecuada con ChatGPT, con resultados efectivos.

En los resultados de la encuesta a los estudiantes, el 66% de los participantes conocía y tenía experiencia con ChatGPT antes de tomar el curso, pero fue la primera vez para la mayoría que lo utilizó para generar código en un contexto académico (Figura 1). ChatGPT fue más útil para generar código en JavaScript (Figura 2). Para generar fragmentos de código para la funcionalidad básica (como el mantenimiento), el 66 % consideró que era útil (Figura 3), pero muchos estuvieron de acuerdo en que preferirían no usarlo para código complejo. El 83% afirma que ayudó con las pruebas y la corrección de errores (Figura 4). Finalmente, el 69% considera que es útil en un proyecto de desarrollo de software (Figura 5).

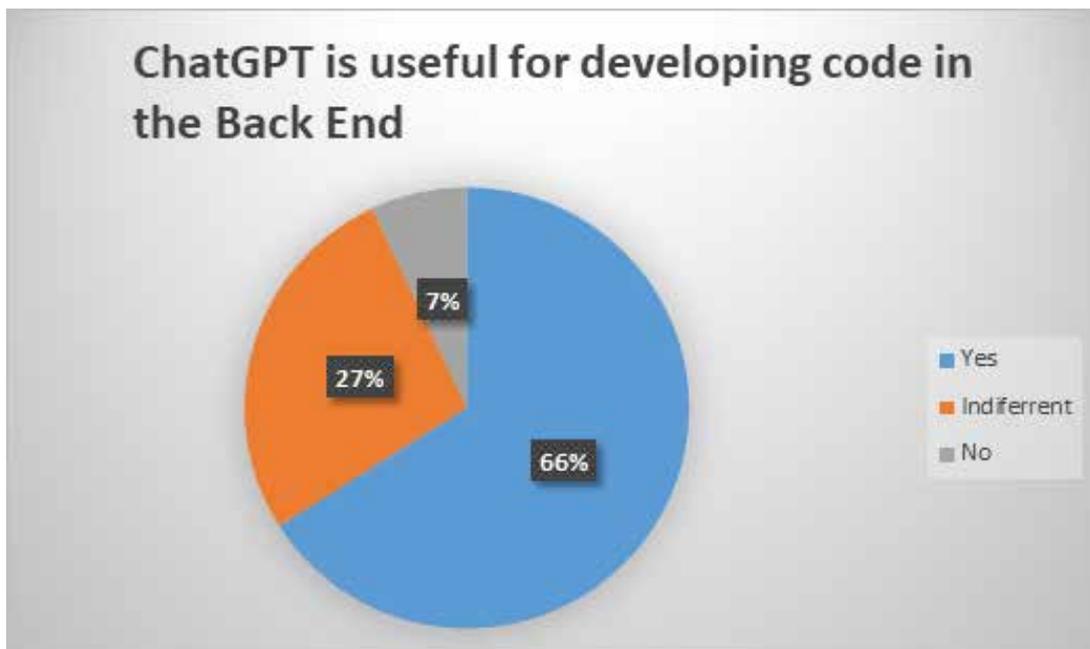
**Figura 1**  
*Conocía ChatGPT antes del Curso de Programación I*



**Figura 2**  
*Ayuda con Java Script*



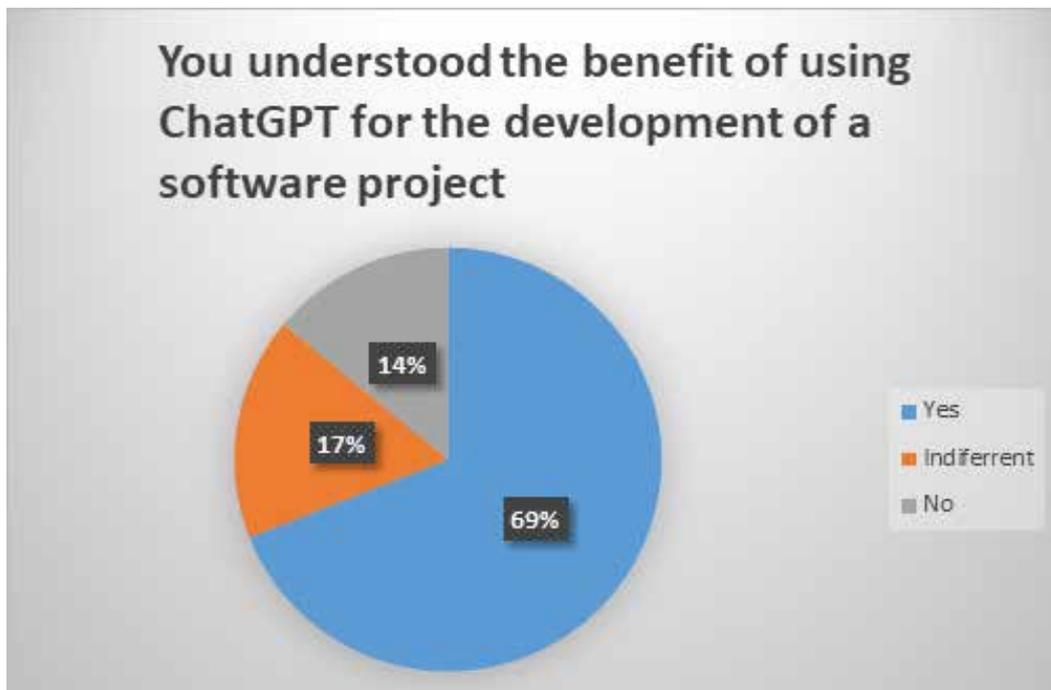
**Figura 3**  
*Generación de código de C#*



**Figura 4**  
*ChatGPT ayuda en pruebas y corrección de errores*



**Figura 5**  
*Utilidad de Chat GPT en el Proyecto*



En la Tabla 3, se muestran los beneficios y desafíos del uso de ChatGPT en un curso

de programación y su posible impacto en la formación de futuros profesionales:

**Tabla 3**  
*Beneficios y desafíos de uso de ChatGPT*

BENEFICIOS	DESAFIOS
Los estudiantes tienen acceso a una herramienta de apoyo personalizada e interactiva en clase y en casa las 24 horas del día, los siete días de la semana.	Los estudiantes deben tener una base teórica para utilizarlo adecuadamente y validar los resultados.
El instructor tiene acceso a información diversa para crear casos que se utilizarán en clase.	El instructor debe tener los conocimientos suficientes para comprender los casos, de lo contrario, los estudiantes podrían asumir que ChatGPT está a cargo de la clase.  El instructor debe tener la experiencia suficiente para usar ChatGPT correctamente,. Demasiados errores pueden dar una impresión equivocada a los estudiantes.
Minimiza el tiempo de desarrollo, ya que la creación de código y funciones básicas es muy eficaz.	Los estudiantes deben tener una comprensión adecuada del software y su arquitectura, de lo contrario, ChatGPT puede convertirse en una herramienta improductiva.
Sesión de clase altamente interactiva	El instructor debe mantener el enfoque de los estudiantes en los temas de la clase, ya que es fácil perder el enfoque interactuando con ChatGPT en sus teléfonos.
Código básico altamente validado	El estudiante debe encargarse de juntar las piezas, ya que puede convertirse en un software con funciones básicas pegadas entre sí.
Corrección de errores de codificación	Los estudiantes tienen que saber cómo usarlo y no frustrarse cuando da la solución equivocada. Deben ser capaces de arreglar y reformular el mensaje.
Mejor experiencia	Debe comprender la limitación de la IA

**Discusión**

ChatGPT puede resolver ejercicios de codificación de manera efectiva cuando las instrucciones son claras y directas. Puede tener dificultades y dar respuestas incorrectas en requisitos de soluciones complejas o de varios niveles. También

tiene problemas cuando las instrucciones dadas tienen que interpretar diagramas o documentación de API (Ouh et al., 2023) o para dar soluciones en programación visual (Singla, 2023) ChatGPT puede estar al límite o muy cerca de aprobar cursos de programación de nivel postsecundario con el modelo GPT-3.5

(Geng et al., 2023; Savelka et al., 2023) con una mejora del 17% con el modelo GPT-4 más reciente (Bordt y von Luxburg, 2023) ChatGPT todavía tiene problemas de codificación complejos y se queda atrás de los programadores experimentados (Koubaa et al., 2023; Nascimento et al., 2023). La experiencia de los estudiantes de este estudio confirma que ChatGPT puede proporcionar soluciones correctas a tareas de codificación simples o básicas, pero tiene dificultades para comprender y dar una solución adecuada a escenarios complejos.

Por el momento, el código de software generado por las herramientas basadas en modelos de lenguaje grandes está lejos de ser perfecto. La integración de herramientas de IA como ChatGPT en las lecciones de los cursos debe proporcionar a los estudiantes y profesores conocimientos básicos sobre IA y una “alfabetización rápida” para que las herramientas se utilicen correctamente. La integridad académica y los estándares éticos deben ser mantenidos por los estudiantes, dado lo fácil que es hacer un mal uso de esta herramienta (Malinka et al., 2023; Qureshi, 2023; Yilmaz / Karaoglan Yilmaz, 2023). En este estudio, los estudiantes se adaptaron rápidamente y aprendieron a usar ChatGPT como asistente de programación a partir de las lecciones y demostraciones del instructor. Establecer reglas y límites claros sobre cómo y cuándo se puede usar desde el primer día de clase ayudó a mantener la integridad académica.

Las preocupaciones de ChatGPT en el contexto educativo incluyen: Falta de comprensión del contexto, Amenaza a la integridad académica y Disminución de las habilidades cognitivas de alto

orden (Farrokhnia et al., 2023). Para la educación en Sistemas de Información y Ciencias de la Computación, la dependencia de ChatGPT puede conducir a una experiencia superficial de aprendizaje y codificación, lo que podría resultar en limitaciones en las habilidades de resolución de problemas y pensamiento crítico (Oosterwyk et al., 2023). En nuestro estudio, por el contrario, la naturaleza poco fiable de las soluciones de codificación de ChatGPT obligó a los estudiantes a realizar un pensamiento analítico y crítico para evaluar la respuesta, encontrar errores y corregir el mensaje o el código dado (dependiendo de lo cerca que esté de la solución deseada).

## Conclusiones

La experiencia de utilizar ChatGPT como herramienta de apoyo en un curso avanzado de programación es positiva, el método de enseñanza-aprendizaje ha sido analizado y adaptado para incluir su uso en temas específicos durante el curso. Es el primer curso en esta Facultad que utiliza formalmente ChatGPT como una herramienta de apoyo para instructores y estudiantes, con la esperanza de que los resultados y la experiencia de este estudio ayuden a establecer estrategias y políticas más sólidas de su uso en la educación.

Al mismo tiempo, este proceso contribuye con una descripción adecuada de la inclusión de la IA como herramienta de enseñanza, el estudiante tomó conciencia de que existen técnicas y estrategias para interactuar con ChatGPT para lograr los mejores resultados. Además, los estudiantes se dieron cuenta de que las respuestas dadas por ChatGPT deben validarse incluso si la mayoría de las respuestas son correctas con un mensaje adecuado.

Una de las principales preocupaciones del uso de ChatGPT en un curso de programación es que conduce a una experiencia de aprendizaje superficial y no entrena las habilidades de pensamiento crítico. Nuestra experiencia ha sido opuesta a esta preocupación. Dado que las soluciones presentadas por ChatGPT no son completamente confiables, obligó a los estudiantes de alguna manera a analizar y reflexionar utilizando conocimientos,

habilidades y experiencias previas para validar la información entregada por ChatGPT.

ChatGPT es viable como una herramienta de apoyo para el instructor y los estudiantes en un curso de programación avanzada, lo que puede aliviar la carga de trabajo de los estudiantes en la generación de código de rutina o con recomendaciones de posibles soluciones.

### Referencias

- Ahmed, Y. A., & Sharo, A. (2023). On the Education Effect of CHATGPT: Is AI CHATGPT to Dominate Education Career Profession? *2023 International Conference on Intelligent Computing, Communication, Networking and Services (ICCNS)*, 79–84. <https://doi.org/10.1109/ICCNS58795.2023.10192993>
- Azaria, A., Azoulay, R., & Reches, S. (2023). *ChatGPT is a Remarkable Tool—For Experts* (arXiv:2306.03102). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2306.03102>
- Bordt, S., & von Luxburg, U. (2023). *ChatGPT Participates in a Computer Science Exam* (arXiv:2303.09461). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2303.09461>
- Borji, A. (2023). *A Categorical Archive of ChatGPT Failures* (arXiv:2302.03494). arXiv. <http://arxiv.org/abs/2302.03494>
- Buscemi, A. (2023). *A Comparative Study of Code Generation using ChatGPT 3.5 across 10 Programming Languages* (arXiv:2308.04477). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2308.04477>
- Daun, M., & Brings, J. (2023). How ChatGPT Will Change Software Engineering Education. *Proceedings of the 2023 Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education V. 1*, 110–116. <https://doi.org/10.1145/3587102.3588815>
- Denny, P., Becker, B. A., Leinonen, J., & Prather, J. (2023). Chat Overflow: Artificially Intelligent Models for Computing Education - renAIssance or apocAIypse? *Proceedings of the 2023 Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education V. 1*, 3–4. <https://doi.org/10.1145/3587102.3588773>
- Eke, D. O. (2023). ChatGPT and the rise of generative AI: Threat to academic integrity? *Journal of Responsible Technology*, 13, 100060. <https://doi.org/10.1016/j.jrt.2023.100060>
- Farrokhnia, M., Banhashem, S. K., Noroozi, O., & Wals, A. (2023).

- A SWOT analysis of ChatGPT: Implications for educational practice and research. *Innovations in Education and Teaching International*, 0(0), 1–15. <https://doi.org/10.1080/14703297.2023.2195846>
- Geng, C., Zhang, Y., Pientka, B., & Si, X. (2023). *Can ChatGPT Pass An Introductory Level Functional Language Programming Course?* (arXiv:2305.02230). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2305.02230>
- Koubaa, A., Qureshi, B., Ammar, A., Khan, Z., Boulila, W., & Ghouti, L. (2023). *Humans are Still Better than ChatGPT: Case of the IEEEExtreme Competition* (arXiv:2305.06934). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2305.06934>
- Malik, A., Khan, M. L., & Hussain, K. (2023). *How is ChatGPT Transforming Academia? Examining its Impact on Teaching, Research, Assessment, and Learning* (SSRN Scholarly Paper 4413516). <https://doi.org/10.2139/ssrn.4413516>
- Malinka, K., Peresíni, M., Firc, A., Hujnák, O., & Janus, F. (2023). On the Educational Impact of ChatGPT: Is Artificial Intelligence Ready to Obtain a University Degree? *Proceedings of the 2023 Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education V. 1*, 47–53. <https://doi.org/10.1145/3587102.3588827>
- Nascimento, N., Alencar, P., & Cowan, D. (2023). *Comparing Software Developers with ChatGPT: An Empirical Investigation* (arXiv:2305.11837). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2305.11837>
- Okonkwo, C. W., & Ade-Ibijola, A. (2022). *Revision-Bot: A Chatbot for Studying Past Questions in Introductory Programming*. 49(3).
- Oosterwyk, G., Tsibolane, P., Kautondokwa, P., & Canani, A. (2023). *Beyond the Hype: A Cautionary Tale of ChatGPT in the Programming Classroom*.
- Ouh, E. L., Gan, B. K. S., Shim, K. J., & Wlodkowski, S. (2023). *ChatGPT, Can You Generate Solutions for my Coding Exercises? An Evaluation on its Effectiveness in an undergraduate Java Programming Course* (arXiv:2305.13680). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2305.13680>
- Philbin, C. A. (2023). Exploring the Potential of Artificial Intelligence Program Generators in Computer Programming Education for Students. *ACM Inroads*, 14(3), 30–38. <https://doi.org/10.1145/3610406>
- Phung, T., Pădurean, V.-A., Cambroner, J., Gulwani, S., Kohn, T., Majumdar, R., Singla, A., & Soares, G. (2023). *Generative AI for Programming Education: Benchmarking ChatGPT, GPT-4, and Human Tutors* (arXiv:2306.17156). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2306.17156>

- Qureshi, B. (2023). *Exploring the Use of ChatGPT as a Tool for Learning and Assessment in Undergraduate Computer Science Curriculum: Opportunities and Challenges* (arXiv:2304.11214). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2304.11214>
- Rahman, M. M., & Watanobe, Y. (2023). ChatGPT for Education and Research: Opportunities, Threats, and Strategies. *Applied Sciences*, 13(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/app13095783>
- Rajabi, P., Taghipour, P., Cukierman, D., & Doleck, T. (2023). Exploring ChatGPT's impact on post-secondary education: A qualitative study. *Proceedings of the 25th Western Canadian Conference on Computing Education*, 1–6. <https://doi.org/10.1145/3593342.3593360>
- Sadik, A. R., Ceravola, A., Joublin, F., & Patra, J. (2023). *Analysis of ChatGPT on Source Code* (arXiv:2306.00597). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2306.00597>
- Savelka, J., Agarwal, A., Bogart, C., Song, Y., & Sakr, M. (2023). Can Generative Pre-trained Transformers (GPT) Pass Assessments in Higher Education Programming Courses? *Proceedings of the 2023 Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education V. 1*, 117–123. <https://doi.org/10.1145/3587102.3588792>
- Shoufan, A. (2023). Exploring Students' Perceptions of ChatGPT: Thematic Analysis and Follow-Up Survey. *IEEE Access*, 11, 38805–38818. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3268224>
- Singla, A. (2023). *Evaluating ChatGPT and GPT-4 for Visual Programming* (arXiv:2308.02522). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2308.02522>
- Tian, H., Lu, W., Li, T. O., Tang, X., Cheung, S.-C., Klein, J., & Bissyandé, T. F. (2023). *Is ChatGPT the Ultimate Programming Assistant—How far is it?* (arXiv:2304.11938). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2304.11938>
- Yilmaz, R., & Karaoglan Yilmaz, F. G. (2023). Augmented intelligence in programming learning: Examining student views on the use of ChatGPT for programming learning. *Computers in Human Behavior: Artificial Humans*, 1(2), 100005. <https://doi.org/10.1016/j.chbah.2023.100005>

# Ingeniería tecnológica de alimentación para el rendimiento de peso total de cuyes, Tacna-Perú

## Technological feed engineering for total weight performance of guinea pigs, Tacna-Peru

Recibido: mayo 06 de 2024 | Revisado: mayo 21 de 2024 | Aceptado: junio 10 de 2024

INÉS MARITZA AGUILAR CONDORI<sup>1</sup>  
EDWIN ISMAEL PALZA CHAMBE<sup>1</sup>  
NOEMÍ ANA MARÍA CONDOR LAZO<sup>1</sup>  
IRENE VILMA LIMACHE ORTIZ<sup>1</sup>  
GEORGE ARGOTA PÉREZ<sup>2</sup>

### RESUMEN

El objetivo del estudio fue describir la ingeniería tecnológica de alimentación para el rendimiento de peso total de cuyes, Tacna-Perú. El estudio se realizó en la Granja Santa Rosa (latitud 17°56'28 y altitud 702 msnm) del Distrito de Pocollay (Tacna, Perú). La alimentación de los cuyes se basó en cuatro tratamientos (T1 = FVH con cebada libre + concentrado limitado, T2 = FVH con cebada limitado + concentrado libre, T3 = maíz chala limitado + concentrado libre y T4 = maíz chala libre + concentrado limitado). Transcurridas las cuatro semana se midió el peso total (g) y correspondió a: T3 = 661,33±47,17 > T2 = 644,77 ± 17.23 > T1 = 499,56 ± 8,34 > T4 = 474,33 ± 7,68. El T3 y T4 mostraron diferencias significativas en comparación con T1 y T2. El concentrado, rico en nutriente esencial, promovió un mayor peso en los cuyes en los tratamientos T2 y T3. El forraje verde hidropónico (FVH) con cebada y maíz chala no satisfizo completamente los requerimientos nutricionales en T1 y T4. La alimentación basada en concentrado, aunque efectiva, plantea desafíos de sostenibilidad y costos. La práctica de FVH puede ayudar a mitigar el estrés hídrico en Tacna, siendo crucial para la ingeniería tecnológica de alimentación.

**Palabras clave:** condición experimental; cuy; dieta animal; peso total; tecnología alimentaria

### ABSTRACT

The objective of the study was to describe the technological feeding engineering for total weight performance of guinea pigs, Tacna-Peru. The study was conducted at Granja Santa Rosa (latitude 17°56'28 and altitude 702 masl) in the District of Pocollay (Tacna, Peru). The feeding of guinea pigs was based on four treatments (T1 = HVP with free barley + limited concentrate, T2 = HVP with limited barley + free concentrate, T3 = limited corn husk + free concentrate and T4 = free corn husk + limited concentrate). After four weeks, total weight (g) was measured and corresponded to: T3 = 661.33 ± 47.17 > T2 = 644.77 ± 17.23 > T1 = 499.56 ± 8.34 > T4 = 474.33 ± 7.68. T3 and T4 showed significant differences compared to

- 1 Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann "UNJBG". Tacna, Perú
- 2 Centro de Investigaciones Avanzadas y Formación Superior en Educación, Salud y Medio Ambiente "AMTAWI". Puno, Perú

Autor de correspondencia:  
iaguilar@unjbg.edu.pe

© Los autores. Este artículo es publicado por la Revista Campus de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de San Martín de Porres. Este artículo se distribuye en los términos de la Licencia Creative Commons Atribución No-Comercial – Compartir-Igual 4.0 Internacional (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite el uso no comercial, distribución y reproducción en cualquier medio siempre que la obra original sea debidamente citada. Para uso comercial contactar a: [revistacampus@usmp.pe](mailto:revistacampus@usmp.pe).

<https://doi.org/10.24265/campus.2024.v29n37.03>

T1 and T2. The concentrate, rich in essential nutrients, promoted greater weight in guinea pigs in treatments T2 and T3. Hydroponic green fodder (HVP) with barley and corn husk did not fully meet nutritional requirements in T1 and T4. Concentrate-based feeding, while effective, poses sustainability and cost challenges. The practice of HVP can help mitigate water stress in Tacna, being crucial for feeding technology engineering.

**Keywords:** animal diet; experimental condition; food technology; guinea pig; total weight

## Introducción

Desde la perspectiva de la ingeniería tecnológica de alimentación, las actividades antropogénicas como la industrialización, el uso excesivo de fertilizantes y plaguicidas, la emisión de gases de efecto invernadero, la deforestación y la urbanización (Desoky et al., 2020) pueden afectar negativamente la calidad y disponibilidad de los insumos utilizados en la formulación de alimentos para animales.

Efectos como la sequía y el estrés hídrico, que reducen la apertura estomáica, inhiben el crecimiento radicular, retrasan la floración, limitan la fructificación y perjudican la productividad de los cultivos (Naylor & Coleman, 2018; Gupta et al., 2021), pueden comprometer la obtención de materias primas óptimas para la elaboración de dietas balanceadas. Cuando el estrés hídrico es consecuencia de la sequía, también se altera el intercambio gaseoso, la tasa de adsorción de carbono, se producen daños oxidativos y se pierde la turgencia (Hussain et al., 2018; Ullah et al., 2018), lo cual puede afectar la calidad nutricional y la composición de los ingredientes utilizados en la alimentación animal.

Por tanto, desde la ingeniería tecnológica de alimentación, es necesario mitigar los efectos del estrés hídrico para mantener la homeostasis osmótica e iónica

(Bhat et al., 2020; Manna et al., 2021), y así asegurar la disponibilidad de materias primas de calidad para la formulación de alimentos. Además, se requiere investigar alternativas que permitan la germinación de semillas y garanticen la viabilidad y el crecimiento de plantas (Zhang et al., 2018; Raza et al., 2019), que puedan ser utilizadas como fuentes de nutrientes en la alimentación animal, incluso bajo condiciones ambientales de estrés hídrico.

Las prácticas agrícolas climáticamente inteligentes metabólicas desde la perspectiva de la ingeniería tecnológica representan una alternativa prometedora para adaptarse y sobrevivir al estrés hídrico, asegurando la disponibilidad de insumos de calidad para la formulación de alimentos (Sharma et al., 2019; Patel et al., 2020). Estas prácticas son, particularmente, relevantes en regiones áridas como Tacna, Perú, ubicada en la cabecera del desierto de Atacama, el segundo más grande y seco del mundo debido a sus características de hiperaridez (Ritter et al., 2019). En estas zonas geográficas, el recurso hídrico es limitado para el desarrollo de actividades agropecuarias (Pino & Chávarri, 2022), lo que puede afectar la producción de materias primas para la elaboración de alimentos.

Por lo tanto, desde la ingeniería tecnológica de alimentación, es crucial implementar prácticas

agrícolas climáticamente inteligentes metabolómicas que permitan cultivar y obtener ingredientes de calidad, incluso en condiciones de estrés hídrico severo. Estas prácticas pueden incluir técnicas de riego eficiente, selección de cultivos resistentes a la sequía, uso de enmiendas orgánicas para retener la humedad del suelo, entre otras estrategias. Al asegurar la disponibilidad y calidad de las materias primas, la ingeniería tecnológica de alimentación podrá formular dietas balanceadas y nutricionales que satisfagan los requerimientos específicos de las diferentes especies animales, incluso en regiones áridas como Tacna, donde el agua es un recurso escaso.

La crianza tradicional y comercial del cuy (*Cavia porcellus* Linnaeus, 1758) representa una oportunidad para aplicar conocimientos y técnicas avanzadas en el diseño de dietas optimizadas que maximicen la productividad de estos animales altamente valorados por su fácil reproducción, palatabilidad y elevado valor nutricional (Witkowska et al., 2017). En este contexto, la ingeniería tecnológica de alimentación puede desempeñar un papel fundamental en el desarrollo de estrategias de suplementación nutricional, incluyendo la formulación de premezclas de minerales y vitaminas que garanticen la viabilidad y productividad óptima de los cuyes (Tellez et al., 2022).

Las técnicas de procesamiento desempeñan un papel crucial en la mejora de la calidad nutricional y la vida útil de las dietas formuladas para cuyes. Los estudios han demostrado que los métodos de procesamiento, como asar, remojar y cocinar la harina de kenaf, mejoran significativamente la ingesta de alimento, el aumento de peso, la digestibilidad de

los nutrientes y el porcentaje de aderezo (Popoola et al., 2023). Además, las técnicas de conservación del forraje, como el heno, el heno y el ensilado, ayudan a conservar los nutrientes para la alimentación del ganado durante todo el año, enfatizando la importancia de maximizar la eficiencia de la conservación de los nutrientes y, al mismo tiempo, minimizar los costos (Katoch, 2023). Además, analizar la composición química y el contenido energético de varios piensos es esencial para formular dietas económicamente viables para los cuyes, y los resultados muestran una gran variabilidad en la composición de los nutrientes y la densidad energética entre las diferentes fuentes de alimento (Castro & Chirinos, 2021).

La producción de forraje verde hidropónico ofrece una solución eficiente para mejorar el uso del agua y la tierra en regiones con escasez hídrica y limitaciones agrícolas, particularmente en la alimentación de cuyes. Investigaciones han demostrado que estos sistemas pueden reducir significativamente el consumo de agua y la necesidad de tierra en comparación con los métodos tradicionales de cultivo. Además, aumentan el rendimiento de biomasa y el contenido proteico del forraje, asegurando una producción continua de alimentos durante todo el año y mejorando la eficiencia general de la alimentación animal (Sharma et al., 2018; Ibtissame et al., 2021).

La producción de forraje verde hidropónico (FVH) se caracteriza por su rápido ciclo de crecimiento y alta calidad nutricional, destacándose en términos de carbohidratos, proteínas y contenido de azúcares, según estudios recientes (Mejía & Orellana, 2019; Paipa et al.,

2020; Narváez & Guerrero, 2021). Estos resultados sugieren que el FVH podría ser una opción viable para mejorar el rendimiento de biomasa en las primeras etapas de crianza del cuy. Esta tecnología muestra un potencial significativo en la ingeniería tecnológica de alimentación, al proporcionar una fuente de alimento consistente y de alta calidad, crucial para enfrentar los desafíos alimentarios en la cría de cuyes. El objetivo del estudio fue describir la ingeniería tecnológica de alimentación para el rendimiento de peso total de cuyes, Tacna-Perú.

### Método

El estudio se realizó en la Granja Santa

Rosa del distrito de Pocollay (Tacna, Perú) ubicada en las coordenadas: latitud 17°56'28 y altitud 702 msnm. Se consideró para la alimentación de los cuyes el forraje verde hidropónico (FVH) con cebada y maíz chala (Tabla 1). El aporte de nutrientes del concentrado se formuló en la empresa productora de alimentos veterinarios VITAPRO S.A. y presentó los requerimientos siguientes: proteína (16%), potasio (1.3%), magnesio (0.3%), calcio (1.0%), fósforo (0.6%) y fibra (10.0%). Además contenía, DL-metionina (0.20%), L-treonina (10.0%), L-lisina (0.1%), PrimeEQH 101 (3.5%), Quantum blue (0.01%), Mycoadaz (0.1%) y Antigen (0.5%). y concentrado que

**Tabla 1**

*Contenido del concentrado en la alimentación de los cuyes (%).*

Contenido	%
Harina fina de maíz puro	4.14
Subproducto de trigo	73
Torta de soya	11
Harina integral de soya	4
Phosbio	1.4
Carbonato de calcio	1.5
Sal común	0.4
Cloruro de colina (60%)	0.1
DL-metionina	0.20
L-trionina	0.05
L-lisina	0.1
PrimeEQH 101	3.5
Quantum blue	0.01
Mycoad az	0.1
Actigen	0.5

Se diseñó un estante de cuatro niveles con estructura de soporte e invernadero (dimensiones: 1.8 m de largo x 0.70 m de ancho x 1.8 m de alto), con una distancia de 0.4 m entre cada nivel y una pendiente

del 10% para el drenaje del agua en las bandejas de cultivo, que consistieron en cajas de plástico oscuro (0.6 m de largo x 0.40 m de ancho). Para la crianza de cuyes, se utilizaron galpones con

muros de adobe y ventanas con mallas y cortinas de polipropileno para garantizar la iluminación y ventilación adecuadas. Cada galpón albergaba cuatro jaulas de crianza (1.20 m x 0.90 m) equipadas con comederos y bebederos.

Se establecieron cuatro tratamientos experimentales para analizar la alimentación, con distintas combinaciones de forraje verde hidropónico (FVH), cebada y maíz chala, junto con concentrado (T1 = FVH con cebada libre + concentrado limitado, T2 = FVH con cebada limitado + concentrado libre, T3 = maíz chala limitado + concentrado libre y T4 = maíz chala libre + concentrado limitado). El período experimental duró cuatro semanas, durante las cuales se aplicaron diferentes restricciones alimentarias (National Research Council, 1985).

Se registró el peso inicial y final de los cuyes en cada tratamiento utilizando

una balanza digital de precisión (gramera Patrick's AM3; precisión = 1 g). El análisis estadístico se realizó con el software Statgraphics Centurion 18°, aplicando pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk, 1965), y análisis de varianza con el test de Duncan (Duncan, 1955), para comparaciones entre los tratamientos. Los datos se consideraron significativos cuando  $p < 0.05$ .

## Resultados

Los pesos totales de los cuyes provinieron de una distribución normal con un 95% de nivel de confianza: T1 = .998 (estadístico); .912 (significación), T2 = .775 (estadístico); .055 (significación), T3 = 1.000 (estadístico); .965 (significación) y T4 = .998 (estadístico); .912 (significación). Se halló diferencia significativa en los tratamientos, después de las cuatro semanas de experimentación (Tabla 2).

**Tabla 2**

*Peso final (g) de los cuyes en cada tratamiento experimental*

Tratamiento experimental	Media experimental (g)	Error Estándar	Homogeneidad de grupos	Valor de p
T3	661.33	27.24	a	
T2	644.77	9.95	a	0.00
T1	499.56	4.82	b	
T4	474.33	4.44	b	

*Nota.* Las letras (a, b) indican una diferencia significativa entre los tratamientos experimentales para  $p < 0.05$ , según Duncan (1955).

## Discusión

Taboada (2022) sugiere que durante la fase de crecimiento de los cuyes, el uso de forraje verde hidropónico (FVH) con cebada puede ser suficiente sin necesidad de complementarlo con maíz chala. Se

observó que los cuyes alimentados con FVH de cebada y maíz chala fresco mostraron un menor peso en comparación con aquellos alimentados con concentrado limitado, como se evidenció en los tratamientos T1 y T4. Este resultado coincide con el hallazgo de Yanchaliquin (2022), quien señaló que

el FVH de cebada y maíz, combinado con concentrados, resultó en un mayor peso y mejor rendimiento de la canal para los cuyes.

La disminución del peso total en los tratamientos T1 y T4, en comparación con T2 y T3, podría atribuirse a la posible pérdida de proteínas durante el ciclo de producción del FVH. Además, la composición química del FVH de cebada y maíz chala puede no satisfacer completamente los requerimientos nutricionales de los cuyes en los tratamientos T1 y T4. Sin embargo, la alimentación basada en concentrado, aunque más efectiva, resulta ser costosa. La práctica agrícola con FVH puede mitigar el estrés hídrico en la región de Tacna y, dado que los cuyes son herbívoros, necesitan una dieta que incluya forraje.

Núñez & Guerrero (2021), señalan que la producción de biomasa vegetal mediante técnicas como el forraje verde hidropónico (FVH) puede impactar positivamente el rendimiento del peso total de cuyes en la ingeniería tecnológica de alimentación. Esta tecnología permite una nutrición saludable para los animales domésticos al utilizar la germinación y el crecimiento inicial de plántulas a partir de semillas viables. Además, el FVH es adecuado para la producción doméstica al ser adaptable a pequeños espacios, suelos de baja fertilidad y terrenos difíciles, lo cual es crucial en entornos agrícolas con limitaciones. Sin embargo, su implementación exitosa requiere gestionar aspectos como la temperatura, luz, agua, humedad y nutrientes de manera adecuada.

Uno de los aspectos destacados del forraje verde hidropónico (FVH) es su

ciclo de producción, típicamente entre 11 y 15 días. Después de este periodo, puede observarse una reducción en el contenido de proteínas, lo cual afecta la adecuada alimentación de los cuyes. En un estudio reciente, se utilizó un ciclo de producción de 11-12 días, siguiendo las recomendaciones de Curasma et al. (2021), quienes encontraron un rendimiento óptimo del FVH con cebada, alcanzando una biomasa de 3.5 kg/m<sup>2</sup> antes de iniciar la alimentación de los cuyes.

En este estudio realizado en la Universidad Nacional Agraria La Molina (Lima, Perú), se comparó el crecimiento de los cuyes bajo diferentes sistemas de alimentación. Se observó que los sistemas que utilizaban exclusivamente FVH de cebada (*Hordeum vulgare* L.) y forraje fresco de maíz chala mostraron una ineficiencia en el crecimiento de los cuyes. Este resultado coincide con el análisis de los tratamientos T1 y T4 donde la ganancia del peso total, obedeció a la combinación con el concentrado limitado, pero difiere a lo mencionado por Yanchaliquin (2022), al incorporar forrajes hidropónicos en la dieta de los cuyes, donde observó un aumento en el peso y un mejor rendimiento de la canal, especialmente cuando se utilizó forraje verde hidropónico (FVH) de cebada y maíz, complementado con concentrados. Estos hallazgos coinciden con los resultados obtenidos en el presente estudio.

La diferencia en el peso total de los cuyes entre los tratamientos experimentales T1 y T4, en comparación con T2 y T3, podría atribuirse a una posible reducción en el contenido de proteínas durante el ciclo de producción del forraje verde hidropónico (FVH). Esta pérdida podría

haber afectado la alimentación adecuada de los cuyes. Sin embargo, en este estudio, no se evaluó previamente dicho ciclo de producción para determinar la alimentación óptima de los animales.

### Conclusiones

El concentrado, al contener un mayor porcentaje de proteínas, potasio, magnesio, calcio, fósforo y fibra, y al ser suministrado de manera libre, resultó en un mayor peso total para los cuyes en los tratamientos T2 y T3. Es posible

que la composición química del forraje verde hidropónico (FVH) con cebada y maíz chala no haya cumplido con los requerimientos nutricionales en los tratamientos T1 y T4. Sin embargo, la alimentación basada en concentrado resulta ser costosa y puede no ser sostenible a largo plazo. En respuesta al estrés hídrico en la región de Tacna, la práctica agrícola con FVH puede ayudar a mitigarlo, ya que los cuyes, siendo especies herbívoras, requieren una dieta que incluya forraje como parte de la ingeniería tecnológica de alimentación.

### Referencias

- Bhat, M.A., Kumar, V., Bhat, M.A., Wani, I.A., Dar, F.L., Farooq, I., Bhatti, F., Koser, R., Rahman, S., & Jan, A.T. (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. <https://doi.org/10.3389/FMICB.2020.01952>
- Castro, B.J., & Chirinos, P.D. (2021). Nutritional value of some raw materials for guinea pigs (*Cavia porcellus*) feeding. *Translational Animal Science*; *5*(2), txab019. <https://doi.org/10.1093/tas/txab019>
- Curasma, C.J., Contreras, P.J.L., Huamán, J.R., & Ochoa, A.J.L. (2021). Sustratos y tiempos de cosecha en el rendimiento del forraje verde hidropónico de la cebada. *Revista de Investigación Científica Siglo XXI*; *1*(2), 63-71. <https://doi.org/10.54943/ricsxxi.v1i1.171>
- Duncan, D.B. (1955). Multiple range and multiple F tests. *Biometrics*; *11*(11): 1-42. <https://doi.org/10.2307/3001478>
- Desoky, E.S.M., Saad, A.M., El-Saadony, M.T., Merwad, A.R.M., & Rady, M.M. (2020). Plant growth-promoting rhizobacteria: Potential improvement in antioxidant defense system and suppression of oxidative stress for alleviating salinity stress in *Triticum aestivum* (L.) plants. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*; *30*, 101878 <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101878>
- Gupta, A., Bano, A., Rai, S., Dubey, P., Khan, F., Pathak, N., & Sharma, S. (2021). Plant growth promoting Rhizobacteria (PGPR): a sustainable agriculture to rescue

- the vegetation from the effect of biotic stress: a review. *Letters in Applied NanoBioScience*; 10, 2459-2465. <https://doi.org/10.33263/LIANBS103.24592465>
- Hussain, M., Farooq, S., Hasan, W., Ul-Allah, S., Tanveer, M., Farooq, M., & Nawaz, A. (2018). Drought stress in sunflower: physiological effects and its management through breeding and agronomic alternatives. *Agricultural Water Management*; 201, 152-166. <https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2018.01.028>
- Ibtissame, E., Rachida, A.A., Khaoula, T., & Abdelaziz, M. (2021). Hydroponic and aquaponic farming: comparative study based on internet of things IoT technologies. *Procedia Computer Science*; 191, 499-504. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.07.064>
- Katoch, R. (2023). Conservation and processing of forages. In: techniques in forage quality analysis. Springer, Singapore. ISBN: 978-981-19-6020-8. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-6020-8\\_15](https://doi.org/10.1007/978-981-19-6020-8_15)
- Shapiro, S.S., & Wilk, M.B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*; 52(3-4), 591-611. <https://doi.org/10.2307/2333709>
- National Research Council. 1995. Nutrient requirements of laboratory animals; Guinea Pig. Washington, D.C., *National Academy Press*. 176 p
- Manna, M., Thakur, T., Chirom, O., Mandlik, R., Deshmukh, R., & Salvi, P. (2021). Transcription factors as key molecular target to strengthen the drought stress tolerance in plants. *Physiologia Plantarum*; 172, 847-868. <https://doi.org/10.1111/PPL.13268>
- Mejía, C.H.J., & Orellana, N.F.S. (2019). Forraje verde hidropónico: una alternativa de producción ante el cambio climático. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*; 5(9), 1103-1120. <https://doi.org/10.5377/ribcc.v5i9.7947>
- Narváez, J., & Guerrero, E.M. (2021). Forraje verde hidropónico y organopónico de maíz como suplemento nutricional para ovinos del piedemonte amazónico. *Revista de Investigación Agraria y ambiental*; 13(1), 253-266. <https://doi.org/10.22490/21456453.4535>
- Naylor, D., & Coleman, D.D. (2018). Drought stress and root-associated bacterial communities. *Frontiers in Plant Science*; 8, 2223. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2017.02223>
- Núñez, T.O.P., & Guerrero, L.J.R. (2021). Forrajes hidropónicos: una alternativa para la alimentación de animales domésticos. *Journal of the Selva Andina Animal Science*; 8(1), 44-52. <https://doi.org/10.36610/j.jsaas.2021.080100044>
- Paipa, L., Bernal, L., Conde, A., Quijano, N., & Bula, K. (2020). El forraje verde hidropónico: una alternativa sostenible en tiempos de cambio

- climático. *Ámbito Investigativo*; 5(2), 60-71.
- Patel, M.K., Kumar, M., Li, W., Luo, Y., Burritt, D.J., Alkan, N., & Tran, L.S.P. (2020). Enhancing salt tolerance of plants: from metabolic reprogramming to exogenous chemical treatments and molecular approaches. *Cells*; 9, 2492. <https://doi.org/10.3390/CELLS9112492>
- Pino, V.E., & Chávarri, V.E. (2022). Evidencias de cambio climático en la región hiperárida de la costa sur de Perú, cabecera del desierto de Atacama. *Tecnología y Ciencias del Agua*; 13(1); 333-376. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2022-01-08>
- Popoola, Y.A., Olorunghobunmi, T.O., Omodewu, I.A, Oladele B.M.O., Ajayi S.R, & Omole, A.J. (2023.) Effect of different processing techniques of kenaf grain meal in the diets of rabbits, *Global Journal of Agricultural Research*; 11(1), 10-16. <https://doi.org/10.37745/gjar.2013/vol11n11016>
- Raza, A., Razzaq, A., Mehmood, S.S., Zou, X., Zhang, X., Lv, Y., & Xu, J. (2019). Impact of climate change on crops adaptation and strategies to tackle its outcome: a review. *Plants*, 8(2), 1-29. <https://doi.org/10.3390/plants8020034>
- Ritter, B., Wennrich, V., Medialdea, A., Brill, D., King, G., Schneiderwind, S., Niemann, K., Fernández, G.E., Diederich, J., Rolf, C., Bao, R., Melles, M., & Dunai, T.J. (2019). Climatic fluctuations in the hyperarid core of the Atacama Desert during the past 215 ka. *Scientific Reports*; 9(1), 1-13. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41743-8>
- Sharma, A., Shahzad, B., Rehman, A., Bhardwaj, R., Landi, M., & Zheng, B. (2019). Response of phenylpropanoid pathway and the role of polyphenols in plants under abiotic stress. *Molecules*; 24, 2452. <https://doi.org/10.3390/molecules24132452>
- Sharma, N., Acharya, S., Kumar, K., Singh, N., & Chaurasia, O.P. (2018). Hydroponics as an advanced technique for vegetable production: An overview. *Journal of Soil and Water Conservation*; 17(4), 364-371. <http://dx.doi.org/10.5958/2455-7145.2018.00056.5>
- Taboada, M.V.H. (2022). Evaluación de forraje hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare*) en sistemas de alimentación durante el crecimiento del cuy (*C. porcellus*). Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Zootecnista [Facultad de Zootecnia, Universidad Agraria La Molina]. Lima, Perú. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/5280>
- Tellez, V.R.dP., Flores, A.H., Padilla, M.M.A., Ramos, M.L.A., & Rodríguez, P.H. (2022). Efecto de la suplementación de selenio orgánico y vitamina E sobre parámetros productivos del cuy (*Cavia porcellus*). *Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias*; 6(18), 436-440. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v6i18.177>

- Ullah, A., Manghwar, H., Shaban, M., Khan, A.H., Akbar, A., Ali, U., Ali, E., & Fahad, S. (2018). Phytohormones enhanced drought tolerance in plants: a coping strategy. *Environmental Science and Pollution Research*; 25, 33103-33118. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3364-5>.
- Witkowska, A., Price, J., Hughes, C., Smith, D., White, K., Alibhai, A., & Rutland, C.S. (2017). The effects of diet on anatomy, physiology and health in the *Guinea pig*. *Journal of Animal Health and Behavioural Science*; 1(1), 1-6.
- Yanchaliquin, T.J.W. (2022). Forrajes hidropónicos en la alimentación de cuyes. Tesis para optar por grado académico de Ingeniero Zootecnista [Facultad de Ciencias Pecuarias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Riobamba, Ecuador <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/17088>
- Zhang, G., Sun, Y., Sheng, H., Li, H., & Liu, X. (2018). Effects of the inoculations using bacteria producing ACC deaminase on ethylene metabolism and growth of wheat grown under different soil water contents. *Plant Physiology and Biochemistry*; 125, 178-184. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.02.005>

# Efectos tóxicos agudos y crónicos de los hidrocarburos sobre crustáceos de las familias Palaemonidae y Hyalellidae: revisión sistemática

Acute and chronic toxic effects of hydrocarbons on crustaceans of the families Palaemonidae and Hyalellidae: systematic review

Recibido: mayo 01 de 2024 | Revisado: mayo 15 de 2024 | Aceptado: mayo 30 de 2024

J. VALERIA YON LEIVA<sup>1</sup>  
ADAN MARINA<sup>1</sup>  
ALESSANDRA LAURENTE<sup>1</sup>  
JIMENA RUBY ROJAS PALACIOS<sup>1</sup>  
KIARA MAURTUA<sup>1</sup>  
MARÍA GRACIELA ÁLVAREZ<sup>1</sup>  
PIERO ZEVALLOS<sup>1</sup>  
JOSÉ IANNAONE<sup>1,2</sup>

## RESUMEN

La contaminación por hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH) en ecosistemas de agua dulce representa un grave problema ambiental. Ingresan al agua por derrames de petróleo o descargas industriales, se adhieren a partículas suspendidas y sedimentos ocasionando que sean absorbidos por organismos acuáticos, como lo son los decápodos y anfípodos. Para evaluar los efectos de los PAH en *Macrobrachium borelli* y *Hyalella azteca*, se recopiló bibliografía sobre la toxicidad de hidrocarburos y mecanismos de adaptación. Los resultados para decápodos indican alta toxicidad para la fracción hidrosoluble con diesel, pero no se afecta la eclosión de huevos; también se observan cambios en proteínas, grasas y enzimas, probablemente debido a mecanismos adaptativos. Para los anfípodos se obtuvo que, de acuerdo a su mortalidad, es una especie más sensible que otros organismos, como los quironómidos. Además, los efectos subletales debido a la exposición de los PAH varían en la afectación en el tamaño y comportamiento del organismo, así como daños en el ADN. Por último, los mecanismos de adaptación que poseen no son considerados efectivos para la supervivencia de la especie.

**Palabras clave:** Efectos tóxicos, hidrocarburos, *Hyalella azteca*, *Macrobrachium*, *Palaemonidae*, petróleo

## ABSTRACT

Contamination by polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in freshwater ecosystems represents a serious environmental problem. When they enter the water, either by oil spills or industrial discharges, they adhere to suspended particles, accumulating in sediments and causing them to be absorbed by aquatic organisms, such as decapods and amphipods. Therefore, to evaluate the effects of PAHs on *Macrobrachium borelli* and *Hyalella azteca*, a bibliographic compilation was made considering the axes of hydrocarbon toxicity and adaptation mechanisms for these pollutants. The results for decapods indicate a high toxicity for the water-soluble fraction with diesel, although this does not prevent normal hatching of eggs. For amphipods, it was found that, according to their mortality, it is a more sensitive species than other organisms, such as chironomids. In addition, the sublethal effects due to PAH exposure vary in the affectation in the size and behavior of the organism, as well as DNA damage. Finally, the adaptive mechanisms it possesses are not considered effective for the survival of the species.

**Keywords:** *Hyalella azteca*, hydrocarbons, *Macrobrachium*, oil, *Palaemonidae*, Toxic effects

1 Universidad Científica del Sur,  
Lima, Perú

2 Universidad Nacional Federico  
Villarreal, Lima, Perú

Autor de correspondencia:  
joseiannaone@gmail.com

© Los autores. Este artículo es publicado por la Revista Campus de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de San Martín de Porres. Este artículo se distribuye en los términos de la Licencia Creative Commons Atribución No-Comercial – Compartir-Igual 4.0 Internacional (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite el uso no comercial, distribución y reproducción en cualquier medio siempre que la obra original sea debidamente citada. Para uso comercial contactar a: [revistacampus@usmp.pe](mailto:revistacampus@usmp.pe).

<https://doi.org/10.24265/campus.2024.v29n37.04>

## Introducción

La contaminación por hidrocarburos en cuerpos de agua continentales es un grave problema porque es la responsable de efectos tóxicos y cancerígenos sobre la biota acuática (Neff et al., 2000). Además, este tipo de contaminante tiene gran afinidad con los lípidos de la membrana, por lo que puede alterar las propiedades fisicoquímicas y fisiológicas de las membranas (Reid & MacFarlane, 2003). Asimismo, la acumulación de hidrocarburos puede afectar la función de los orgánulos de diversos organismos acuáticos (Lavarías et al., 2006).

En los derrames de petróleo la parte más visible es el “mousse” que se forma en la superficie; sin embargo, la fracción responsable de los efectos tóxicos es la fracción hidrosoluble de los hidrocarburos (WSF) (Lavarías et al., 2004). La toxicidad de la fracción hidrosoluble del petróleo se deriva de los procesos de esparcimiento, deriva, evaporación, disolución, fotólisis, biodegradación del petróleo y su conversión en metabolitos (Mackay & McAuliffe, 1988; Daling et al., 1990). La composición de la WSF es muy similar a la de los hidrocarburos aromáticos que componen el diesel (Ackman et al., 1997), específicamente contiene hidrocarburos aromáticos, compuestos fenólicos y heterocíclicos con elementos de nitrógeno y azufre (Saeed & Al-Mutairi, 1999), la mayoría de ellos potencialmente cancerígenos (Woo et al., 2006). Los hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH, en inglés) como el pireno, el criseno, el benzo(b)fluoranteno, el benzo(a)pireno (conocidos como

PAH cancerígenos) son ampliamente reconocidos como genotóxicos (Lemos et al., 2007; Weber et al., 2013).

Los PAH son contaminantes omnipresentes en el ambiente que presentan una solubilidad en agua de moderada a baja, lo que favorece su adsorción a las partículas, y su posterior acumulación en los sedimentos (McGrath et al., 2019). Las fuentes principales en las que los PAH llegan al medio son mediante incendios forestales y fuentes antropogénicas, ya sean la producción de coque, la calefacción, la generación de electricidad y las emisiones de combustión interna de los motores utilizados en el transporte (Eisler, 2000). Se considera, además, que los PAH llegan al medio acuático por el uso industrial del petróleo, el vertido de efluentes de aguas residuales, los desbordamientos de alcantarillado combinado y la escorrentía de las carreteras. Asimismo, las industrias que producían o utilizaban alquitranes de hulla, subproducto de la producción de coque, al haber estado situadas cerca de los cursos de agua, han generado que este contaminante llegue a los cuerpos de agua dulce y los sedimentos (Hawthorne et al., 2017; Stoudt et al., 2004). Sus efectos tóxicos han sido ampliamente informados en organismos acuáticos después de derrames de petróleo (Perez-Cadahia et al., 2004; Akaishi et al., 2004). Las altas tasas de absorción de los componentes WSF determinan efectos tóxicos inmediatos en los organismos acuáticos y también pueden bioacumularse en algunos de ellos, en un proceso que repercute negativamente a lo largo de la cadena trófica (Collier et al., 1996).

Los crustáceos de agua dulce son uno de los grupos comúnmente empleados para monitorear la contaminación ambiental debido a características como: constituyen un componente mayor de la mayoría de ecosistemas acuáticos, sus poblaciones normalmente son numerosas y son fáciles de cultivar en laboratorio (Gerhardt et al., 2002; Fossi et al., 2000). Los decápodos constituyen un orden bastante diverso de los crustáceos y pueden ser encontrados en muchos hábitats como, aguas continentales, profundidades marinas e incluso las cavidades corporales de otros organismos (Martin & Davis, 2001; Macedo et al., 2012). Las características del hábitat y la depredación fomentan una gran especificidad en la selección del hábitat e incluso se consideran impulsores de relaciones simbióticas, entre las familias más conocidas por establecer asociaciones con otra especie se encuentra a la familia Palaemonidae, Alpheidae y Porcellanidae (Baeza, 2007). Una de las especies más usadas para evaluaciones ecotoxicológicas de hidrocarburos es el camarón de río (*Macrobrachium borelli*), que puede asimilar hidrocarburos directamente de la columna de agua o del agua intersticial en los sedimentos (Bhattacharyya et al. 2003) y fue usado en estudios de bioacumulación de WSF.

Otra de las especies más usadas como bioindicador de contaminación ambiental es la *Hyaella azteca*, perteneciente a la orden Amphipoda, esta especie ha demostrado ser un valioso indicador para evaluar la calidad del agua y el estado de los ecosistemas acuáticos, ya que su sensibilidad a los contaminantes ambientales y su capacidad para acumular diferentes sustancias químicas la convierten en un organismo altamente sensible a las alteraciones en su entorno

acuático (Islas et al., 2019). Además, su amplia distribución geográfica y su presencia en diversos hábitats acuáticos hacen de esta especie un bioindicador versátil y confiable para monitorear la salud ambiental (Duan et al., 2000).

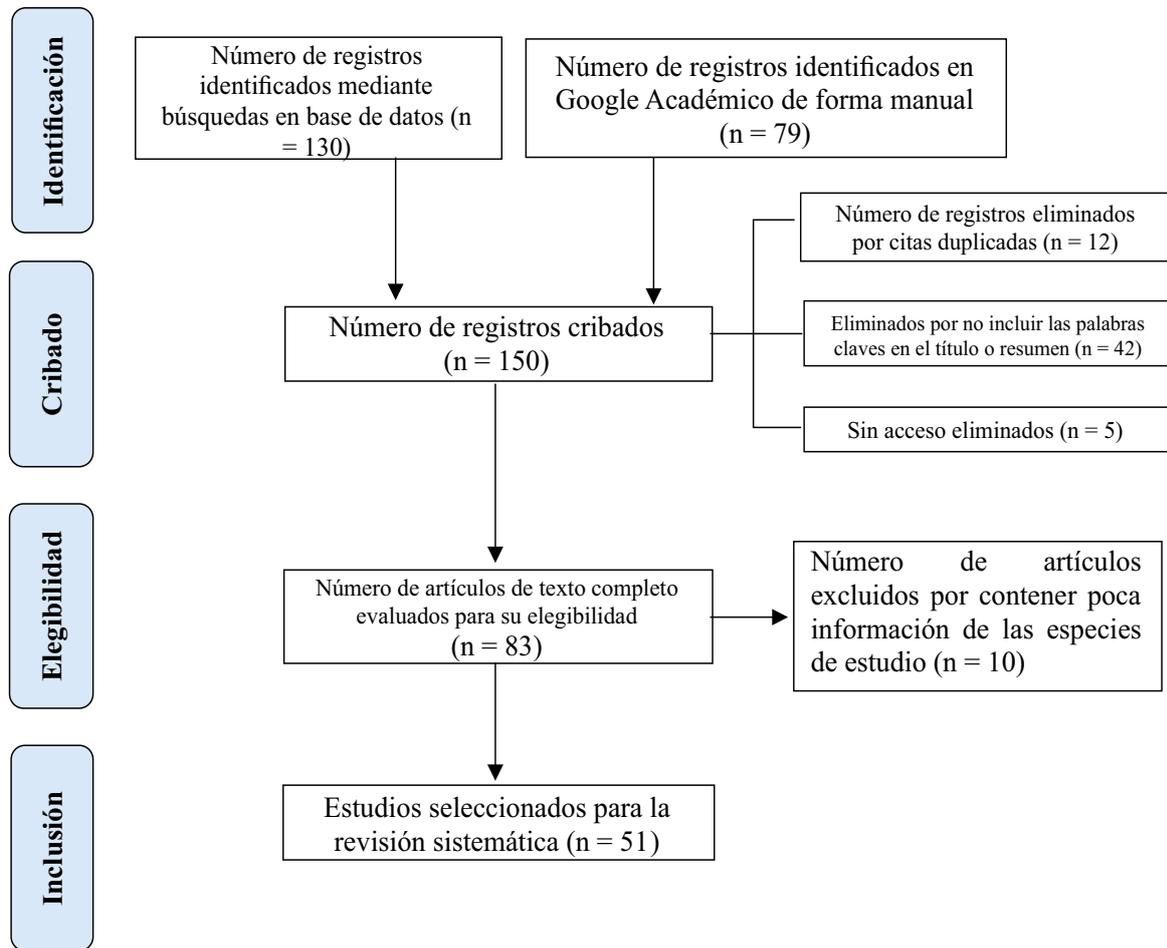
Bajo este contexto, el propósito de este artículo fue recopilar bibliografía sobre los efectos que presentan especies de la familia Palaemonidae (Decápodos) y Hyalellidae (Anfípodos) bajo la exposición de hidrocarburos con la finalidad de considerar su posible aplicación para evaluaciones ecotoxicológicas de hidrocarburos en agua dulce.

## Método

La búsqueda de información se hizo a través de diferentes bases de datos, como: ScienceDirect, Redalyc, Scopus y Google Académico, usando las palabras y combinaciones en inglés de “toxic effects”, “oil”, “hydrocarbons”, “*Macrobrachium*” o “Palaemonidae”, además, la búsqueda incluyó el nombre completo de la especie “*Hyaella azteca*”; todas fueron acompañadas del operador booleano AND.

Para la selección de los artículos, se tuvo los siguientes criterios de inclusión: a) Artículos originales, b) El título o resumen debe contener las palabras claves mencionadas o estar relacionado a ello, y c) Objetivo principal sea estudiar los efectos tóxicos sobre la familia Palaemonidae o sobre la especie *H. azteca*. Mientras que los criterios de exclusión fueron: a) Artículos de fuentes secundarias, b) Que el título no se relacione con la investigación y c) Los que no tienen relación con el objetivo principal.

**Figura 1**  
 Diagrama de flujo PRISMA en cuatro niveles



## Resultados

### Aspectos generales

#### Palaemonidae

#### Resultados por países para Palaemonidae

Se realizó un mapa para resaltar a los países que hayan realizado una mayor cantidad de estudios sobre temas relacionados a nuestro tema de investigación enfocado a Palaemonidae. Los países con más coincidencias fueron Argentina y Nigeria con un total de nueve y siete artículos respectivamente; mientras que, los otros países resaltados

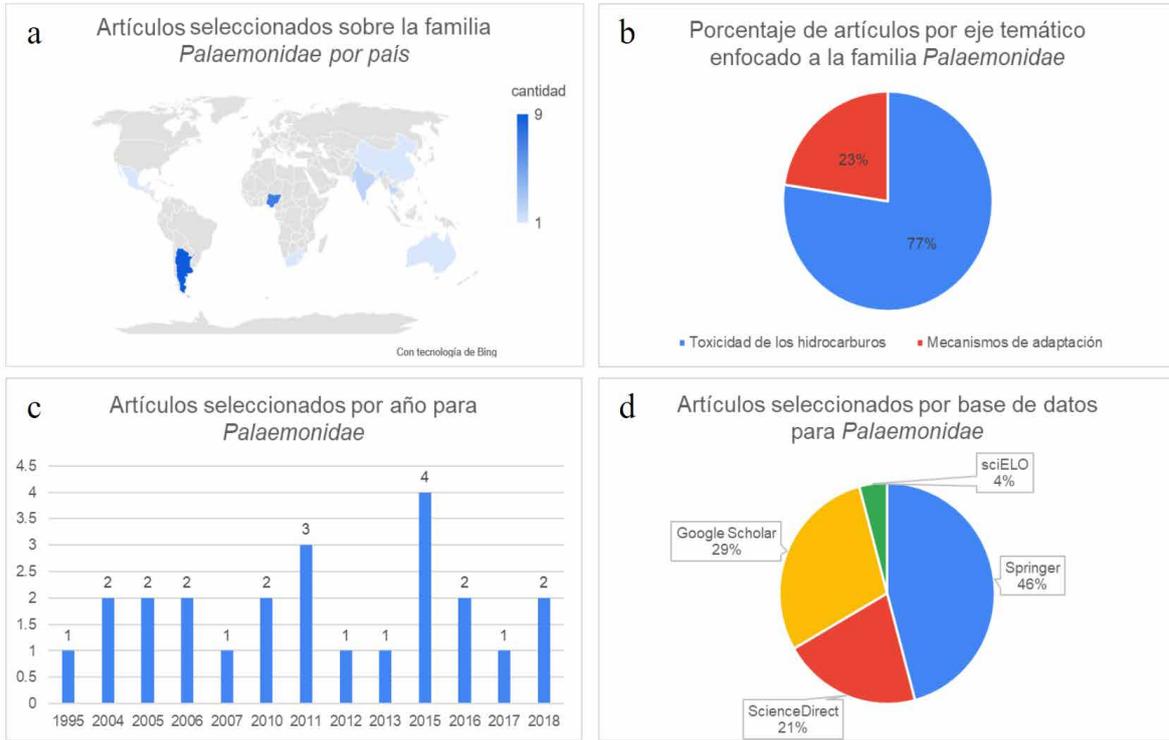
como México, India, Tailandia, Australia, China y South África poseen una menor cantidad de artículos publicados relacionados, entre 1 - 2 (Figura 2a).

#### Resultados por eje temático para Palaemonidae

Se realizó un gráfico de pastel para resaltar el porcentaje de los artículos seleccionados que contienen los ejes temáticos utilizados. De los 24 artículos seleccionados sobre Palaemonidae el 77% contenía el eje temático de toxicidad de los hidrocarburos; mientras que, el 23% de artículos comprendía el otro eje temático sobre los mecanismos de adaptación. (Figura 2b).

**Figura 2**

*Aspectos generales de los artículos seleccionados sobre la familia Palaemonidae*



### Resultados por año para *Palaemonidae*

De los 24 artículos seleccionados sobre *Palaemonidae*, cuatro artículos pertenecen al año 2015; mientras que, los demás fueron artículos publicados entre los años 1995 - 2018 que contenían información usada para esta revisión (Figura 2c).

### Resultados por búsqueda en base de datos para *Palaemonidae*

Se utilizaron las bases de datos de ScienceDirect, SciELO, Springer y Google Scholar. De los cuales el 46% de los 24 artículos seleccionados para la familia *Palaemonidae* resultó ser de la base Springer; mientras que, el 4% fue de la base de datos de SciELO (Figura 2d).

### *Hyaellidae*

#### Resultados por países para *Hyaellidae*

Se realizó un mapa sobre los países

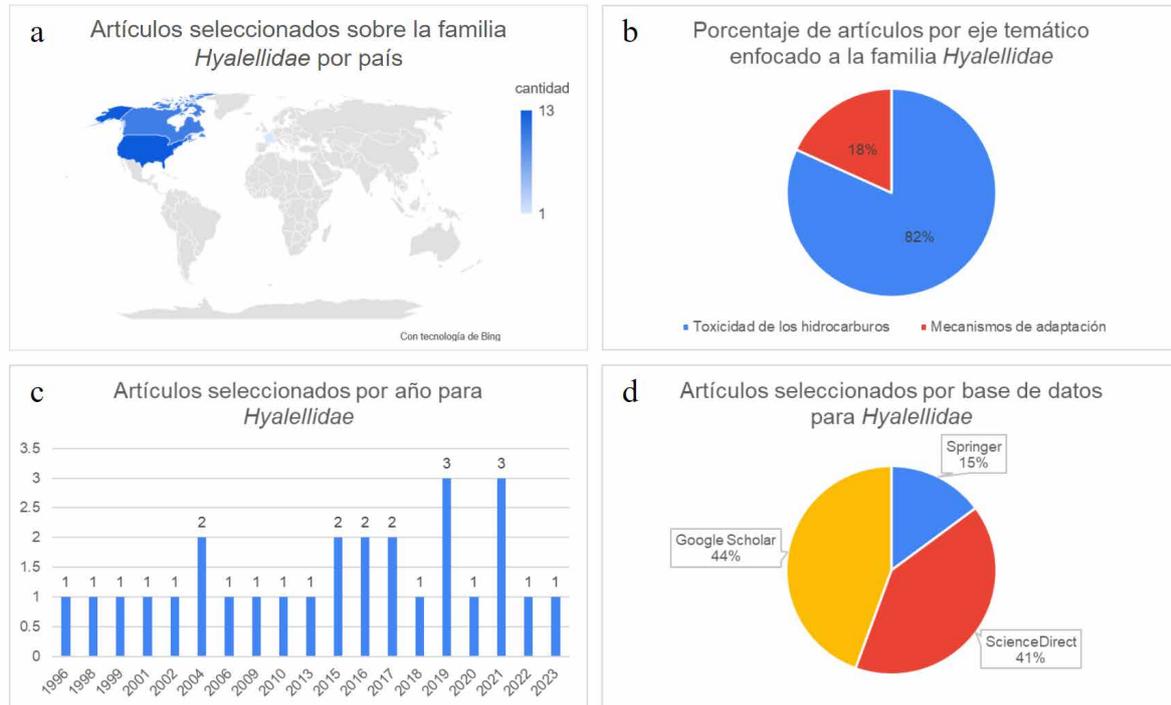
que han realizado estudios con nuestro tema de investigación relacionado con la familia *Hyaellidae*. Los países con más cantidad de estudios fueron Canadá y Estados Unidos con un total de 10 y 13 artículos respectivamente; mientras que, los otros países con menores resultados; es decir, entre uno y dos artículos fueron Corea, Francia y Taiwán (Figura 3a).

#### Resultados por eje temático para *Hyaellidae*

Se realizó un gráfico de pastel para resaltar el porcentaje de los artículos seleccionados que contienen los ejes temáticos utilizados. De los 27 artículos seleccionados sobre *Hyaellidae* el 82% contenían el eje temático de toxicidad de los hidrocarburos; mientras que, el 18% de artículos contenían el otro eje temático sobre los mecanismos de adaptación (Figura 3b).

### Figura 3

*Aspectos generales de los artículos seleccionados sobre la familia Hyalellidae*



#### Resultados por año para *Hyalellidae*

De los 27 artículos seleccionados sobre *Hyalellidae*, seis artículos son del año 2019 y 2021; mientras que, los demás fueron artículos entre los años 1996 - 2023, que contenían información usada para esta revisión (Figura 3c).

#### Resultados por búsqueda en base de datos para *Hyalellidae*

Se utilizaron las bases de datos de ScienceDirect, Springer y Google Scholar. De los cuales el 44% y 46% de los 27 artículos seleccionados para la familia *Hyalellidae* resultaron ser de la base de datos de ScienceDirect y Google Scholar respectivamente; mientras que, el 15% fue de la base de datos de Springer (Figura 3d).

#### Discusión

##### Efecto de hidrocarburos en crustáceos Decápodos, familia *Palaemonidae*

##### Efecto toxicológico en la eclosión de huevos

Gorcharoenwat et al. (2015) analizaron el efecto de concentraciones de 50 y 100% de WSF de biodiésel a diferentes temperaturas sobre los huevos de *Macrobrachium rosenbergii* y observaron que el tratamiento de biodiésel a 100% presentó menor porcentaje de eclosión que el tratamiento de diésel a 100% en todas las temperaturas. Esto ocurre porque el biodiésel forma una emulsión con el agua, que coagula los poros del huevo y reduce el suministro de oxígeno. Sin embargo, al analizar la supervivencia

de las larvas eclosionadas, los autores encontraron que el tratamiento de biodiesel presentó un mayor porcentaje de supervivencia que el tratamiento de diésel, aunque se observó que la toxicidad del primero aumentaba considerablemente a temperaturas superiores a 31°C, mientras que la toxicidad del diésel a 50% disminuye al aumentar la temperatura. Este efecto se da debido a que el diésel es un hidrocarburo más aromático que el biodiésel y según lo explica Rice et al. (1977), los hidrocarburos aromáticos retienen la toxicidad por más tiempo en agua fría que en agua tibia.

Asimismo, Lavarias et al. (2004) experimentaron con huevos de *M. borelli* expuestos a 2,7 mg.mL de WFS de crudo ligero desde la oviposición hasta la eclosión, se evidenció una reducción significativa de la supervivencia de los embriones, pasando de 77,3%, en el control, a 46,3%.

### **Efectos de hidrocarburo (WFS diesel y biodiesel) en diferentes etapas larvarias**

Gorcharoenwat et al. (2015) analizaron el efecto que tiene la fracción soluble (WSF) de biodiésel y diésel a diferentes concentraciones y temperaturas en las larvas de *M. rosenbergii*, y observó que la mortalidad en el tratamiento con WSF-biodiésel no presentaba diferencias significativas con el control. No obstante, en el tratamiento de diésel se encontró una elevada mortalidad larval, que dependía inversamente de la temperatura, siendo la  $CL_{50}$  a una exposición de 96h de 1,3%, 5,0%, 2,15, 15%, 36,05% para 25°C, 28°C, 31°C, 34°C respectivamente. Esto podría deberse a la volatilidad de la WSF-diésel a altas temperaturas (Benjumea et al., 2008).

Asimismo, el estudio de Gorcharoenwat et al. (2016) al analizar la exposición de los diferentes estados larvarios (8, 12 y 22 días) del mismo camarón con WSF de biodiésel y diesel a diferentes concentraciones y temperaturas, encontró que a los ocho días de nacidas las larvas presentaban una alta mortalidad, pero especialmente la mortalidad del WSF - diésel a las 96h en todas las temperaturas aumentó en casi un 50% con respecto al control, sin embargo a los 28, 31 y 34°C la tasa de mortalidad de las larvas que fueron expuestas a WSF- diésel fue significativamente mayor que las de WSF-biodiésel y el control. Esto podría indicar que, con respecto al WSF-diésel, el WSF-biodiésel se vuelve menos tóxico a medida que aumenta la temperatura. Con respecto a las larvas de 13 días, es importante resaltar que su mortalidad fue ligeramente menor que las de ocho días, y que no se encontraron diferencias significativas con la temperatura excepto a 31°C, donde la tasa de mortalidad de las larvas expuestas a WSF-diésel y biodiésel fue mayor que las expuestas al control, por lo que no se encontró un efecto obvio de la temperatura sobre la toxicidad del diésel o biodiésel.

Finalmente, a los 22 días de nacidas o post larvales se observó que del WSF-biodiésel fue mayor que la del WSF-diesel y el control, algo que puede ser resultado de que en etapas juveniles los camarones suelen nadar hasta la superficie para recibir más oxígeno y el WSF-biodiésel al ser menos soluble que el WSF-diésel forma una lámina delgada y turbia que se encuentra en esta parte (Yassine et al., 2012). Sin embargo, la tasa de mortalidad acumulada fue menor al 20%, esto podría deberse a que los órganos y apéndices del camarón se encuentran

mejor desarrollados y son más efectivos para eliminar los contaminantes (Khan et al., 2007).

### **Toxicidad de hidrocarburos en adultos**

Al estudiar la fracción hidrosoluble del petróleo se encontró que los cambios patológicos y de mortalidad se encontraban fuerte y directamente asociados a la concentración del tóxico y al tiempo de exposición. Ekanem et al. (2011) realizaron una investigación en los adultos de *Macrobrachium vollehovenii* e identificó que estos eran más sensibles que el *M. macrobrachion*, ya que tenían un  $CL_{50}$  de 4 mg/L en comparación con el 5 mg/L del *M. macrobrachion* luego de 96 h de exposición; sin embargo, no hubo diferencias estadísticamente significativas.

Por otro lado, Lavarías et al. (2004) identificaron que las larvas de *M. borelli* fueron más sensibles que los adultos, siendo sus  $CL_{50}$  a 96 h de 1,41 y 1,56 mg/mL respectivamente, aunque sus diferencias no fueron estadísticamente significativas. Similarmente, Ndimele (2011) realizó el bioensayo de toxicidad aguda del petróleo crudo en *Desmocarís trispinosa* (Crustacea, Palaemonidae), y obtuvo como resultado que el  $CL_{50}$  a las 24h y 48h de exposición fue de 0 mg/L, mientras que para las 72 h y 96 h horas fue de 281.84 mg/L y 120.23 mg/L respectivamente.

Asimismo, Ruiz et al. (2018), usaron al *Macrobrachium tenellum* para analizar el nivel de toxicidad del diésel por medio del cálculo de la  $CL_{50}$  y encontró que después de 6h de exposición la  $CL_{50}$  de los organismos se daba a una concentración de 16 mg/L. Estos resultados demuestran que la toxicidad aguda en los organismos

acuáticos experimenta variaciones que pueden depender de varios factores entre los que se encuentran la variedad de especies, el hábitat, la edad, la duración de la exposición, el tiempo de bioensayo y de crudo utilizado, así como el método analítico aplicado (Akbari et al 2004).

Por otra parte, dos artículos estudian la toxicidad de mezclas compuestas principalmente por hidrocarburos. Amaeze et al. (2015) utilizaron al *Palaemonetes africanus* para evaluar el efecto toxicológico de un efluente de oleoducto en desuso; obteniendo como resultado un  $CL_{50}$  de 53,91% después de 96 h de exposición. Se observó que la mortalidad fue significativamente dependiente de la dosis y del tiempo, aunque al tratarse de una mezcla de varios compuestos su toxicidad es más compleja de entender. Asimismo, Atuanyan et al. (2015) utilizaron un organismo de agua dulce (*Desmocarís trispinosa*) y agua salobre (*P. africanus*) para evaluar la toxicidad del lodo oleoso de refinería de petróleo; se observó que los organismos de agua dulce presentaban una mortalidad promedio mayor que los de agua salobre, obteniendo un  $CL_{50}$  para 10 días de exposición de 1097,38 mg/kg y 1590,38 mg/kg, para el *D. trispinosa* y *P. africanus* respectivamente. La diferencia de las respuestas de los camarones de agua dulce y agua salobre puede deberse a la demanda osmoregulatoria de los distintos ambientes.

### **Efecto subletal en la producción de lípidos**

Lavarías et al. (2005) analizaron la exposición de *M. borelli* a WSF y observó que en el hepatopáncreas hubo una reducción de los fosfolípidos

(PL) y la fosfatidilcolina (PC), la cual disminuyó de 62% a 53%. Asimismo, hubo una reducción del 11% de los triacilgliceroles (TAG), que es el lípido dominante en los huevos. Estos cambios en el contenido y composición de lípidos, se debe principalmente a los daños que ocasiona el WSF en la membrana. También se evidenció una disminución del antioxidante potente *astaxanthin* en el hepatopáncreas debido a que fue consumido por el organismo para prevenir daño oxidativo ya que este antioxidante es el encargado de la detoxificación de xenobióticos. Además, la disminución de la ratio PL/TAG por el aumento de TAG en el hepatopáncreas puede definirse como un mecanismo para incrementar la síntesis de TAG o disminuir su movilización a las reservas de fosfolípidos, disminuyendo la biodisponibilidad del WSF por dilución. Este mismo efecto de la reducción de los lípidos se observó en el artículo de Lavarías et al. (2007), quienes determinaron que la exposición de *M. borelli* a 0,6 mg/L de la fracción hidrosoluble de hidrocarburos (WSF) afectó las vías de síntesis de lípidos y las vías metabólicas del organismo.

Otros estudios también explican el comportamiento de los lípidos, como el de Lavarías et al. (2006), quienes analizaron el papel del ACS ante la exposición de WSF y se evidenció un incremento simultánea de la ACS y de la oxidación, esto se debe porque los ácidos grasos activados por la ACS mitocondrial son usados para la producción de energía. Resultados similares se mostraron en el artículo de González-Baró et al. (2000), donde se incrementa la actividad del TAG-lipasa para satisfacer la mayor demanda de energía que se requiere para manejar el estrés generado por los hidrocarburos; específicamente en los huevos de etapa

5, ya que durante ese estado de la embriogénesis se presenta la actividad más alta de rutas anabólicas y catabólicas de lípidos para suplir la energía y los lípidos necesarios para la organogénesis. Por otro lado, Lavarías et al. (2004) mencionan que, durante los estados avanzados de embriogénesis, como es la etapa 4 y 5, no fue afectado el sistema de oxidación de ácidos grasos. Esto se debe a que la cáscara de huevo incrementa su impermeabilidad en estados más avanzados, y que la exposición crónica de huevos a WSF afecta solo los que están a punto de eclosionar.

Por lo tanto, los artículos revisados evidencian que el incremento de TAG-lipasa tiene correlación positiva con la actividad de la ACS mitocondrial y la oxidación de ácidos grasos, indicando un aumento de este último para la producción de energía. Asimismo, los camarones de agua dulce evidencian un incremento del flujo de metabolitos por medio de la ruta catabólica de lípidos, a causa de la activación de enzimas disponibles.

### **Efecto subletal en la producción de proteínas**

Yamuna et al. (1995) evaluaron la exposición de *Macrobrachium lamerrei* a dos concentraciones subletales de hidrocarburos aromáticos policíclicos (0.75% y 3.75%) durante 28 días y evidenció una disminución en el contenido de proteínas totales en la hemolinfa y el hepatopáncreas, debido a que el langostino utiliza las proteínas como fuente de energía para contrarrestar el estrés inducido por el tóxico. También, se observó una reducción de una glicoproteína de alto peso molecular (106 - 90 kD) de la hemolinfa, debido

a la posible inhibición de la síntesis de vitelogenina por el effluente.

Otros estudios también demuestran el efecto de WSF sobre las proteínas, como el de Lavarías et al. (2006) evaluaron la exposición de *M. borelli* a este contaminante y observó que la oncoproteína Nm23, el aldehído graso deshidrogenasa, la arginina metil transferasa y la glutatión S-transferasa se redujeron mientras que el gliceraldehído 3 fosfato deshidrogenasa y una caroteno proteína similar a la lipocalina aumentaron. Esto se debe porque las proteínas que se encargan de realizar funciones relacionadas con el metabolismo de aminoácidos y carbohidratos, como la gliceraldehído 3 fosfato deshidrogenasa, cataliza la síntesis de un intermediario de alta energía utilizado en la síntesis de ATP, de modo que la exposición a WSF provoca un incremento de la producción de energía al aumentar el consumo de ácidos grasos y la beta oxidación. Con respecto a la caroteno proteína, que es responsable de la coloración del exoesqueleto de los crustáceos, se encontraron resultados similares en el artículo de Di Giulio et al. (1995), quienes encontraron que esta se encontraba sobreexpresada después de la exposición subletal a WSF. Sin embargo, aún no se tiene claro cuáles son las razones por la que este compuesto altera el mecanismo regulador de la CTC en *M. borelli*. Además, también se evidenció una disminución de la GST, enzima de desintoxicación de fase II, que es la reguladora de la expresión genética o unión de proteínas.

### Respuesta de biomarcadores

Webb (2011) expuso a los camarones *P. australis* a diferentes concentraciones

(0.01, 0.1, 1 ppm) del PAH benzo[a]pyrene (B[a]P) con el objetivo de evaluar una selección de marcadores bioquímicos, que consisten en la actividad de las enzimas Etoxicumarina-O-deetilasa (ECOD) y Sorbitol deshidrogenasa (SDH), y la concentración de bases de nucleósidos de ADN (recuento de 8-hydroxy-2-deoxyguanosine). Con respecto a la actividad de la ECOD, se observó un aumento de esta a mayor concentración de B[a]P, siendo los tratamientos 0,01, 0,1 y 1 mayores en un 220%, 460% y 1100% respectivamente en relación al control. Resultados similares se evidencian en el estudio de Oberdorster et al. (2000), quienes demostraron que los PAHs incrementan significativamente la actividad de la proteína similar a CYP1A (P450) en *P. pugio* según lo medido por ECOD en extractos hepatopancreáticos.

Con respecto a la actividad del SDH, no se encontraron diferencias significativas entre ningún tratamiento. Esto podría representar un factor de confusión al interpretar la actividad del ECOD, ya que Battison (2006) explica que el incremento de la actividad de SDH, representa un indicador que la integridad celular del hepatopáncreas se ha visto comprometida, por lo que el hepatopáncreas sería menos capaz de desintoxicar y eliminar contaminantes. Con respecto a la concentración de bases de nucleósidos de ADN, se observó que la concentración en los tres tratamientos era un 66% menor a las concentraciones en el control. La concentración de 8-oxo-dG indica daño en el ADN por radicales hidroxilo (Gagnon & Rawson, 2017).

Por otro lado, García y Heras (2012) midieron el potencial del uso

de la vitelogenina y lipovitelina en las diferentes etapas de maduración ovárica en la *M. borelli* como biomarcador de contaminación de 0.6 ppm de WSF, y observaron que las hembras con índices gonadosomáticos por encima de siete evidencian un incremento significativo de vitelogenina y lipovitelina, siendo mayor al control en un 52-180% y 14-40% respectivamente.

### Mecanismos de adaptación

Lavariás et al. (2011) realizaron un estudio que tuvo como objetivo evaluar los efectos de la WSF sobre el estado antioxidante del camarón de agua dulce *M. borelli*, dio como resultados que la actividad de la enzima antioxidante superóxido dismutasa (SOD) después de la exposición no se alteró en las branquias, pero en el hepatopáncreas, se evidenció un aumento en el 43% de la actividad después de siete días de exposición. Con respecto a la catalasa (CAT), otra enzima antioxidante, su actividad aumentó significativamente en el hepatopáncreas de los individuos a los cuatro a siete días de exposición con respecto a los controles, en las branquias se observó un incremento significativo después de una exposición de siete días. Otra de estas enzimas, el peróxido de glutatión (GPx), no mostró diferencias significativas en su actividad entre los organismos tratados y los controles, tampoco se encontraron diferencias entre los tejidos.

Con respecto a la glutatión S-transferasa (GST), se evidenció una reducción de su actividad en el hepatopáncreas de los camarones que fueron expuestos a WSE durante siete días en comparación con los expuestos durante cuatro días, la reducción de esta enzima es algo que

también se vio en el estudio del efecto de los hidrocarburos de petróleo crudo sobre la expresión proteica de Pasquevich et al. (2013). Estos análisis se realizan en el hepatopáncreas debido a que es el sitio principal para la captación de sustancias tóxicas y enzimas de biotransformación generadoras de radicales oxi (Saravana & Geraldine, 2001), tendencias similares a las encontradas en este estudio con respecto a la SOD y CAT se han visto en camarones del mismo género como el *Macrobrachium malcolmsonii* y *M. lamarrei*; sin embargo el GPx Y GST experimentaron actividades altas en el hepatopáncreas y las branquias (Arun & Subramanian, 1998).

Asimismo, Lavariás et al. (2005) cuando expuso *M. borelli* a WSF obtuvieron que los tejidos con una ratio TAG/fosfolípido menor fueron más afectados; asimismo especies moleculares de fosfatidilcolina (PC) que contienen ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) tuvieron una disminución significativa, probablemente debido a la susceptibilidad de los PUFA a la lipoperoxidación inducida por la detoxificación de hidrocarburos aromáticos. Los ácidos grasos saturados producen fosfolípidos menos fluidos debido al largo mayor de sus cadenas, pero PUFA hacen las membranas sólo ligeramente más fluidas que los ácidos grasos monoinsaturados. Por ello, la disminución en las especies que contienen PUFA puede ser compensada por el incremento de especies que contienen 18:1 di-monoinsaturados. Por lo que la remodelación y reestructuración de las especies moleculares puede ser un factor importante de adaptación de la membrana lipídica, minimizando las alteraciones causadas por el WSF (Lavariás et al., 2005).

## Efecto de hidrocarburos en crustáceos Anfípodos, familia *Hyaletellidae*

### Toxicidad de hidrocarburos en adultos

En el artículo de Hatch y Burton (1999), se evaluó la supervivencia y el comportamiento de los organismos *H. azteca* y *Chironomus tentans* en diferentes sustratos a una exposición de 10 días, siendo las concentraciones de sedimentos con Antraceno y Fluoranteno de 0, 100, 500, 1000, 2500 y 5000 mg/kg. Los resultados observados para supervivencia arrojan que la *H. azteca* parece ser más resistente a los efectos tóxicos del sedimento que *C. tentans*. Por otro lado, en las exposiciones solo en agua, los valores  $CL_{50}$  de *C. tentans* fueron más altos que los de *H. azteca*, para Antraceno fue de 6,0 µg/L (3,9-7,7) a 5,6 µg/L (4,3-6,7), y para Fluoranteno de 12,6 µg/L (8,5-15,8) a 7,3 µg/L (5,5-8,7), respectivamente.

De igual manera, en el estudio de Bartlett et al. (2017), se tuvo como objetivo evaluar la toxicidad de los NAFC (componentes de la fracción de ácido nafténico) derivados de OSPW (aguas afectadas por el proceso de las arenas bituminosas) fresco y envejecido, así como de mezclas comerciales de ácido nafténico (NA). La supervivencia de *H. azteca* se vio afectada a los siete días en concentraciones similares de ensayo en los cuatro extractos de NAFC, con  $CL_{50}$  de 16,7 mg/L para el extracto 2009 Industry A Fresh, 25,0 mg/L para 2011 Industry A Fresh, 27,4 mg/L para 2011 Industry B Fresh, y 18,4 mg/L para 2011 Industry A Aged. Respecto a las mezclas comerciales: Acros, Aldrich y Merichem, cuyas concentraciones varían entre 0,1 a 10 mg/L de NA, y las  $CL_{50}$  fueron de 1,27 mg/L, 0,882 mg/L y 1,63 mg/L,

respectivamente, siendo de 10 a 30 veces más tóxicas. Es así que, se influye que los extractos de NAFC al ser más antiguos (Aged), tenían más toxicidad que los frescos (Fresh); asimismo, las mezclas de NA comerciales, son significativamente más tóxicas al tener un comportamiento sinérgico que afecta más a los organismos de la *H. azteca*.

Asimismo, en la investigación de Indiketi et al. (2023), se buscó evaluar la toxicidad del sedimento natural contaminado con dilbit (es un betún diluido con uno o más productos derivados del petróleo más ligeros, normalmente condensados de gas natural como la nafta), sobre dos especies bentónicas de agua dulce, *H. azteca* y la *Chironomus riparius*. De esta manera, los organismos bentónicos fueron expuestos a dos concentraciones (164 mg/kg y 832 mg/kg) y a una concentración intermedia (416 mg/kg) de dos dilbit (DB1 y DB2) y un aceite pesado convencional (CO), teniendo como resultado que los anfípodos fueron mucho más sensibles al aceite que los quironómidos. Los valores de  $CL_{50}$ -14d para *H. azteca* fueron de 199 mg/kg C10-C50 para DB1, 299 mg/kg para DB2 y 8,42 mg/kg para CO en comparación con los valores de  $CL_{50}$ -7d para *C. riparius* de 492 mg/kg para DB1, 563 mg/kg para DB2 y 514 mg/kg para CO. Por último, Gauthier et al. (2015) buscaron evaluar el riesgo ecológico basada en mezclas binarias de metales (Cd, Cu, Ni y V) y dos PAHs, fenantreno (PHE) y fenantrenoquinona (PHQ), para la *H. azteca* mediante experimentos de toxicidad de mezclas binarias de 48 h en agua sola para determinar la naturaleza tóxica aditiva de las mezclas utilizando este anfípodo acuático. Se observó una letalidad más que aditiva

observada para todas las mezclas Cu-PHE, Cu-PHQ, Cd-PHE y Cd-PHQ en las concentraciones de las Directrices Canadienses de Calidad del Agua que ocasionan una mortalidad del 7,5%, 3,7%, 4,4% y 1,4%, respectivamente. Por lo cual se tiene que, los metales causan efectos significativos tóxicos en la *H. azteca*; sin embargo, al ser mezclados con PAHs, ocasionan una letalidad mucho más aditiva para el organismo.

### **Efectos subletales de los hidrocarburos en *Hyalella azteca*: tamaño, daño al ADN comportamiento, reproducción y supervivencia de las crías**

En cuanto a los efectos subletales, uno de los indicadores más utilizados en la literatura es el tamaño del individuo, sin embargo, se encontraron artículos que involucran el daño al ADN y el comportamiento de los individuos en un medio contaminante. Tres artículos que presentaron los efectos subletales de la mejor manera fueron Indiketi et al. (2022), Indiketi et al. (2023) y Hatch & Burton (1999), los tres trabajaron con hidrocarburos del petróleo, y dos de ellos con un tipo de petróleo no convencional muy presente en Canadá.

En el primer estudio, Indiketi et al. (2022) evaluaron el efecto de la fracción que contiene hidrocarburos solubles (WAF, por sus siglas en inglés) utilizando sedimento natural y artificial en el anfípodo de agua dulce *H. azteca*, encontrando como resultado que el tamaño del individuo depende de diversos factores y no solo de la contaminación presente, entre ellos el tipo de sedimento del cual se alimentan, ya que son organismos detritívoros, además de la cantidad de comida disponible; debido a que en el estudio se comparó dos tipos

de sedimentos, se logró observar que los organismos sobrevivientes expuestos a los sedimentos artificiales eran de menor tamaño comparados con los que podían alimentarse de sedimentos orgánicos, en parte por la falta de materia orgánica en el escenario artificial.

Además, se explica la razón de que los individuos sobrevivientes en las tasas de mortalidad más altas hayan sido ligeramente más grandes que los individuos que se encontraban en tasas de mortalidad menores, esto se debe a que, al sobrevivir a la mayor mortalidad, tenían una mayor cantidad de comida disponible, y caso contrario ocurría en tasas de menor mortalidad. En el estudio, se concluyó que el tamaño de los organismos sobrevivientes no fue impactado del todo por la exposición a los WAF's.

En cuanto al segundo artículo, Indiketi et al. (2023) evaluaron los efectos crónicos, intermedios y agudos del "dilbit", que es petróleo diluido, en dos organismos bentónicos: larvas de *Chironomus riparius* y *H. azteca* (anfípodo). El estudio demostró que el anfípodo tuvo una sensibilidad mayor al petróleo comparado con *C. riparius*, hecho que podría deberse a que la *H. azteca* cuenta con dos vías de exposición, a través del agua y de los sedimentos (ingesta). Sin embargo, dentro de los resultados se encontró que frente a la exposición a los contaminantes ambas especies redujeron su tamaño comparado con los controles. No obstante, los autores recalcan que independientemente de los efectos tóxicos evidenciados en el tamaño, existe la posibilidad de que los organismos sobrevivientes hayan sido biológicamente más fuertes que los que fallecieron, hecho que se vería explicado nuevamente con

su teoría de que los sobrevivientes de las tasas con mayor mortalidad, al final recibieron mucha más comida de la regular (y viceversa), lo cual pudo haber tenido un claro efecto en el tamaño final que presentaron, logrando que al final del estudio se presentaran menos efectos subletales en los individuos sobrevivientes de acuarios con más mortalidad.

Por otro lado, en esta investigación también se reporta que los daños promedio del ADN en *H. azteca* fueron del 21%, sin embargo, estos no fueron significativos en ninguna de las exposiciones a contaminantes en comparación con el control. Asimismo, es importante resaltar que no se pudo evaluar efectos en la reproducción debido a la alta mortalidad en las concentraciones propuestas. Aun así, se pudo observar en el mismo estudio que los hidrocarburos son capaces de cambiar las propiedades de los sedimentos, de forma que se disminuye la cantidad de oxígeno disponible, lo cual se refleja en la asfixia de los organismos bentónicos. Everitt et al. (2020), indicaron que las partículas de sedimentos oleaginosos se veían involucradas en la inhibición del movimiento de los apéndices o bloqueo del movimiento de los pleópodos, encargados de la respiración de *H. azteca*, quien a su vez se veía afectada por la adhesión de partículas a las branquias.

Por último, en el tercer artículo, Hatch y Burton (1999) basaron su estudio en la combinación de la radiación ultravioleta (UV) y los hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH), mencionando que cuando la luz UV se presenta en una intensidad incrementada o suficiente, esta puede incrementar la toxicidad aguda de algunos PAH en la biota acuática. Es así, que realizan una investigación abarcando

el comportamiento de la *H. azteca* y *Chironomus tentans*, exponiéndolos a dichos contaminantes combinados en cuatro tratamientos, donde se observó que en el tratamiento sin sustrato los individuos de *H. azteca* tendieron a agruparse, al igual que en el tratamiento solo con hojas, todos los individuos expuestos se encontraban bajo las hojas, mientras que en los tratamientos de sedimentos o arena no se evidenciaron respuestas conductuales significativas. Además, recabaron que el comportamiento posiblemente tenga un efecto sobre la supervivencia, ya que la *H. azteca* fue capaz de modificar su comportamiento al ser expuesta a los PAH fototóxicos junto con la luz UV.

Además, otro indicador de los efectos subletales fue en la reproducción y la supervivencia de las crías de *H. azteca* expuesta a diferentes tipos de hidrocarburos principalmente los PAH. Se encontraron tres artículos que describieron el efecto de la exposición a hidrocarburos en la tasa reproductiva de esta especie que son Long (2006), Satbhai et al. (2017) y Ingersoll et al. (1998) que trabajaron la reacción en la reproducción de la *H. azteca* contaminada con sedimentos de hidrocarburos PAH), fenantreno, DBT. Por otro lado, se encontró un artículo de Hu et al. (2021) que describieron la supervivencia de las crías de *H. azteca* en Pireno.

En primer lugar, Long (2006), expone a esta especie a sedimentos de hidrocarburos y se evidenció que hubo una alteración en su comportamiento afectando directamente su reproducción, donde la tasa disminuyó hasta un 40%. Por otro lado, Satbhai et al. (2017) estudiaron más a fondo este efecto, pero usaron Fenantreno y DBT (4,68 µg/L

por 24 h), arrojando que se retrasa la iniciación del apareamiento de la especie y el tiempo de apareamiento se extiende más de lo común, haciendo que la tasa reproductiva disminuye en más 50%. Además, Ingersoll et al. (1998) estudiaron el efecto en la producción de crías, donde se evidencia una gran diferencia significativa entre el control (8,3 crías/hembra) y el tratamiento (0,8 crías/hembra). De lo expuesto, se concluye que la tasa reproductiva de la *H. azteca* es sensible a la exposición de hidrocarburos, afectando principalmente en la producción de las crías y el tiempo de reproducción.

Por otro lado, en un estudio se evaluó el efecto del Pireno en las crías de la *H. azteca*. Hu et al. (2021) expuso crías de a este contaminante (10.11 µg/L por 24 h), donde el control tuvo una supervivencia del 80% y el tratamiento tuvo una tasa de supervivencia del 0%, es decir que ninguna cría sobrevivió; además, se evaluaron la tasa de crecimiento y eclosión donde ambas se vieron afectada negativamente. En el crecimiento, el rango estuvo entre 3-6 mm, muy por debajo del control que se mantenía entre 6 - 12 mm. De lo discutido, se puede afirmar que los hidrocarburos tienen efectos negativos en la supervivencia y el crecimiento en la cría de la *H. azteca*; sin embargo, faltan más estudios que puedan profundizar este efecto subletal.

### Mecanismos de adaptación

En el estudio de Ha et al. (2019) mencionan que en las *H. azteca*, los PAH son sustancias químicas narcóticas que se acumulan en la bicapa lipídica de las células, ya que como indica Franks y Lieb (1990), los efectos narcóticos se producen

como resultado de interacciones no covalentes que implican la interrupción de la interacción Van der Waals entre los componentes lipídicos y/o proteicos de las membranas celulares. De esta manera, en el ensayo de Landrum et al. (2004), se observa un aumento en el contenido de lípidos, al evaluar la exposición de la *H. azteca* por 28 días, al contaminante Pentaclorobenceno. El contenido en lípidos de los organismos en el experimento al día 0 fue de  $4,5 \pm 1,1\%$  (n = 10) del peso seco a las 0 h, al día 10 de  $6,7 \pm 1,7\%$  (n = 26), y para el día 28 de  $7,7 \pm 2,4\%$  (n = 18), teniendo un incremento en el contenido de lípidos a lo largo del estudio, sin observarse diferencias estadísticamente significativas en el contenido de lípidos entre el control y los tratamientos.

Esto lo interpreta Schuler et al. (2009) como la “supervivencia del organismo más relleno”, ya que como mencionan Lee et al. (2002), la *H. azteca* tiene la capacidad de metabolizar los PAH. En el estudio de Indiketi et al. (2022) se puede explicar esto, ya que al someter a este organismo a los hidrocarburos aromáticos policíclicos, se demostró que la actividad GST (glutación S-transferasa) apareció saturada al 75% WAF (23,05-89,66 µg/L TPACs, 789,3-3509 µg/L VOCs), lo cual conduce a un aumento de la peroxidación lipídica, presumiblemente porque una acumulación de metabolitos PAH conduciría a una saturación de las defensas contra el estrés oxidativo (Berube et al., 2021). Teniendo así que el aumento en el contenido de lípidos en la *H. azteca* es una respuesta del organismo al ser un mecanismo de defensa contra los PAH.

Las enzimas oxidativas y enzimas detoxificantes son propuestas como un

mecanismo de defensa por Indiketi et al. (2022) e Indiketi et al. (2023). En el primer artículo, los autores evaluaron las variaciones dadas en la actividad de dichas enzimas, ya que ello puede dar indicios de la presencia de un contaminante y del estrés oxidativo. Como se mencionó anteriormente, estas enzimas son estudiadas cuando se busca información acerca de los mecanismos de defensa de ciertos organismos, como la *H. azteca*, frente a la exposición de xenobióticos o especies reactivas de oxígeno (ROS); las más comunes y las evaluadas en este artículo fueron la superóxido dismutasa (SOD), glutatión peroxidasa (GPx) y catalasa (CAT), a su vez, estas fueron utilizadas como biomarcadores en el estudio, sin embargo, se midió una cantidad limitada de efectos en ellas, debido a que luego de siete o catorce días de exposición (la cantidad de días utilizados en el estudio) los sistemas de detoxificación de los individuos ya habrían retornado a su nivel basal en respuesta a la poca persistencia de los hidrocarburos en el agua o en los sedimentos. Por otro lado, Indiketi et al. (2023), en su estudio evaluaron la actividad de las tres enzimas mencionadas anteriormente sumadas a la glutatión-S-transferasa (GST), que es una enzima fundamental en los procesos de metabolización de los contaminantes, relacionando la importancia de las enzimas detoxificantes y de la metabolización como mecanismo de adaptación y defensa, mencionado en párrafos anteriores.

### Conclusiones

Con respecto al Orden Decápoda, la información sobre el efecto de hidrocarburos en diferentes géneros de la familia Palaemonidae es limitada, se ha visto que existe mayor investigación con

respecto al efecto de otros contaminantes. Sin embargo, al realizar las revisiones bibliográficas se ha identificado que los embriones durante la oviposición hasta la eclosión son resistentes a la exposición crónica a WSE, debido a que la membrana del huevo restringe la entrada del contaminante hasta etapas posteriores. Asimismo, se evidenció que los hidrocarburos presentaban altos niveles de mortalidad y disminuían la diversidad de especies en varios organismos adultos de la familia Palaemonidae, pero existían variaciones que iban de acuerdo a factores como la variedad de especie, la duración de la exposición, temperatura, el crudo utilizado, la edad de los individuos y el método analítico aplicado. Se ha observado, que esta especie puede ser idónea para la evaluación ecotoxicológica de hidrocarburos debido al gran número de posibles biomarcadores que posee y se encuentran evidenciados en los efectos subletales y mecanismos de adaptación, como lo son las proteínas, enzimas, y lípidos que se reducen o sobreexpresan después de la exposición.

En cuanto a los anfípodos, encontramos que la información sobre el efecto de hidrocarburos en el invertebrado *H. azteca* es limitada, existe mayor investigación con respecto al efecto de otros contaminantes. Sin embargo, podemos concluir que esta especie es ampliamente usada para evaluación ecotoxicológica debido a sus métodos de evaluación estandarizados y a que es un individuo que posee dos vías de exposición, a través del agua y de los sedimentos (ingesta). Además, la especie es considerada como un gran biomarcador de contaminación en agua dulce, ya que actúa como indicador de la calidad del agua y de la salud del ecosistema por su importancia en la cadena alimenticia,

que le permite encontrarse en grandes cantidades en el medio. En cuanto a su mortalidad, se evidenció que, frente a la exposición de ciertos hidrocarburos, esta es más sensible que otros organismos, como los quironómidos. También se presentaron efectos subletales acarreados por los hidrocarburos, estos pueden afectar su tamaño y comportamiento, pero no de manera significativa, ello podría deberse incluso a otras causas. Estos contaminantes pueden generar

un daño en el ADN del organismo y perjudicar su tasa de reproducción, reduciendo la etapa de apareamiento y afectando la tasa de crecimiento de los embriones, asimismo, podría acortar el espectro de vida de los embriones. Por último, se evaluaron sus mecanismos de adaptación, junto con los de defensa y se visualizó que estos no son muy efectivos en cuanto a la posterior supervivencia de la especie.

### Referencias

- Amaeze, N. H., Adetoro, F. A., & Adegboro, O. A. (2015). Toxicity evaluation of effluent from the de-oiling works of a decommissioned Nigerian crude oil pipeline using *Palaemonetes africanus*. *African Journal of Aquatic Science*, 40, 57-61.
- Atuanyan, E., & Tudararo-Aherobo, L. (2015). Ecotoxicological effects of discharge of Nigerian petroleum refinery oily sludge on biological sentinels. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 9, 95-103.
- Arun, S., & Subramanian, P., (1998). Antioxidant enzymes activity in subcellular fraction of freshwater prawns *M. malcolmsonii* and *M. lamarrei lamarrei*. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 75, 187-192.
- Akaishi, F. M., Silva de Assis, H. C., Jakobi, S. C. G., Eiras-Stofella, D. R., St-Jean, S. D., Courtenay, S. C., ... & Oliveira Ribeiro, C. A. (2004). Morphological and neurotoxicological findings in tropical freshwater fish (*Astyanax* sp.) after waterborne and acute exposure to water soluble fraction (WSF) of crude oil. *Archives of environmental contamination and toxicology*, 46, 244-253.
- Akbari, S., Law, A., & Shariff, M. (2004). Toxicity of water soluble fractions of crude oil to fish, *Lutjanus argentimaculatus* and shrimp, *Penaeus monodon*. *The Iranian Journal of Science*, 28, 169-175.
- Bartlett, A., Frank, R., Gillis, P., Parrott, J., Marentette, J., Brown, L., & Hewitt, L. (2017). Toxicity of naphthenic acids to invertebrates: Extracts from oil sands process-affected water versus commercial mixtures. *Environmental Pollution*, 227, 271-279. doi:10.1016/j.envpol.2017.04.056
- Battison, A. (2006). Tissue distribution and hemolymph activity of six enzymes in the American lobster (*Homarus americanus*): potential markers of tissue injury. *Journal of Shellfish Research*, 25(2), 553-560.

- Benjumea, P., Agudelo, J., & Agudelo, A. (2008). Basic properties of palm oil biodiesel-diesel blends. *Fuel*, 87(10-11), 2069- 2075. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2007.11.004>
- Berube, R., Gauthier, C., Bourdin, T., Bouffard, M., Triffault-Bouchet, G., Langlois, V., & Couture, P. (2021). Lethal and sublethal effects of diluted bitumen and conventional oil on fathead minnow (*Pimephales promelas*) larvae exposed during their early development. *Aquatic Toxicology*, 237, 105884. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2021.105884>
- Collier, T. K., Krone, C. A., Krahn, M. M., Stein, J. E., Chan, S. L., & Varanasi, U. S. H. A. (1996). Petroleum exposure and associated biochemical effects in subtidal fish after the Exxon Valdez oil spill. *American Fisheries Society Symposium*, 18, 671-683.
- Daling, P. S., Brandvik, P. J., Mackay, D., & Johansen, O. (1990). Characterization of crude oils for environmental purposes. *Oil and Chemical Pollution*, 7(3), 199-224.
- Di Giulio, R., Benson, W., Sanders, B., & Van Veld, P. (1995). Biochemical mechanisms: metabolism, adaptation, and toxicity. In: Rand, G.M. (Ed.), *Fundamentals of Aquatic Toxicology: Effects, Environmental Fate, and Risk Assessment*. Taylor & Francis, Bristol, USA, pp. 523-561.
- Duan, Y., Guttman, S-, Oris, J., & Bailer, A (2000). Genetic structure and relationships among populations of *Hyalella azteca* and *H. montezuma* (Crustacea: Amphipoda). *Journal of the North American Benthological Society*, 19 (2), 308-320.
- Ekanem, A., Asuquo, F., & Ndick, E. (2011). Toxicity of crude oil to freshwater shrimp, *Macrobrachium macrobrachion* and *Macrobrachium vollenhovenii* from Nigerian coastal water. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 86(4), 394-397. <https://doi.org/10.1007/s00128-011-0229-8>
- Fossi, M. C., Casini, S., Savelli, C., Corbelli, C., Franchi, E., Mattei, N., ... & Depledge, M. H. (2000). Biomarker responses at different levels of biological organisation in crabs (*Carcinus aestuarii*) experimentally exposed to benzo (α) pyrene. *Chemosphere*, 40(8), 861-874.
- Franks, N., & Lieb, W. (1990). Mechanisms of general anesthesia. *Environmental Health Perspectives*, 87, 199.
- Gagnon, M. M., & Rawson, C. A. (2017). Bioindicator species for EROD activity measurements: A review with Australian fish as a case study. *Ecological Indicators*, 73, 166-180.
- García, C. E., & Heras, H. (2012). Vitellogenin and Lipovitellin from the prawn *Macrobrachium borellii* as hydrocarbon pollution biomarker. *Marine pollution bulletin*, 64(8), 1631-1636.
- Gauthier, P., Norwood, W., Prepas, E., & Pyle, G. (2015). Metal-Polycyclic aromatic hydrocarbon mixture toxicity in *Hyalella azteca*. 1. response surfaces and isoboles to measure non-additive mixture toxicity and

- ecological risk. *Environmental science & technology*, 49, 11772–11779. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b03231>
- Gerhardt, A., De Bisthoven, L. J., Mo, Z., Wang, C., Yang, M., & Wang, Z. (2002). Short-term responses of *Oryzias latipes* (Pisces: Adrianichthyidae) and *Macrobrachium nipponense* (Crustacea: Palaemonidae) to municipal and pharmaceutical waste water in Beijing, China: survival, behaviour, biochemical biomarkers. *Chemosphere*, 47(1), 35-47.
- González-Baró, M., Heras, H., & Pollero, R. (2000). Enzyme activities involved in lipid metabolism during embryonic development of *Macrobrachium borellii*. *Journal of Experimental Zoology*, 286, 231–237.
- Gorcharoenwat, P., Piyatiratitivorakul, P., & Pengprecha, S. (2015). Effects of temperature and water soluble fraction of palm biodiesel and diesel fuel on hatchability and survival of first stage larvae of *Macrobrachium rosenbergii*. *EnvironmentAsia*, 8(1), 61-67. <http://www.tshe.org/ea/pdf/vol8no1-08.pdf>
- Gorcharoenwat, P., Piyatiratitivorakul, S., Puanglarp, N., & Pengprecha, S. (2016). Effect of Water Soluble Fractions of Diesel and Biodiesel on Larvae of the Giant Freshwater Prawn, *Macrobrachium rosenbergii*, under different thermal conditions. *Walailak Journal of Science and Technology*, 14(11), 837-848. <https://wjst.wu.ac.th/index.php/wjst/article/view/2199>
- Ha, H., Park, K., Kang, G., & Lee, S. (2019). QSAR study using acute toxicity of *Daphnia magna* and *Hyalella azteca* through exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). *Ecotoxicology*, 28(3), 333-342. <https://doi.org/10.1007/s10646-019-02025-1>
- Hatch, A. C., & Burton Jr, G. A. (1999). Photo-induced toxicity of PAHs to *Hyalella azteca* and *Chironomus tentans*: effects of mixtures and behavior. *Environmental Pollution*, 106(2), 157-167. [https://sci-hub.mkksa.top/10.1016/s0269-7491\(99\)00079-2](https://sci-hub.mkksa.top/10.1016/s0269-7491(99)00079-2)
- Hu, S., Hsieh, C., Dahms, H-, Tseng, Y-, Chen, J., Wu, M., & Liu, C. (2021). Toxic effects of heavy metals and organic polycyclic aromatic hydrocarbons in sediment Porewater on the amphipod *Hyalella azteca* and Zebrafish *Brachydanio rerio* embryos from different rivers in Taiwan. *Applied Sciences*, 11 (17), 8021. <https://doi.org/10.3390/app11178021>
- Indiketi, N., Grenon, M. C., Groleau, P. É., Veilleux, É., Triffault-Bouchet, G., & Couture, P. (2022). The effects of dissolved petroleum hydrocarbons on benthic organisms: Chironomids and amphipods. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 237, 113554. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113554>
- Indiketi, N., Lhoste, E., Grenon, M. C., Gagnon, M., Veilleux, É., Triffault-Bouchet, G., & Couture, P. (2023). Toxicity and risk management of oil-spiked sediments by diluted

- bitumen for two freshwater benthic invertebrates. *Environmental Pollution*, 327, 121497. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121497>
- Ingersoll, C., Brunson, E., Dwyer, F., Hardesty, D., & Kemble, N. (1998). Use of sublethal endpoints in sediment toxicity tests with the amphipod *Hyalella azteca*. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, 17(8), 1508-1523. <https://doi.org/10.1002/etc.5620170811>
- Islas, L., Novoa, K., Islas, H., San Juan, N., & Gómez, L. (2019). Evaluación de la Toxicidad de Efluentes Municipales de una Localidad del Estado de México Utilizando *Hyalella azteca* como Bioindicador. *Contaminación de Cuerpos de Agua en América Latina: Impacto de Contaminantes sobre Especies de Interés Ecológico*, pp. 97-111.
- Khan, N., Warith, M., & Luk, G. (2007). A comparison of acute toxicity of biodiesel, biodiesel blends, and diesel on aquatic organisms. <https://doi.org/10.1080/10473289.2007.10465333>
- Landrum, P., Steevens, J., Gossiaux, D., McElroy, M., Robinson, S., Begnoche, L. & Hickey, J. (2004). Time-dependent lethal body residues for the toxicity of pentachlorobenzene to *Hyalella azteca*. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 23(5), 1335. <https://doi.org/10.1897/03-164>
- Lavarías, S., Heras, H., Pedrini, N., Tournier, H., & Ansaldo, M. (2011). Antioxidant response and oxidative stress levels in *Macrobrachium borellii* (Crustacea: Palaemonidae) exposed to the water-soluble fraction of petroleum. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 153(4), 415-421. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2011.02.002>
- Lavarías, S., Dreon, M., Pollero, R. J., & Heras, H. (2005). Changes in phosphatidylcholine molecular species in the shrimp *Macrobrachium borellii* in response to a water-soluble fraction of petroleum. <https://doi.org/10.1007/s11745-005-1408-y>
- Lavarías, S., Heras, H., & Pollero, R. (2004). Toxicity, uptake, and release of the water-soluble fraction of crude oil in different developing stages of the prawn *Macrobrachium borellii*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 47, 215-222. <https://doi.org/10.1007/s00244-004-3025-1>
- Lavarías, S., Heras, H., & Pollero, R. (2006). Activation of lipid catabolism by the water-soluble fraction of petroleum in the crustacean *Macrobrachium borellii*. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2005.12.002>
- Lavarías, S., García, F., Pollero, R., & Heras, H. (2007). Effect of the water-soluble fraction of petroleum on microsomal lipid metabolism of *Macrobrachium borellii* (Arthropoda: Crustacea). *Aquatic Toxicology* 82, pp 265-271. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2007.02.017>
- Lee, J.-H., Landrum, P. F., & Koh, C.H. (2002). Toxicokinetics and

- time-dependent PAH toxicity in the Amphipod *Hyalella azteca*. *Environmental Science & Technology*, 36(14), 3124–3130. <https://doi.org/10.1021/es0112011>
- Lemos, C. T., Rödel, P. M., Terra, N. R., de Oliveira, N. C. D. A., & Erdtmann, B. (2007). River water genotoxicity evaluation using micronucleus assay in fish erythrocytes. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 66(3), 391-401.
- Long, E. R. (2006). Calculation and uses of mean sediment quality guideline quotients: a critical review. *Environmental science & technology*, 40(6), 1726-1736. <https://doi.org/10.1021/es058012d>
- Mackay, D., & McAuliffe, C. D. (1989). Fate of hydrocarbons discharged at sea. *Oil and Chemical Pollution*, 5(1), 1-20.
- Martin, J. W., & Davis, G. E. (2001). *An updated classification of the recent Crustacea*. (Vol. 39, p. 129). Natural History Museum of Los Angeles County.
- Neff, J. M., Ostazeski, S., Gardiner, W., & Stejskal, I. (2000). Effects of weathering on the toxicity of three offshore Australian crude oils and a diesel fuel to marine animals. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, 19(7), 1809-1821
- Ndimele, P. (2011). Acute toxicity of Nigerian crude oil (Bonny Light) to *Desmocarid trispinosa* (Crustacea, Palaemonidae). *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation International Journal of the Bioflux Society*, 4, 606-610.
- Oberdörster, E., Brouwer, M., Hoexum-Brouwer, T., Manning, S., & McLachlan, J. A. (2000). Long-term pyrene exposure of grass shrimp, *Palaemonetes pugio*, affects molting and reproduction of exposed males and offspring of exposed females. *Environmental Health Perspectives*, 108(7), 641-646.
- Pasquevich, M., Dreon, M., Gutierrez, J., Vázquez, C., & Heras, H. (2013). Effect of crude oil petroleum hydrocarbons on protein expression of the prawn *Macrobrachium borellii*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 157(4), 390–396. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2013.03.006>
- Pérez-Cadahía, B., Laffon, B., Pásaro, E., & Méndez, J. (2004). Evaluation of PAH bioaccumulation and DNA damage in mussels (*Mytilus galloprovincialis*) exposed to spilled Prestige crude oil. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 138(4), 453-460.
- Reid, D. J., & MacFarlane, G. R. (2003). Potential biomarkers of crude oil exposure in the gastropod mollusc, *Austrocochlea porcata*: laboratory and manipulative field studies. *Environmental pollution*, 126(2), 147-155.
- Rice, S. D., Short, J. W., & Karinen, J. F. (1977). Comparative oil toxicity

- and comparative animal sensitivity. In: Douglas A. Wolfe (ed.). *Fate and effects of petroleum hydrocarbons in marine ecosystems and organisms*, pp. 78-94. Elsevier.
- Ruiz, L., Guerrero, S., Nieves, K., Mejía, A., & Vega, F. (2018). Assessment of median lethal concentration (CL50) of pollutants on *Macrobrachium tenellum* juveniles. *Latin american journal of aquatic research*, 46(3), 589-592. <http://dx.doi.org/10.3856/vol46-issue3-fulltext-12>
- Satbhai, K., Louka, F., & Klerks, P. (2017). Individual and combined effects of petroleum hydrocarbons phenanthrene and dibenzothiophene on reproductive behavior in the amphipod *Hyaella Azteca*. *Water, Air, & Soil Pollution*, 228, 91. <https://doi.org/10.1007/s11270-017-3276-x>
- Saeed, T., & Al-Mutairi, M. (1999). Chemical composition of the water-soluble fraction of the leaded gasolines in seawater. *Environment international*, 25(1), 117-129.
- Saravana, P., & Geraldine, P. (2001). Biochemical stress responses in tissues of the prawn *Macrobrachium malcolmsonii* on exposure to endosulfan. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 70, 27-41. <https://doi.org/10.1006/pest.2001.2531>
- Schuler, L., Landrum, P., Harwood, A., Tripp, E., & Lydy, M. (2009). Joint toxicity of fluoranthene and pentachlorobenzene to *Hyaella azteca* and *Chironomus dilutus*. *Chemosphere*, 77(3), 399-403. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.07>
- Webb, D. (2011). Freshwater shrimp (*Palaemonetes australis*) as a potential bioindicator of crustacean health. *Environmental monitoring and assessment*, 178, 537-544.
- Weber, L., Carvalho, L., Sá, N., Silva, V., Beraldi, N., Souza, V., & Conceição, M. (2013). Genotoxic effects of the water-soluble fraction of heavy oil in the brackish/freshwater amphipod *Quadrivisia aff. lutzi* (Gammaridea) as assessed using the comet assay. *Ecotoxicology*, 22, 642-655.
- Woo, S., Kim, S., Yum, S., Yim, U. H., & Lee, T. K. (2006). Comet assay for the detection of genotoxicity in blood cells of flounder (*Paralichthys olivaceus*) exposed to sediments and polycyclic aromatic hydrocarbons. *Marine pollution bulletin*, 52(12), 1768-1775.
- Yamuna, A., Kabila, V., & Geraldine, P. (1995). Biochemical and histological alterations in the prawn *Macrobrachium lamerrei* following exposure to automobile discharge. *GeoJournal* 40, 233-237.
- Yassine, M., Wu, S., Suidan, M., & Venosa, A. (2012). Partitioning behavior of Petrodiesel/Biodiesel blends in water. *Environmental Science & Technology*, 46, 7487-7494. <https://doi.org/10.1021/es3009979>

# Calidad de agua del humedal laguna del Tragadero de la provincia de Jauja - Junín

## Water quality of the Tragadero Lagoon wetland in the province of Jauja - Junin

Recibido: mayo 06 de 2024 | Revisado: mayo 30 de 2024 | Aceptado: junio 12 de 2024

EMILIA MISARI-CHUQUIPOMA<sup>1</sup>

RAÚL D. CÓNDOR BEDOYA<sup>1</sup>

JULIÁN CCASANI ALLENDE<sup>2</sup>

RAFAEL CLETO CHUQUICONDOR VILLAFUERTE<sup>2</sup>

### RESUMEN

La investigación precisa como objetivo determinar la calidad de agua del Humedal laguna de Tragadero contaminado por la evacuación de aguas residuales domésticas aplicando la metodología ICA- NSF establecida por la National Sanitation Foundation de Estados Unidos (NSF). Para ello se determinaron los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos como el oxígeno disuelto, la demanda bioquímica de oxígeno, los sólidos totales disueltos, la turbidez, el pH, la temperatura, los nitratos, los fosfatos y los coliformes fecales. Las muestras se recolectaron en época de estiaje y avenida para luego procesar los datos y determinar la calidad de agua del cuerpo de agua en estudio. Se concluyó, que la condición del agua se encuentra en el rango de 43,35 a 48,61 con un valor promedio de 45,98 lo que indica que no es apropiada para la vida acuática, según la categorización del ICA-NSF propuesta por Brown corresponde a calidad mala. El cuerpo de agua está siendo afectado por el vertimiento de aguas remanentes procedentes de la Planta de Tratamiento de aguas residuales domésticas del distrito de Acolla, asimismo la utilización de abonos agrícolas en áreas de cultivo cercanos al humedal y la actividad de pastoreo de ganados lo que está afectando a la conservación del medio ambiente acuático.

**Palabras clave:** Índice de calidad de agua, parámetros físico-químicos y microbiológicos, clasificación ICA-NSF

### ABSTRACT

The objective of the research is to determine the water quality of the Tragadero Lagoon wetland contaminated by domestic sewage disposal using the ICA-NSF methodology established by the National Sanitation Foundation of the United States (NSF). For this purpose, physico-chemical and microbiological parameters such as dissolved oxygen, biochemical oxygen demand, total dissolved solids, turbidity, pH, temperature, nitrates, phosphates and faecal coliforms were

1 Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Perú

2 Universidad Nacional Federico Villarreal. Perú

Autor de correspondencia:  
emisaric@undac.edu.pe

© Los autores. Este artículo es publicado por la Revista Campus de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de San Martín de Porres. Este artículo se distribuye en los términos de la Licencia Creative Commons Atribución No-Comercial – Compartir-Igual 4.0 Internacional (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite el uso no comercial, distribución y reproducción en cualquier medio siempre que la obra original sea debidamente citada. Para uso comercial contactar a: [revistacampus@usmp.pe](mailto:revistacampus@usmp.pe).

<https://doi.org/10.24265/campus.2024.v29n37.05>

determined. The samples were collected during the summer and flood period to then process the data and determine the water quality of the water body under study. It was concluded that the water condition is in the range of 43.35 to 48.61 with an average value of 45.98 which indicates that it is not appropriate for aquatic life, according to the categorization of the ICA-NSF proposed by Brown corresponds to poor quality. The body of water is being affected by the discharge of remaining water from the Domestic Wastewater Treatment Plant of the district of Acolla, as well as the use of agricultural fertilizers in farming areas near the wetland and the activity of livestock grazing is affecting the conservation of the aquatic environment.

**Keywords:** Water quality index, physico-chemical and microbiological parameters, ICA-NSF classification

## Introducción

Es preocupante que el humedal laguna de Tragadero ubicado en la región Junín (Jauja – Marco) experimente problemas de contaminación y mal uso desde los años 90, con impactos negativos en la agricultura, la ganadería y el vertimiento de aguas residuales domésticas han llevado a la contaminación y a la eutrofización de las aguas en el humedal. El exceso de nutrientes como los nitratos y fosfatos, provenientes de actividades humanas puede causar un crecimiento excesivo de algas y plantas acuáticas en el agua, lo que agota el oxígeno disponible y afecta negativamente a la vida acuática. Esta eutrofización puede tener graves consecuencias para el equilibrio del ecosistema y la salud del humedal. Además, la destrucción continua de los hábitats en el humedal ha llevado a la extinción de especies nativas y a la pérdida de biodiversidad. Estos humedales son vitales para mantener la cadena trófica, albergar aves residentes y migratorias, regular los regímenes hidrológicos y actuar como depuradores naturales, controlando los contaminantes.

En ese sentido, fue importante hacer un estudio sobre la calidad de agua del humedal laguna de Tragadero, haciendo

uso del índice de calidad (ICA-NSF), puesto que, es una herramienta útil y práctica que permitió sintetizar una variedad de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos mediante un modelo matemático que proporcionó información importante para comprender el estado actual del humedal y guiar las acciones necesarias para proteger y conservar este valioso ecosistema. Al respecto, López (2019) determinó el índice de calidad del agua propuesto por la National Science Foundation en la laguna de Colta con el propósito de generar información importante que aporte al conocimiento de este recurso hídrico y al monitoreo de los impactos ambientales presentados actualmente.

Este índice de calidad se determinó utilizando los parámetros: pH, demanda bioquímica de oxígeno, nitratos, fosfatos, variación de temperatura, turbidez, sólidos disueltos totales, oxígeno disuelto y coliformes fecales, obteniéndose un valor de 70,7 que es clasificada como agua de calidad regular; esto precisa el estado aceptable para actividades recreativas, pero con cierto impacto en la biodiversidad del cuerpo hídrico.

Además, se ejecutó el contraste de dichos indicadores con los límites

permisibles expresados por la legislación ecuatoriana (TULSMA) para el empleo recreativo del agua y preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios, la cual encaja dentro de los rangos establecidos. Por su parte, Minaya en 2017 con el objetivo de determinar los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua de la laguna Moronacocha y compararlos con los Estándares de Calidad Ambiental (ECAs) para Agua, específicamente en la categoría IV, que se refiere a la conservación del ambiente acuático, regulados por el estado peruano.

Según las conclusiones del estudio, la laguna Moronacocha, en general, es homogénea y se encuentra en buenas condiciones de agua de acuerdo con los ECAs establecidos, excepto en los puntos cercanos a las descargas de aguas residuales. Esto indica que la calidad del agua en la laguna es aceptable, pero se identifica un posible riesgo asociado a los sólidos totales suspendidos, ya que altas concentraciones de este parámetro podrían causar colmatación en la laguna. Es importante destacar que esta información se basa en los resultados de un estudio específico y se refiere a las condiciones de la laguna Moronacocha en un período de tiempo determinado.

La calidad del agua puede sufrir alteraciones en el transcurso del tiempo y es necesario realizar monitoreos continuos para evaluar su estado actual. Además, es relevante que las autoridades locales y los responsables de la gestión ambiental tomen en cuenta estos hallazgos para implementar medidas adecuadas de protección y conservación de la laguna. Asimismo, Huamán, et al. (2021) evaluaron la calidad del agua de la laguna

Marvilla, a través de la comparación con los estándares de calidad ambiental (ECA) para agua y la correspondiente determinación del índice de calidad de agua del Perú (ICA-PE) propuestos por la Autoridad Nacional del Agua (ANA). Analizó la data anual de 2019-2020 y obtuvieron promedios en los parámetros de pH, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales de 8,8, 4644,8  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 3413,9 ppm, respectivamente. Además, se realizó un muestreo de nueve parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, de los cuales cinco no cumplen con lo establecido en la categoría 4 del ECA para agua (nitratos, fósforo total, amoníaco total, demanda bioquímica de oxígeno y coliformes termotolerantes).

Asimismo, con los datos del muestreo obtuvo un valor de 46,3 en el ICA-PE. Luego concluyó que la calidad de agua de la laguna Marvilla es regular, es decir, se encuentra ocasionalmente amenazada o dañada. Del mismo modo, Alarcón et al. (2017) con la finalidad de determinar la calidad del agua a través de la aplicación del Índice de Calidad del Agua establecido por la National Sanitation Foundation de Estados Unidos, determinaron los parámetros fisicoquímicos, como OD, DBO<sub>5</sub>, SDT, turbidez, pH, temperatura, nitratos, y fosfatos totales, así como los coliformes fecales. Las muestras provienen de las cuatro estaciones de muestreo determinadas con el GPS en la laguna, para luego procesar los datos para calcular el Índice de Calidad del Agua de la laguna estudiada, dando el valor de 62, que correspondió a calidad media, por lo que se llegó a la conclusión de que el agua de la laguna estaba afectado, durante el período de estiaje por el aporte de aguas contaminadas, y

el uso de fertilizantes en áreas cercanas, también las actividades de pastoreo de ganado e instalación de letrinas, lo que afectan considerablemente a la conservación del ambiente acuático y su aprovechamiento.

A partir de la observación del deterioro del ecosistema acuático, resulta imprescindible considerar los niveles de contaminación del factor hídrico porque es fundamental para la vida de la flora y fauna silvestre, que forman parte de las cadenas tróficas de la vida silvestre, asimismo reconocidas por albergar una importante y significativa diversidad biológica en el humedal laguna de Tragadero, que en la actualidad viene contaminándose por el vertimiento de las aguas residuales domiciliarias generadas de las poblaciones aledañas, es por ello que me propuse en estudiar a los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, que afectan la calidad de las aguas del humedal.

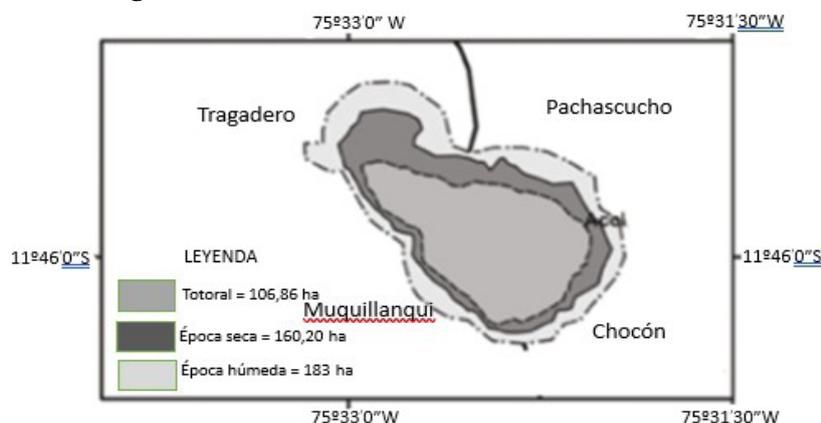
El objetivo de la investigación fue determinar la calidad de agua del humedal laguna de Tragadero contaminado por el vertimiento de aguas residuales domésticas aplicando la metodología ICA- NSF, en la provincia de Jauja-2022.

## Método

El estudio se llevó a cabo en el humedal laguna de Tragadero (Figura 1) que abarca una extensión de 160,20 hectáreas en época de estiaje y 183 hectáreas en época de avenida y teniendo en cuenta sus coordenadas geográficas (Tabla 1). Se han seleccionado cuatro puntos de muestreo (Figura 2) teniendo en cuenta ciertas características específicas del humedal.

La población para la presente investigación fue 1 903 500 m<sup>3</sup> de agua del humedal laguna de Tragadero. Esto representa la cantidad total de agua que se consideró en el estudio. El tamaño de la muestra fue de 50 litros de agua, en cuanto, al tipo de muestreo, se utilizó un enfoque de muestreo no probabilístico o intencional. Los instrumentos que se utilizaron para la recopilación de datos fueron las Fichas de recolección de datos, que contenían información sobre los parámetros a medir, los procedimientos de muestreo y otros detalles relevantes para la investigación. Además, se utilizó la Cadena de Custodia, que es un procedimiento para rastrear y documentar el manejo, transporte y almacenamiento de muestras para garantizar su integridad y trazabilidad.

**Figura 1**  
*Humedal laguna de Tragadero*



*Nota.* Área de estudio en época de estiaje y avenida

## Evaluación de los parámetros físicoquímicos y microbiológicos

### Selección de los puntos de muestreo

La toma de muestras se realizó en puntos que ofrecían facilidad de acceso, seguridad, representatividad y un flujo permanente de agua. Las muestras se recolectaron en dos épocas diferentes: en época de estiaje en el mes de setiembre de 2022 y en época de avenida en el mes de febrero de 2023, siguiendo el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales de la ANA (Autoridad Nacional de Agua)

del año 2017, para los análisis de los siguientes parámetros físicoquímicos y microbiológico: OD, CF, pH, DBO<sub>5</sub>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, T °, TUR y SDT. Los resultados obtenidos fueron comparados con los valores establecidos en la categoría 4: Conservación del medio acuático, subcategoría E1: Lagunas y lagos del D.S. 004-2017-MINAM, Estándar de Calidad Ambiental para el Agua. (Ministerio del Ambiente, 2017), es una estrategia importante en el logro de información valiosa sobre la inestabilidad de la calidad del agua a lo largo del tiempo y en diferentes condiciones hidrológicas. (Figura 2).

**Figura 2**  
*Puntos de muestreo*

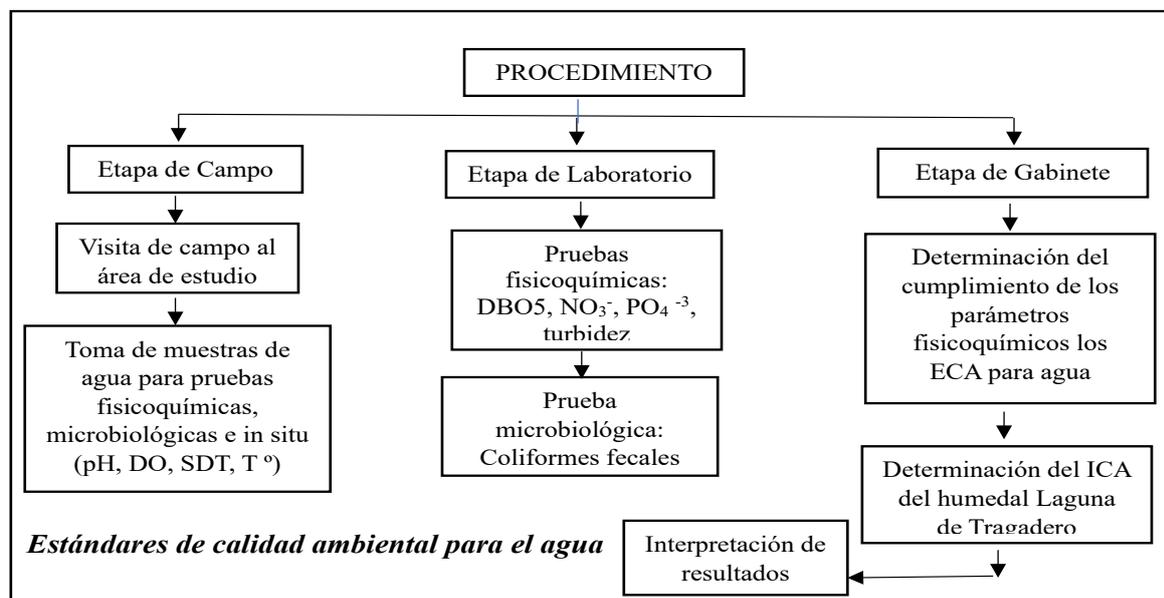


*Nota.* Puntos de muestreo

**Tabla 1**  
*Ubicación geográfica de los puntos de muestreo*

Estaciones de muestreo	Identificación	Ubicación		
		Sur	Oeste	Altitud
P-1	Pachascucho	11° 45.669'	075° 32.558'	3495.7 m
P-2	Tragadero	11° 45.613'	075° 33.025'	3489.8 m
P-3	Muquillanqui	11° 46.204'	075° 32.521'	3474.1 m
P-4	Chocón	11° 46.056'	075° 31.935'	3487.9 m

**Figura 3**  
*Procedimiento*



**Tabla 2**  
*Categoría 4 Conservación del medio acuático*

Parámetros	Unidad	E1: Lagunas y lagos
DBO5	mg O2/L	5
Fosfatos	mg/L	0.035
Nitratos	mg/L	13
Oxígeno disuelto	mg/L	≥ 5
pH	-	6.5 - 9.0
SDT	mg/L	500
Temperatura	°C	Δ 3
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	1000
Turbidez	NTU	-

**Medición y determinación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos**

Se realizaron mediciones in situ utilizando un multiparámetro marca HANNA, para medir el valor del pH, temperatura, sólidos disueltos totales y oxígeno disuelto. Estos parámetros proporcionaron información importante sobre la calidad de agua en el humedal

laguna de Tragadero. Además, las muestras fueron enviadas al laboratorio WORD CLEAN, acreditado por el Organismo Peruano de Acreditación INACAL-DA, para realizar análisis de demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), fosfatos (PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>), turbidez (TUR) y coliformes fecales (CF). Estos análisis son fundamentales para evaluar la calidad del agua y comparar los resultados con los Estándares de Calidad Ambiental

(ECA) establecidos para la categoría 4: Conservación del ambiente acuático, subcategoría E1: lagunas y lagos.

**Determinación del índice de calidad de agua según la metodología NSF (ICA-NSF)**

Para determinar la calidad del agua se tuvieron en cuenta nueve parámetros y sus correspondientes factores de ponderación (Tabla 3). Se consideró la siguiente fórmula:

$$ICA-NSF = \sum_{i=1}^{i=n} (Sub_i * W_i)$$

**Tabla 3**  
*Factores de ponderación para el cálculo del ICA-NSF*

Parámetro	Peso relativo (Wi)
OD	0.17
Coliformes fecales	0.15
pH	0.12
DBO5	0.10
Nitratos	0.10
Fosfatos	0.10
Temperatura	0.10
Turbidez	0.08
SDT	0.08

**Clasificación del índice de calidad de agua**

**Tabla 4**  
*Clasificación del ICA-NSF propuesta por Brown*

Calidad de agua	Color	Valor
Excelente		91 a 100
Buena		71 a 90
Regular		51 a 70
Mala		26 a 50
Pésima		0 a 25

**Resultados**

**Resultados de las muestras de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos**

**Tabla 5**  
*Análisis de las muestras en época de estiaje*

Recolección de muestra	Muestras	pH	DBO <sub>5</sub>	SDT	TUR	CF	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	OD	Temperatura °C		Variación T °C	
			mg O <sub>2</sub> /L	mg/L	NTU	NMP/100mL	mg/L	mg/L	mg/L	%	Amb.		Agua
Primer Muestreo	P-1	8.56	39.50	136.00	13.00	480.00	2.80	0.20	1.09	19.20	19.00	18.38	0.62
	P-2	8.85	20.90	173.00	19.00	201.00	3.00	0.73	1.13	20.60	20.00	19.57	0.43
	P-3	7.84	55.00	160.00	12.00	175.00	0.60	0.80	0.46	9.80	24.00	23.15	0.85
	P-4	8.54	68.50	140.00	11.50	260.00	0.70	0.40	1.08	20.80	25.00	24.72	28.00
Promedio		8.70	45.98	144.75	13.88	279.00	1.80	0.53	0.94	17.60	22.00	21.45	0.55

*Nota.* Se presentan los análisis del primer muestreo, tomados en época de estiaje (setiembre 2022). Los resultados de este muestreo son fundamentales para comprender el estado actual de la calidad del agua.

**Tabla 6**

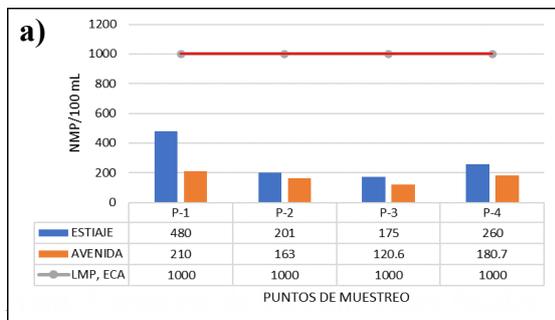
*Análisis de las muestras en época de avenida*

Recolección de muestra	Muestras	pH	DBO <sub>5</sub>	SDT	TUR	CF	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	OD	Temperatura °C		Variación T °C	
			mg O <sub>2</sub> /L	mg/L	NTU	NMP/100mL	mg/L	mg/L	mg/L	%	Amb.		Agua
Segundo muestreo	P-1	8.55	13.10	193.00	18.00	210.00	36.00	0.60	1.07	16.30	22.00	15.00	7.00
	P-2	7.76	15.80	317.00	28.40	163.00	35,0	1.30	0.70	11.00	18.00	17.62	0.38
	P-3	7.89	12.20	376.00	20.50	120.60	39.00	1.10	0.78	12.60	21.00	18.12	2.88
	P-4	9.88	18.40	157.00	18.00	180.70	33.10	1.40	0.85	14.50	19.00	20.99	-1.99
Promedio		8.52	14.88	260.75	21.23	168.58	35.78	1.10	0.85	9.36	20.00	17.93	8.27

*Nota.* Se presenta los análisis del segundo muestreo, tomados en época de avenida (febrero 2023). Los resultados de este muestreo son fundamentales para comprender el estado actual de la calidad del agua.

**Figura 4**

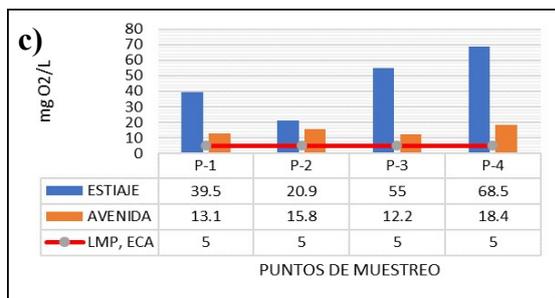
*Niveles de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos*



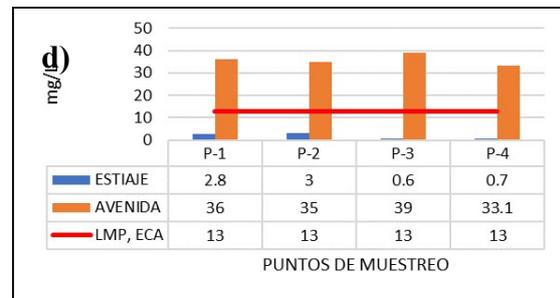
*Nota.* Variación de los coliformes fecales



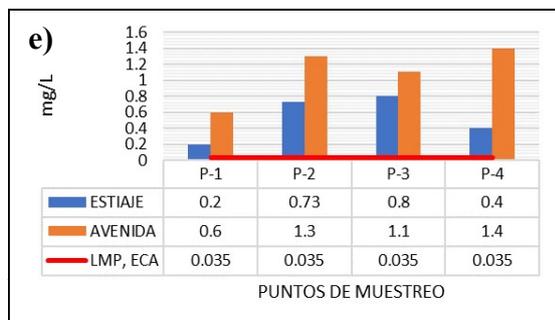
*Nota.* Variación del pH



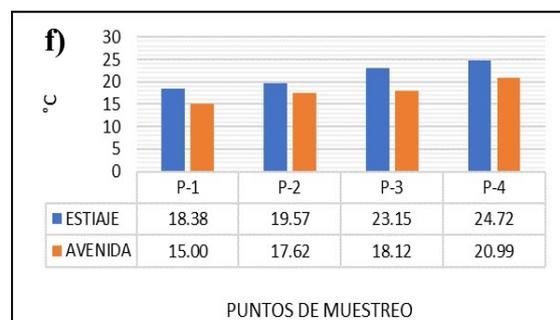
*Nota.* Variación de la DBO



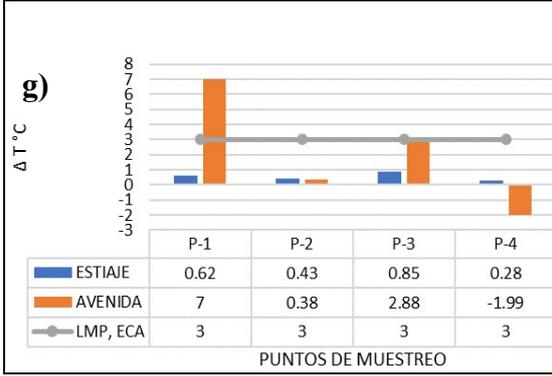
*Nota.* Variación de nitratos



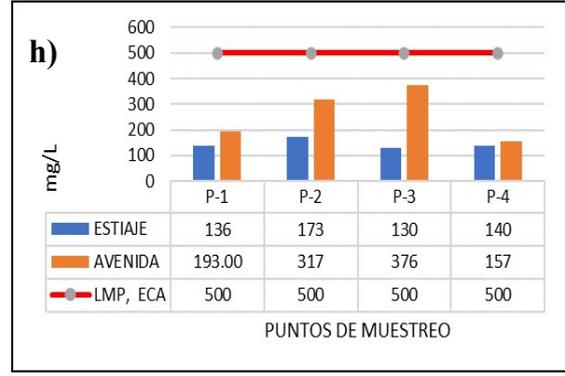
*Nota.* Variación de los fosfatos



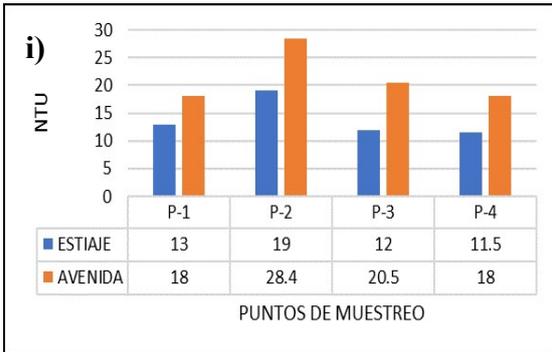
*Nota.* Variación de la temperatura



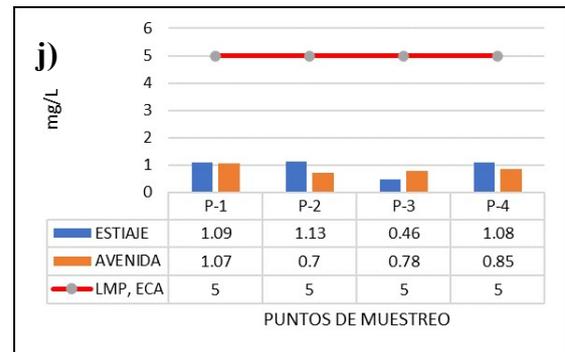
Nota. Variación del cambio de temperatura



Nota. Variación de los SDT



Nota. Variación de la turbidez



Nota. Variación del oxígeno disuelto

### Determinación de la calidad de agua (ICA-NSF) en época de estiaje

Tabla 7  
ICA-NFS del punto de muestreo P-1

Parámetro	Unidad	Resultado	Sub <sub>i</sub>	Pesos relativos (Wi)	Subi * Wi
CF	NMP/100 mL	480.0	28.0	0.2	4.2
pH	-	8.6	66.0	0.1	7.9
DBO <sub>5</sub>	mg/L	39.5	2.0	0.1	0.2
Nitratos	mg/L	2.8	85.0	0.1	8.5
Fosfatos	mg/L	0.2	93.0	0.1	9.3
Temperatura	°C	18.4	86.0	0.1	8.6
Turbidez	NTU	13.0	72.0	0.1	5.8
SDT	mg/L	136.0	79.0	0.1	6.3
OD	%	19.2	10.0	0.2	1.7
	mg/L	1.1			
$\Sigma$ (Subi * Wi)					52.5

Nota. En el P-1 se obtuvo un valor de 52,50 y según la Clasificación del ICA-NSF (Tabla 4) está en el rango de 51 - 70 que corresponde a calidad **regular**.

**Tabla 8**

*ICA-NFS del punto de muestreo P-2*

Parámetro	Unidad	Resultado	Sub <sub>i</sub>	Pesos relativos (Wi)	Subi * Wi
CF	NMP/100 mL	201.0	38.0	0.15	5.7
pH		8.85	55.0	0.12	6.6
DBO <sub>5</sub>	mg/L	20.9	11.0	0.1	1.1
Nitratos	mg/L	3.0	83.5	0.1	8.35
Fosfatos	mg/L	0.73	58.0	0.1	5.8
Temperatura	°C	19.57	90.0	0.1	9.0
Turbidez	NTU	19	60.0	0.08	4.8
SDT	mg/L	173	76.0	0.08	6.08
OD	%	20.6	14.0	0.17	2.38
	mg/L	1.13			
$\Sigma$ (Subi * Wi)					49.81

*Nota.* En el P-2 se obtuvo un valor de 49.81 y según la Clasificación del ICA-NSF (Tabla 4) está en el rango de 26 - 50 que corresponde a calidad **mala**.

**Tabla 9**

*ICA-NFS del punto de muestreo P-3*

Parámetro	Unidad	Resultado	Sub <sub>i</sub>	Pesos relativos (Wi)	Subi * Wi
CF	NMP/100 mL	175.00	40.00	0.15	6.00
pH	-	7.84	88.00	0.12	10.56
DBO <sub>5</sub>	mg/L	55.00	2.00	0.10	0.20
Nitratos	mg/L	0.60	90.00	0.10	9.00
Fosfatos	mg/L	0.80	50.00	0.10	5.00
Temperatura	°C	23.15	84.00	0.10	8.40
Turbidez	NTU	12.00	70.00	0.08	5.60
SDT	mg/L	130.00	81.00	0.08	6.48
OD	%	9.80	15.00	0.17	2.55
	mg/L	0.46			
$\Sigma$ (Subi * Wi)					53.79

*Nota.* En el P-3 se obtuvo un valor de 53,79 y según la Clasificación del ICA-NSF (Tabla 4) está en el rango de 51 - 70 que corresponde a calidad **regular**.

**Tabla 10**  
*ICA-NFS del punto de muestreo P-4*

Parámetro	Unidad	Resultado	Sub <sub>i</sub>	Pesos relativos (Wi)	Subi * Wi
CF	NMP/100 mL	260.00	34.00	0.15	5.10
pH		8.54	64.00	0.12	7.68
DBO <sub>5</sub>	mg/L	68.50	2.00	0.10	0.20
Nitratos	mg/L	0.70	94.00	0.10	9.40
Fosfatos	mg/L	0.40	71.00	0.10	7.10
Temperatura	°C	24.72	90.00	0.10	9.00
Turbidez	NTU	11.50	73.00	0.08	5.84
SDT	mg/L	140.00	77.00	0.08	6.16
OD	%	20.80	14.00	0.17	2.38
	mg /L	1.06			
$\Sigma$ (Subi * Wi)					52.86

*Nota.* En el P-4 se obtuvo un valor de 52,86 y según la Clasificación del ICA-NSF (Tabla 4) está en el rango de 51 - 70 que corresponde a calidad **regular**.

### Determinación de la calidad de agua (ICA-NSF) en época de avenida

**Tabla 11**  
*ICA-NFS del punto de muestreo P-1*

Parámetro	Unidad	Resultado	Sub <sub>i</sub>	Pesos relativos (Wi)	Subi * Wi
CF	NMP/100 mL	210.00	37.00	0.15	5.55
pH	-	8.55	63.00	0.12	7.56
DBO <sub>5</sub>	mg/L	13.10	26.00	0.10	2.60
Nitratos	mg/L	36.00	20.00	0.10	2.00
Fosfatos	mg/L	0.60	67.00	0.10	6.70
Temperatura	°C	15.00	32.00	0.10	3.20
Turbidez	NTU	18,0	64.00	0.08	5.12
SDT	mg/L	193.00	72.00	0.08	5.76
OD	%	16.30	8.50	0.17	1.45
	mg /L	1.07			
$\Sigma$ (Subi * Wi)					39.94

*Nota.* En el P-1 se obtuvo un valor de 39.94 y según la Clasificación del ICA-NSF (Tabla 4) está en el rango de 26 - 50 que corresponde a calidad **mala**.

**Tabla 12**  
*ICA-NFS del punto de muestreo P-2*

Parámetro	Unidad	Resultado	Sub <sub>i</sub>	Pesos relativos (Wi)	Subi * Wi
CF	NMP/100 mL	163.00	40.00	0.15	6.00
pH	-	7.76	90.00	0.12	10.80
DBO <sub>5</sub>	mg/L	15.80	19.50	0.10	1.95
Nitratos	mg/L	35.00	22.00	0.10	2.20
Fosfatos	mg/L	1.30	35.00	0.10	3.50
Temperatura	°C	17.62	89.00	0.10	8.90
Turbidez	NTU	28.40	52.00	0.08	4.16
SDT	mg/L	317.00	59.00	0.08	4.72
OD	%	0.75	7.00	0.17	1.19
	mg /L	0.69			
$\Sigma$ (Subi * Wi)					43.42

*Nota.* En el P-2 se obtuvo un valor de 43,42 y según la Clasificación del ICA-NSF (Tabla 4) está en el rango de 26 - 50 que corresponde a calidad **mala**.

**Tabla 13**  
*ICA-NFS del punto de muestreo P-3*

Parámetro	Unidad	Resultado	Sub <sub>i</sub>	Pesos relativos (Wi)	Subi * Wi
CF	NMP/100 mL	120.60	44.00	0.15	6.60
pH		7.89	88.00	0.12	10.56
DBO <sub>5</sub>	mg/L	12.20	29.50	0.10	2.95
Nitratos	mg/L	39.00	18.00	0.10	1.80
Fosfatos	mg/L	1.10	28.00	0.10	2.80
Temperatura	°C	18.12	68.00	0.10	6.80
Turbidez	NTU	20.50	61.00	0.08	4.88
SDT	mg/L	376.00	50.00	0.08	4.00
OD	%	12.60	7.50	0.17	1.28
	mg /L	0.78			
$\Sigma$ (Subi * Wi)					41.67

*Nota.* En el P-3 se obtuvo un valor de 41,67 y según la Clasificación del ICA-NSF (Tabla 4) está en el rango de 26 a 50 que corresponde a calidad **mala**.

**Tabla 14**  
*ICA-NSF del punto de muestreo P-4*

Parámetro	Unidad	Resultado	Sub <sub>i</sub>	Pesos relativos (Wi)	Subi * Wi
CF	NMP/100 mL	180.70	39.00	0.15	5.85
pH	-	9.88	23.00	0.12	2.76
DBO <sub>5</sub>	mg/L	18.40	15.00	0.10	1.50
Nitratos	mg/L	33.10	33.00	0.10	2.50
Fosfatos	mg/L	1.40	25.00	0.10	3.30
Temperatura	°C	20.99	80.00	0.10	8.00
Turbidez	NTU	18.00	64.00	0.08	5.12
SDT	mg/L	157.00	78.00	0.08	6.24
OD	%	14.50	9.50	0.17	1.62
	mg O <sub>2</sub> /L	0.85			
<b>Σ (Subi * Wi)</b>					<b>36.89</b>

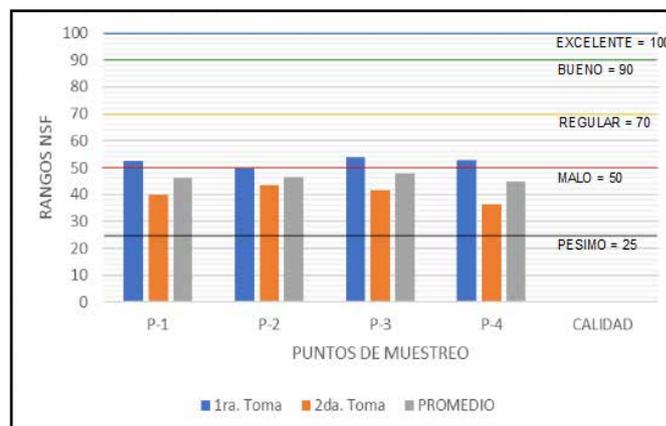
*Nota.* En el P-4 se obtuvo un valor de 36,89 y según la Clasificación del ICA-NSF (Tabla 4) está en el rango de 26 - 50 que corresponde a calidad **mala**.

**Tabla 15**  
*ICA-NSF del humedal laguna de Tragadero*

Puntos de muestreo	ICA-NSF Estiaje	Calidad de agua	ICA-NSF Estiaje	Calidad de agua	Promedio	Calidad de agua
P-1	52.5	Regular	39.94	Mala	46.22	Mala
P-2	49.81	Mala	43.43	Mala	46.62	Mala
P-3	53.79	Regular	41.67	Mala	47.73	Mala
P-4	52.86	Regular	36.89	Mala	44.88	Mala
<b>Promedio</b>	52.24	Regular	40.86	Mala	46.36	Mala
<b>Mínimo</b>	48.81		36.89		43.35	
<b>Máximo</b>	53.79		43.43		48.61	

## Figura 5

### Categorización ICA-NSF para el humedal laguna de Tragadero



*Nota.* Los resultados obtenidos a partir de los estudios nos han dado un ICA-NSF total para el humedal laguna de Tragadero que está en el rango de 43,35 a 48,61 (Tabla 15) con un valor promedio de **45,98** lo que indica que tiene una calidad mala.

## Discusión

Los resultados evidencian que el humedal laguna de Tragadero está siendo alterado, puesto que en varios puntos de muestreo los resultados de los parámetros analizados están por encima de los límites máximos permisibles.

La Figura 4a muestra una representación de los niveles de concentración de los coliformes fecales en una zona determinada, en la cual el punto P-1 presenta una concentración (480 NMP/100 mL). Se atribuye esta alta concentración a varios factores: Cercana al humedal hay una Planta de Tratamiento de aguas residuales domésticas que vierte su efluente en el río Yanamarca. Es probable que esta planta no esté funcionando adecuadamente o que sus procesos de tratamiento no sean suficientes para eliminar completamente los coliformes fecales presentes en las aguas residuales.

El río Yanamarca recibe el efluente de la Planta de Tratamiento de aguas

residuales que desemboca en el humedal laguna de Tragadero. Como resultado, los coliformes fecales contenidos en el efluente ingresan al humedal y aumentan su concentración en el agua. Durante la época de estiaje, cuando la cantidad de agua disminuye, los vacunos (animales de sangre caliente) ingresan a la laguna para alimentarse del totoral presente en ella. Su presencia en el humedal también contribuye al incremento de los coliformes fecales debido a las heces que evacuan. Es importante destacar que la alta concentración de coliformes fecales en el agua representa un riesgo para la salud humana y la vida acuática.

La contaminación fecal del agua es vector de transmisión y propagación de enfermedades, por lo que hace necesario tomar medidas para abordar las fuentes de contaminación y mejorar la calidad del agua en el humedal y el río. Esta problemática es similar al estudio de Rodríguez et al. (2017) en el humedal de Ventanilla. Es claro que la interacción del humedal con la población humana genera una contaminación

del agua caracterizada por abundantes fuentes de nutrientes que permiten el desarrollo de comunidades bacterianas que a su vez posibilitan la supervivencia de coliformes termotolerantes; además, también mencionaron que una mayor contaminación por coliformes termotolerantes puede generar cambios en la composición, estructura y dinámica de los ecosistemas.

La Figura 4b muestra los valores de pH medidos en diferentes puntos de estudio dentro del humedal, y se observa que la mayoría de los valores se encuentran en el rango ligeramente alcalino, con un pH que varía de 7,76 a 9,88. La mayor variación significativa en el pH se registró en el punto P-4 durante la época de avenida, donde el valor fue de 9,88, lo que indica un pH básico, esta variación se debe al aumento de la descomposición como consecuencia de descargas de materia orgánica. Cuando la materia orgánica se descompone, pueden producirse reacciones químicas que afecten el pH del agua. La mayoría de los organismos acuáticos superviven en el rango de pH entre 6,5 y 8,4.

Los valores extremos, ya sean demasiado altos o bajos, pueden tener impactos negativos en la biodiversidad acuática y afectar la capacidad de supervivencia de ciertas especies. Las algas son organismos fotosintéticos fundamentales en los ecosistemas acuáticos y su capacidad de generar el proceso de fotosíntesis y producir oxígeno, esencial para mantener el equilibrio del ecosistema. Si las algas no pueden sobrevivir debido a un pH elevado, esto puede afectar negativamente a toda la cadena alimentaria y la salud en general del ecosistema acuático. Las algas no sobreviven en valores mayores de 8,5. Un pH de 7,4 es el adecuado para

el desarrollo de las plantas y animales acuáticos.

Al respecto, la investigación realizada por Rubio-Arias et al. (2016) es similar ya que señala que la fotosíntesis realizada por organismos acuáticos aumenta el consumo de  $\text{CO}_2$ , lo que conduce a un aumento del pH. Ese estudio lo realizaron en el lago Colina en Chihuahua, México, y el aumento observado en el pH se atribuye a la fotosíntesis realizada por algas que se desarrollaron debido a la descarga excesiva de aguas residuales.

La Figura 4c muestra los resultados obtenidos de la  $\text{DBO}_5$  en época de estiaje y avenida, registrándose niveles altos de concentración, que sobrepasan los LMP de 5 mg/L en la Categoría 4 del ECA para el agua. Esto indica que la concentración de materia orgánica en el agua es significativamente alta, lo que provoca disminución de oxígeno disponible para el ecosistema acuático. Raffo y Ruiz (2014) lo confirman en su estudio realizado, donde mencionan que las altas concentraciones de materia orgánica promueven el crecimiento de hongos y bacterias. Las sustancias orgánicas requieren oxígeno en el proceso de oxidación, al ser consumidas estas, alteran el correcto crecimiento de la flora y fauna acuática que lo necesitan. Además, han identificado otros impactos a los ecosistemas acuáticos, con alteración de la calidad del agua y un posible aumento en el pH, que causa una reducción de la vida vegetal y animal.

En la Figura 4d, se evidencia que en época de estiaje se registraron valores menores de concentración de nitratos en los cuatro puntos de muestreo, en cambio en época de avenida se registraron

mayores valores de concentración de nitratos en los cuatro puntos de muestreo que sobrepasaron los LMP de 13 mg/L en la categoría 4 del ECA para el agua. Los nitratos en los ecosistemas acuáticos pueden aumentar el crecimiento de algas y reducir los niveles de oxígeno. Estos nitratos llegaron al cuerpo de agua por escurrimiento debido que en las zonas aledañas se dedican a la agricultura donde utilizan desmesuradamente fertilizantes, lo que origina la contaminación de las aguas y la eutrofización, debido a la carga excesiva de nutrientes.

Esta problemática encontrada en la zona, es similar a los resultados obtenidos por Bolaños et al. (2017), quienes también identificaron contaminación de nitratos en cuerpos de agua procedentes de fuentes como residuos humanos, animales y escurrimiento de fertilizantes agrícolas.

En cuanto a los fosfatos, se puede observar en la Figura 4e que en época de estiaje los niveles de concentración fueron menores en los cuatro puntos de muestreo comparado con los niveles de concentración en época de avenida. Los niveles de concentración de fosfatos en época de estiaje y avenida fueron mayores en los cuatro puntos de muestreo que sobrepasó los LMP (0,035 mg/L), este aumento en la cantidad de fosfatos en el agua puede estimular la eutrofización. Los fosfatos son generados por los humanos y los animales como despojos, también provienen de los detergentes que utilizan las personas que lavan sus prendas y escurrimiento de los fertilizantes de uso agrícola.

El fosfato tiene un efecto negativo indirecto sobre la eutrofización de los

cuerpos de agua superficiales, incluido el crecimiento explosivo de algas y el consiguiente agotamiento del oxígeno disuelto. Wang, et al. (2016, citado por Jiménez, 2019) lo confirma en su estudio que, el uso indiscriminado e irracional del fosfato como fertilizante en los sistemas agrícolas no está exento de problemas ambientales. Así, el fósforo puede ser movilizado hacia otros ecosistemas a través de la erosión, escurrimiento superficial y lixiviación. En los ecosistemas receptores (especialmente los acuáticos) puede provocar contaminación de los acuíferos, lagos y estuarios aumentando el grado de eutrofización de estos.

Por otra parte, el estudio realizado por Jiménez (2000) confirma la relación entre el aumento de fosfato total en cuerpos de agua y su vinculación con el uso de detergentes y fertilizantes fosfatados. La presencia de fosfatos en el agua, como mencionamos anteriormente, puede estimular el crecimiento descontrolado de la biomasa acuática, lo que conduce a la eutrofización del cuerpo de agua, causando la disminución del oxígeno disuelto y el cambio del pH, que afecta negativamente la calidad del agua y pone en peligro la vida acuática.

En la Figura 4f se puede observar que los valores de temperatura obtenida en los cuatro puntos de muestreo en época de estiaje son mayores a la temperatura obtenida en época de avenida; esto se debe a un aumento de la radiación solar y al aumento de la temperatura del aire que, hace que el agua superficial sea más cálida que el agua profunda, y por la permanencia en esta zona debido a su menor densidad. En cambio, en época de avenida debido al frío puede producirse un ligero cambio de temperatura, quedando el agua más

fría en la parte superior y aumentando en la profundidad hasta los 4°C. Por lo tanto, las elevadas temperaturas implican aceleración de la putrefacción, con lo que aumenta la DBO<sub>5</sub> y disminuye el oxígeno disuelto.

En la Figura 4h se observa mayor concentración de sólidos disueltos totales en época de avenida ello es consecuencia de las altas precipitaciones que generan fuertes procesos de escorrentía y por ende el arrastre de sedimentos; aportando al aumento considerable de la turbidez del agua. Carrillo & Urgiles (2016), lo confirma en su estudio que las altas cantidades de sólidos disueltos totales afectan la penetración de la luz en la columna del agua de la laguna. Según Giraldo (1995), estos se encuentran relacionados con la turbidez debido a la presencia de materiales en suspensión como arcillas y lodos, lo que provoca que estos dos parámetros aumenten.

Los fosfatos utilizados en la agricultura como abono, cuando no están fijados en las raíces, tallos ni hojas son arrastrados por la lluvia desde los suelos agrícolas hacia cursos de agua. Los ingresos excesivos de fosfato producen abundante crecimiento de algas y plantas en los cuerpos de agua, la abundancia de plantas acuáticas consume grandes volúmenes de oxígeno.

En cuanto a la turbidez no existe LMP para la categoría 4. En la Figura 4i se evidencia que los valores obtenidos en los cuatro puntos de muestreo en época de estiaje son menores en comparación con la época de avenida. Esto se debe a que, durante el estiaje, hay menos precipitaciones y, por lo tanto, menos escorrentía y sedimentos que sean arrastrados al cuerpo de agua desde las

zonas circundantes. En época de avenida debido a las intensas lluvias aumentan la turbidez del agua. El río Yanamarca, afluente del humedal, transporta escorrentía y sedimentos desde las áreas cercanas, concentrándolos en el río y aumentando así la turbidez del cuerpo de agua, coincidiendo con el estudio realizado por Lin et al. (2004, citado en Montoya et al., 2011) quienes refirieron que en el afluente a la planta de saneamiento o potabilización de Taiwán la turbiedad del agua se mantiene en menos del 10 UNT en condiciones atmosféricas normales, mientras que en invierno, a causa de las lluvias fuertes puede aumentar la turbiedad del agua excediendo los 100 UNT.

La época de estiaje influye en los valores de algunos de los parámetros medidos, tales como los sólidos totales disueltos y la turbidez, los cuales son relativamente bajos, siendo un cuerpo de agua léntico, y esto confirma lo descrito por Gallo-Sánchez et al. (2009) en la Ciénaga de Ayapel (Colombia), cuyo estudio demostró que las precipitaciones pueden favorecer los procesos de dilución del contenido de nutrientes y por lo tanto aumentar estos dos parámetros en dicho periodo.

En la Figura 4j se observa que, los resultados de los niveles de concentración de oxígeno disuelto en los cuatro puntos de muestreo en época de estiaje y avenida son menores al LMP establecido en  $\geq 5$  mg/L. Esto significa que la concentración de oxígeno en el agua es baja y puede ser insuficiente para el sustento de la vida acuática, los niveles bajos de concentración nos indican que hay menos cantidad de oxígeno disuelto, debido al aumento de la temperatura, además que se produce un

aumento de la actividad biológica debido a la alta carga orgánica, lo que provoca una disminución de este parámetro en el cuerpo de agua. Jiménez (2000), lo confirman en su estudio realizado donde menciona que este parámetro es de suma importancia porque cuando los niveles de concentración de oxígeno disuelto bajan, el agua no es apta para desarrollar la vida acuática. Asimismo, Weiner (2008) determinó que concentraciones de oxígeno disuelto en agua natural entre 6,5 y 8 mg/L son características de aguas levemente contaminadas, y cuando las concentraciones de OD están por encima de 8 mg/L son características de aguas no contaminadas.

La disminución de OD se debe también a la alta concentración de la  $DBO_5$ , ya que el OD está en función de las concentraciones de la  $DBO_5$ . Así mismo Goyenola (2007, citado por Huamancayo, G., 2017) menciona que concentraciones de OD que estén dentro de 5 a 8 mg/L, son adecuadas para la vida de la gran mayoría de especies de peces y otros organismos acuáticos.

Respecto al ICA-NSF de los puntos de muestreo del humedal laguna de Tragadero, en época de estiaje y avenida presentan valores muy distantes a los que un cuerpo de agua debería tener. Los humedales por sus funciones ecológicas y ambientales deberían estar entre la categoría excelente y buena, sin embargo, en la investigación no se cumple.

En la Tabla 15 se muestra el ICA-NSF cuantificado para los 4 puntos de muestreo en época de estiaje y en época de avenida. El valor promedio en época de estiaje varía en un rango de 49,81 a 53,79 y el valor promedio en época de avenida varían en

un rango de 36,89 a 43,43 y a partir del análisis realizado nos da el ICA total para el humedal Laguna de Tragadero cuyo rango fluctúa entre 43,35 a 48,61 con un promedio de 45,98 lo que significa que la calidad del agua es **mala**, según la Tabla 4. Clasificación del ICA-NSF propuesto por Brown.

## Conclusiones

Estos parámetros son fundamentales para comprender la salud y la condición de un cuerpo de agua y nos proporciona información valiosa para la gestión y la conservación de los recursos hídricos.

El effluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas del distrito de Acolla está contaminado. Según la observación visual de la característica física del agua, específicamente en lo que respecta al color verdoso y un olor fétido.

El cálculo del índice de calidad de agua es 45,98, en comparación con los valores de la Tabla 8 del ICA-NFS, propuesto por Brown, el cual indica que la calidad del agua del humedal laguna de Tragadero es MALA. Esto muestra que hay un empobrecimiento en los ecosistemas acuáticos por lo que prolifera de manera descontrolada el crecimiento de algas fitoplactónicas, produciéndose la eutrofización y la contaminación de la cadena alimenticia.

## Recomendaciones

Mejorar los procesos de operación y mantenimiento periódico de la infraestructura de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Acolla, para eliminar nitratos y fosfatos antes de que los efluentes se viertan en el cuerpo de agua y garantizar que las descargas

cumplan con los estándares ambientales.

Monitorear y gestionar los niveles de los nueve parámetros (coliformes termotolerantes, pH, turbidez, demanda bioquímica de oxígeno, sólidos disueltos totales, temperatura, nitratos, fosfatos y oxígeno disuelto) en el efluente de la planta de tratamiento para minimizar los impactos ambientales.

Capacitar a los agricultores en prácticas agrícolas responsables es una estrategia valiosa para promover el desarrollo

sostenible y proteger los recursos naturales, como el humedal laguna de Tragadero. El trabajo mancomunado de colaboración entre las autoridades locales y la comunidad es fundamental para el éxito de este esfuerzo.

Monitorear anual o semestralmente la calidad del agua y llevar a cabo esfuerzos de educación y concientización para la comunidad local y los agricultores sobre la importancia de preservar el ecosistema acuático.

## Referencias

- Alarcón, B., & Ñique, M. (2016). Índice de calidad del agua según NSF del humedal laguna Los Milagros (Tingo María, Perú). *Revista Indes*, 2(2), 98-107. <https://doi.org/10.25127/indes.20142.81>
- Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2 de marzo del 2016). *Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales*. [https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/protocolo\\_nacional\\_para\\_el\\_monitoreo\\_de\\_la\\_calidad\\_de\\_los\\_recursos\\_hidricos\\_superficiales.pdf](https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/protocolo_nacional_para_el_monitoreo_de_la_calidad_de_los_recursos_hidricos_superficiales.pdf)
- Bolaños, J., Cordero, G., & Segura, G. (2017). Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela. *Tecnología en Marcha* (Costa Rica), 30(4), 15-27. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v30n4/0379-3982-tem-30-04-15.pdf>
- Brown, R., McClellan, N., Deininger, R., & Tozer, R. (1970). A Water Quality Index—Do We Dare. *Water Sewage Works*, 117, 339- 343.
- Carrillo, M., & Urgilés, P. (2016). *Determinación del Índice de Calidad de Agua ICA-NSF de los ríos Mazar y Pindilig* [Tesis de Pregrado, Universidad de Cuenca]. Repositorio UC. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/23518/1/tesis.pdf>
- Coello, J. et al. (2013) Aplicación del ICA-NSF para determinar la calidad del agua de los ríos Ozogoché, Pichahuiña y Pomacocho-Parque Nacional Sangay-Ecuador
- Gallo, L., Aguirre, N., Palacio, J., & Ramírez, J. (2009). Zooplancton (Rotífera Y Microcrustácea) y su relación con los cambios del nivel del agua en la Ciénaga de Ayapel, Córdoba, Colombia. *Caldasia*, 31,339-353. <http://www.scielo.org>.

- co/scielo.php?script=sci\_arttext&pid=S0366-52322009000200009
- Giraldo, G. (1995). *Manual de análisis de aguas*. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/55218/manualdeanalisideaguas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Huamán, S., Lucen, M., Paredes, M., & Changanqui, D. (2021). Evaluación de la calidad del agua de la laguna Maravilla en los Pantanos de Villa (Lima, Perú). *South Sustainability* (Lima), 1(2), 1- 8. <https://revista.cientifica.edu.pe/index.php/southsustainability/download/779/747/>
- Huamancayo, G. (2017). *Parámetros físicoquímicos del agua de la laguna de los Milagros del distrito de Pueblo Nuevo*. Universidad Nacional Agraria De La Selva. <https://portal.unas.edu.pe/sites/default/files/epirnr/PARAMETROS%20FISICOQUIMICOS%20DEL%20AGUA%20DE%20LA%20LAGUNA%20DE%20LOS%20MILAGROS%20DEL%20DISTRITO%20DE%20PUEBLO%20NUEVO.pdf>
- Jiménez, A. (2000). Determinación de los parámetros físicoquímicos de calidad de las aguas. *Revista interdisciplinaria de gestión ambiental*, 2(23), 12-19. <https://docplayer.es/8378661-Determinacion-de-los-parametros-fisico-quimicos-de-calidad-de-las-aguas.html>
- Jiménez, I. (2019). *Estruvita: Fuente de fósforo reciclada obtenida a partir de residuos urbanos y agroindustriales* [Tesis de posgrado, Universidad de Sevilla]. Repositorio US. <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/99846/TFM-1421-JIMENEZ%20GARCIA.pdf?sequence=1>
- López, K. (2019). *Determinación del índice de calidad del agua en la laguna de Colta mediante la valoración de parámetros físicoquímicos y microbiológicos* [Tesis de pregrado, Universidad Central del Ecuador]. Repositorio Institucional UCE. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/18202>. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/18202/1/T-UC-0012-FIG-097.pdf>
- Minaya, R. (2017). *Parámetros Físicos, Químicos, Microbiológicos, para determinar la calidad del agua en la Laguna Moronacocha, época de transición creciente-vacante. Iquitos. Perú. 2016* [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de la Amazonia Peruana]. Repositorio de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. <https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/4690>
- Ministerio del Ambiente. (7 de junio de 2017). *Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua*. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-agua-establecen-disposiciones>

- Montoya, C., Loaiza, C., Torres, P., Cruz, C., & Escobar, J. (2011). Efecto del incremento en la turbiedad del agua cruda sobre la eficiencia de procesos convencionales de potabilización. *Revista EIA*, (16), 137-148. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S179412372011000200011&script=sci\\_arttext#:~:text=La%20turbiedad%20de%20la%20fuente,desempe%C3%B1o%20de%20las%20unidades%20de](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S179412372011000200011&script=sci_arttext#:~:text=La%20turbiedad%20de%20la%20fuente,desempe%C3%B1o%20de%20las%20unidades%20de)
- Raffo-Lecca, E., & Ruiz-Lizama, E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Industrial Data (Lima)*, 17(1), 71-80. <https://www.redalyc.org/pdf/816/81640855010.pdf>
- Rodríguez, R., et al. (2017). Evaluación Microbiológica de un cuerpo de agua del ACR Humedales de Ventanilla (Callao, Perú) y su importancia para la salud pública local. *Ecología Aplicada*, 16(1), 15–21. <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v16n1/a03v16n1.pdf>
- Rubio, H., Ochoa, J., Ortiz, R., Quintana, R., Saucedo, R., & Villalba, M. (2017). *Investigación y Ciencia (México)*, 25(70), 13-22 <https://www.redalyc.org/pdf/674/67451351002.pdf>
- Weiner E. (2012). Applications of environmental aquatic chemistry, a guide. <https://doi.org/10.1201/b12963>



# Modelación geoespacial para la caracterización agroecología-económica para el desarrollo de los cultivos de agroexportación, unidad hidrográfica Piura, Perú

Geospatial modeling for Agroecological - Economic characterization for the development of Agro-Export Crops, Piura Hydrographic Unot, Peru

Recibido: abril 12 de 2024 | Revisado: mayo 05 de 2024 | Aceptado: junio 14 de 2024

NIELL WILSON RIVAS MEZA<sup>1</sup>  
NÉSTOR MONTALVO ARQUÍÑIGO<sup>1</sup>  
ISSAAK RAFAEL VÁSQUEZ ROMERO<sup>1</sup>

## RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo crear un modelo geoespacial para identificar zonas agroecológicas y económicamente viables para los cultivos de agroexportación en Piura. Se utilizó un Sistema de Información Geográfica (SIG) y se consideró los requisitos biofísicos de los cultivos. La investigación buscó delimitar zonas con alta aptitud (agroecológico como socioeconómico). Siguiendo la metodología de zonificación agroecológica de la FAO, se superpusieron diversas capas de información espacial para definir áreas con niveles específicos de idoneidad. Se recopilaron y analizaron datos de fuentes gubernamentales (SENAMHL, el Ministerio de Agricultura y el Gobierno Regional de Piura) para identificar zonas más óptimas por cada cultivo. El proceso incluyó el desarrollo de un Modelo Cartográfico utilizando la herramienta Model Builder de ArcGIS, simplificando la creación de zonificación agroecológica y económica para cada cultivo. Finalmente, se determinaron zonas óptimas para el cultivo de ají paprika, limón, mango, maracuyá y uva. Se establecieron asignaciones específicas de tierras, incluyendo 21284.9 hectáreas para ají paprika, 9501.9 hectáreas para limón, 4868.3 hectáreas para mango, 16577.1 hectáreas para maracuyá y 7450.9 hectáreas para uva. Este enfoque integral, combina tecnología GIS, metodología FAO y datos gubernamentales, resultó en un modelo preciso que facilita decisiones estratégicas en el cultivo de agroexportación.

**Palabras clave:** zonificación agroecológica económica, sistemas de información geográfica, modelamiento geoespacial, unidad hidrográfica

## ABSTRACT

The study aimed to create a geospatial model to identify agroecologically and economically viable zones for the main agro-export crops in the Piura hydrographic unit. Utilizing a Geographic Information System (GIS) and considering the bio-physical requirements of the crops, the research sought to delineate areas with high aptitude from both agroecological and socio-economic perspectives. Following the FAO's agroecological zoning methodology, various layers of spatial information were overlaid to define areas with specific suitability levels. Data were collected and analyzed from governmental sources such

<sup>1</sup> Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú

Autor de correspondencia:  
wriwas@lamolina.edu.pe

© Los autores. Este artículo es publicado por la Revista Campus de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de San Martín de Porres. Este artículo se distribuye en los términos de la Licencia Creative Commons Atribución No-Comercial – Compartir-Igual 4.0 Internacional (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite el uso no comercial, distribución y reproducción en cualquier medio siempre que la obra original sea debidamente citada. Para uso comercial contactar a: [revistacampus@usmp.pe](mailto:revistacampus@usmp.pe).

<https://doi.org/10.24265/campus.2024.v29n37.06>

as SENAMHI, the Ministry of Agriculture, and the Regional Government of Piura to identify zones most optimal for each crop, closely approximating reality. The process included developing a Cartographic Model using the ArcGIS Model Builder tool, simplifying the creation of agroecological and economic zoning for each crop. Ultimately, optimal zones for the cultivation of paprika pepper, lemon, mango, passion fruit, and grape were determined. Specific land allocations were established, including 21284.9 hectares for paprika pepper, 9501.9 hectares for lemon, 4868.3 hectares for mango, 16577.1 hectares for passion fruit, and 7450.9 hectares for grape. This comprehensive approach, combining GIS technology, the FAO methodology, and governmental data, resulted in a precise model facilitating strategic decisions in agro-export cultivation.

**Keywords:** economic agroecological zoning, geographic information systems, geospatial modeling, hydrographic unit

## Introducción

La Zonificación Agroecológica establece zonas en función de las combinaciones de suelo, fisiografía y características climáticas (FAO, 1997). Los parámetros específicos utilizados en esta definición se centran en los requisitos climáticos y edáficos de los cultivos, así como en los sistemas de manejo bajo los cuales prosperan. La agricultura, en términos generales, está estrechamente vinculada al clima, las condiciones físico-geográficas, las propiedades del suelo y la disponibilidad de agua.

De manera más específica, el conocimiento detallado de variables como la cantidad de lluvia, humedad, temperaturas máximas y mínimas del entorno, y propiedades físicas y químicas del suelo (pH, CE, profundidad, textura, etc.), así como la calidad del agua superficial y subterránea (pH, CE, etc.), nos permite identificar las potencialidades y limitaciones de cada zona. Los componentes climáticos, edáficos y hídricos se caracterizan por su variación espacio-temporal, influenciada por factores fisiográficos como la altitud, latitud, relieve y posición geográfica. (Alva et al., 2013)

En el contexto peruano y en la mayoría de Latinoamérica, el sector agropecuario desempeña un papel crucial en la producción de alimentos, constituyendo la principal fuente de la canasta agroindustrial y de exportación. Además de ser un generador de empleo, ingresos y divisas, tiene un impacto significativo en factores sociales y económicos. Los avances tecnológicos, especialmente la Zonificación Agroecológica, ha surgido como respuesta a las consecuencias del uso indebido de los recursos, permitiendo la mejora de sistemas y la aplicación de diversos métodos de planificación de la producción con la debida optimización y preservación de la riqueza. (Jiménez et al., 2004). Varios estudios resaltan la relevancia de examinar las características ambientales, incluyendo la altitud, la precipitación y la disponibilidad de agua, entre otros aspectos, para la implementación y planificación de cultivos agrícolas. (Resende et al., 2020)

En la unidad hidrográfica Piura, la actividad agropecuaria se destaca como un recurso valioso, proporcionando una diversidad de cultivos de agroexportación como ají paprika, mangos, limones, maracuyá, uva, entre otros.

Para potenciar la productividad de los principales cultivos agrícolas destinados a la exportación, resulta crucial llevar a cabo, inicialmente, una zonificación tanto agroecológica como económica. Esta zonificación es de vital importancia ya que fundamenta la planificación y coordinación de actividades agrícolas y el manejo sostenible del suelo. La identificación precisa de zonas agroecológicas destaca aquellas regiones con un potencial notable para el avance agrícola. Dichas áreas, al beneficiarse de una acumulación de recursos técnicos y financieros, pueden experimentar un desarrollo acelerado en un periodo de tiempo relativamente breve.

Con la disponibilidad de datos actuales, la zonificación propuesta posibilitará una gestión más eficiente del patrimonio natural. Además, el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) facilitará un estudio comparativo basado en diversos factores, incluyendo datos climáticos, económicos y sociales relevantes en la unidad hidrográfica. Este enfoque integrado proporcionará una visión más completa y precisa para la toma de decisiones, contribuyendo así a estrategias más informadas y sostenibles para mejorar la productividad agrícola. (González et al., 2016).

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se han revelado como herramientas excepcionales para el análisis eficaz de datos espaciales, elevando notablemente la exactitud en su manejo. Esta mejora en la precisión es clave para aumentar la productividad agrícola, ya que permite una evaluación detallada de los criterios necesarios para determinar el mejor uso de la tierra (Nabatia et al.,

2020). La investigación actual subraya la importancia de comprender cómo la interacción entre el clima y las necesidades de los cultivos, dentro del marco de la caracterización agroclimática, facilita la identificación de alternativas tecnológicas destinadas a contrarrestar las restricciones climáticas (Baltazar da-Silva et al., 2020).

En base a lo expuesto, el objetivo general del presente trabajo de investigación es: Generar un modelo geoespacial para determinar las mejores zonas agroecológicas y económicamente aptas para los principales cultivos de agroexportación en la unidad hidrográfica Piura. Este modelo no solo contribuirá al ordenamiento territorial, sino que también buscará mejorar y mantener de manera sostenible la productividad agraria.

## Método

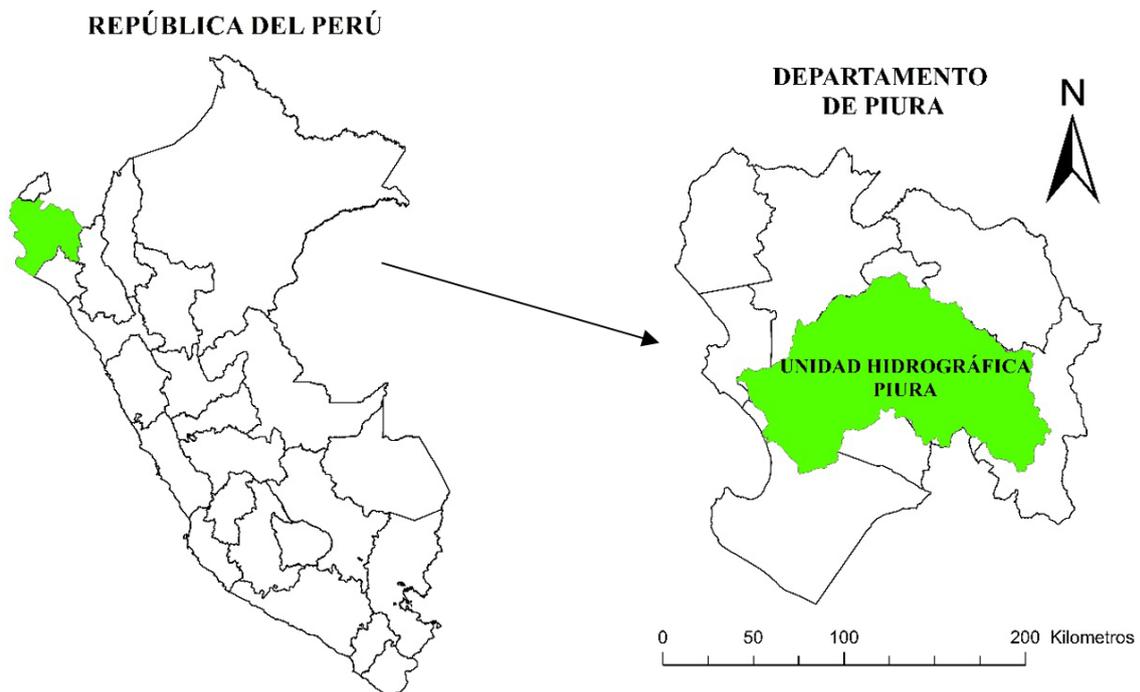
### Área de estudio

La unidad hidrográfica del río Piura abarca un área de drenaje de 12,216 km<sup>2</sup> (Figura 1), desde su nacimiento a 3,600 m. s. n. m. en la divisoria de la cuenca del río Huancabamba. Fluye en dirección sur a norte, cruza las provincias de Morropón y Piura a lo largo de un cauce de 280 km. Las coordenadas geográficas de su ubicación abarcan desde los 04°42' hasta los 05°45' de Latitud Sur y desde los 79°29' hasta los 81° de Longitud Oeste.

La trayectoria del río presenta una curvatura desde la quebrada San Francisco hasta la caída de Curumuy, seguida por una dirección sur-oeste hasta su desembocadura en el Océano Pacífico a través del Estuario de Virrillá.

**Figura 1**

*Mapa de ubicación de la zona de estudio, unidad hidrográfica Piura, Perú*



**Datos utilizados**

Este estudio requiere información disponible sobre precipitación, temperaturas, topografía, suelo y variables socioeconómicas.

**Disponibilidad climática**

Para llevar a cabo este estudio, fue necesario contar con extensas series temporales de datos sobre lluvia, temperatura máxima y mínima, con resolución mensual. En este sentido,

se utilizó la información proveniente de la base de datos grillada de lluvia PISCOp V2.1 (Peruvian Interpolated data of SENAMHI's Climatological and Hydrological Observations), la cual fue desarrollada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) para el periodo 1981-2016, con actualizaciones en curso. Esta base de datos ofrece una resolución espacial de 0.1°. Se seleccionaron estaciones meteorológicas en el interior y cerca del área de estudio.

**Tabla 1**  
*Datos meteorológicos obtenidos*

Estación meteorológica	Coordenadas UTM (WGS 84-17S)			Precipitación total anual (mm)	Temperatura (°C)	
	Este	Norte	Altitud (msnm)		Máxima	Mínima
Barrios	645196.64	9417940.66	736	538.6	30.8	20.0
Bernal	529469.75	9380700.10	11	61.16	28.5	18.2
Canchaque	656136.39	9408626.99	1808	592.2	27.9	17.3
Chalaco	630780.51	9445658.48	2379	1048.09	21.9	7.7
Chignia	645329.75	9383028.49	540	564.05	29.9	19.9
Chulucanas	593623.44	9438710.56	89	447.56	31.7	19.3
Chusis	520425.99	9393630.79	8	82.88	28.6	18.1
Corral del medio	625073.49	9429192.45	670	698.25	29.9	17.5
Cruceta	582606.50	9464522.96	150	366.12	31.2	19.5
El tablazo	560508.47	9462901.70	124	317.51	30.9	19.5
Hacienda Bigote	635930.00	9412537.88	200	537.01	31.9	20.5
Hacienda Pabur	608467.00	9425708.40	100	540.65	31.9	19.5
Hacienda Yapatera	597603.50	9442347.03	139	509.07	32.1	20.0
Hualtaco	577103.62	9466404.95	178	388.49	31.2	19.3
Huapalas	593887.82	9438708.10	100	447.56	31.7	19.3
Huarmaca	665632.84	9386456.67	2606	670.04	21.7	13.7
Laguna Ramón	546158.36	9395186.55	50	152.11	29.4	18.0
Malacasi	624906.83	9414506.03	272	583.92	31.5	18.3
Malingas	584347.19	9455323.17	100	395.06	31.1	19.5
Miraflores	544154.10	9431889.52	34	198.27	31.1	19.3
Montenegro	534753.22	9411808.09	25	142.02	29.9	18.3
Morropon	614028.81	9429315.32	290	647.3	31.2	18.7
Paltashaco	627000.18	9436520.74	1491	868.46	28.9	16.5
Pasapampa	656461.17	9436187.98	2772	782.14	22.3	8.9
Pirgas	654447.42	9375571.44	1279	694.56	27.3	18.5
Piura	544117.19	9428215.13	39	198.27	31.1	19.3
San Isidro	582696.97	9473693.17	201	441.95	31.3	19.2
San Joaquin	573605.02	9435254.17	220	287.67	30.4	18.6
San Miguel	536724.61	9424625.95	24	183.46	30.8	18.8
San Pedro	608626.98	9440390.15	695	682.37	30.8	18.0
Santo Domingo	625255.97	9445718.80	2099	951.06	23.2	9.2
Tambo Grande	576994.16	9455397.41	60	390.3	31.1	19.6
Tejedores	586410.57	9477323.24	261	419.11	30.9	18.9
Virrey	614142.62	9390756.44	282	375.82	30.8	19.1

*Nota.* Pisco – SENAMHI

### Modelo de elevación digital

Este estudio utilizó un modelo digital de elevación (DEM) obtenido a partir

del sensor ALOS PALSAR de la Agencia de Exploración Aeroespacial de Japón (JAXA), el cual fue descargado del sitio web del Alaska Satellite Facility en formato

.TIFF con una resolución espacial de 12.5 metros. Los ocho ráster descargados que cubrían el área de la unidad hidrográfica se detallan a continuación: AP\_23121\_FBD\_F7080\_RT1, AP\_23121\_FBD\_F7070\_RT1, AP\_25309\_FBD\_F7080\_RT1, AP\_25309\_FBD\_F7070\_RT1, AP\_25061\_FBD\_F7080\_RT1, AP\_25061\_FBD\_F7070\_RT1, AP\_24886\_FBD\_F7080\_RT1 y AP\_24886\_FBD\_F7070\_RT1. Con la asistencia del programa ARCGIS10.X, se llevó a cabo la integración de los ocho ráster en un mosaico, del cual se extrajo, exclusivamente, el área correspondiente de la unidad hidrográfica Piura.

### **Datos edafológicos y uso actual**

Los mapas de suelos y el uso actual del terreno fueron generados utilizando la información provista por la Zonificación Ecológica-Económica del Gobierno Regional de Piura, a una escala de 1/100000.

### **Variables socio-económicas**

Se recopiló información socioeconómica, incluyendo el Índice de Desarrollo Humano (IDH), datos sobre infraestructura vial, porcentaje de pobreza y ubicación de Centros Poblados, a través de los geoservidores de diversas instituciones, tales como el Ministerio del Ambiente (MINAM), la Autoridad Nacional del Agua, el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), y el Gobierno Regional de Piura, entre otros.

### **Método**

#### **Requerimientos agroecológicos de los cultivos**

Los cultivos de agroexportación seleccionados para el estudio de zonificación agroecológica fueron elegidos a partir del catálogo exportador de la región Piura elaborado por la Dirección Regional de Comercio Exterior y Turismo de la región Piura. Según el equipo técnico, la unidad hidrográfica está mayoritariamente destinada a la producción de cultivos como limón, uva, ají paprika, maracuyá y mango, considerando los más relevantes en el sector y, por ende, seleccionándolos para este estudio.

Los requerimientos agroecológicos de estos cultivos se establecieron conforme a los datos generados que figuran en el libro “Requerimientos Agroecológicos de Cultivos” del SAGARPA (2013) y en las fichas técnicas de los cultivos seleccionados del Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI). Los parámetros considerados como requisitos agroecológicos óptimos, adaptados para la zonificación agroecológica dentro de la unidad hidrográfica Piura, incluyen la precipitación, temperatura media, pendiente, textura del suelo, profundidad del suelo, pH del suelo, pedregosidad del suelo, drenaje del suelo, salinidad del suelo y altitud sobre el nivel del mar (este último tomado únicamente como referencia para el desarrollo de cada cultivo).

(Jaramillo Sánchez, 2021) sugiere que, ante los cambios climáticos, es posible identificar nuevas zonas que podrían volverse aptas para el cultivo de ciertas especies, favoreciendo así la redistribución espacial de áreas adecuadas para la agricultura, lo cual abre la posibilidad de registrar zonas con nueva aptitud agroecológica. (Tabla 2)

**Tabla 2**  
*Requerimientos agroecológicos de los cultivos*

CULTIVO	Ají paprika	Limón	Mango	Maracuyá	Uva
<b>Nombre científico</b>	Capsicum annum L.	Citrus Limon L.	Mangifera indica L.	Passiflora edulis	Vitis vinifera L.
<b>Familia</b>	Solanaceae	Rutaceae	Anacardiaceae	Passifloraceae	Vitaceae
<b>Requerimientos edafológicos y climáticos</b>					
<b>Altitud (msnm)</b>	0 a 2000	0 a 1800	0 a 1200	0 a 1300	0 a 3000
<b>Isoyetas (mm)</b>	600 a 1250	500 a 1600	400 a 2500	600 a 2500	400 a 1100
<b>Isotermas (°C)</b>	16 a 30	13 a 35	10 a 35	21 a 32	10 a 35
<b>Pendientes (%)</b>	< 12%	< 25%	< 12%	< 12%	< 12%
<b>Textura</b>	Franco arcilloso, Franco arenoso	Franco, Franco arcilloso, franco arenoso	Limo arenoso, Arcilloso arenoso, franco arenoso	Franco, franco arcilloso	Franco arenoso
<b>Profundidad</b>	Profundo	Profundo	Profundo	Profundo	Profundo
<b>Drenaje</b>	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
<b>pH</b>	6 a 7	5.5 a 7	5.5 a 7.5	5.5 a 7	5.5 a 7
<b>Salinidad</b>	Sin	Sin	Sin	Sin	Sin
<b>Pedregosidad</b>	Sin o muy pocas	Sin o muy pocas	Sin o muy pocas	Sin o muy pocas	Sin o muy pocas

*Nota.* SAGARPA (2013)

### Construcción de la base de datos geoespaciales

La comparación sistemática entre las condiciones edafológicas, climáticas, requerimientos agroecológicos de los cultivos, y aspectos socioeconómicos de un sector determinado forman la zonificación agroecológica - económica. Cada tributo o descripción se le asigna un nivel para el modelo geoespacial.

La sectorización del territorio en base a criterios ecológicos determina las condiciones ambientales ideales para las especies vegetales, buscando alcanzar el máximo potencial de producción. Este enfoque integra y considera diversos

factores que influyen en el desarrollo de los cultivos, incluyendo las condiciones climáticas y edafológicas. Identificar áreas con características propicias para el establecimiento de cultivos es fundamental en la planificación de estrategias de desarrollo agrícola, tanto a nivel local como regional. Por tanto, este estudio permitirá una gestión sostenible, teniendo en cuenta la capacidad productiva de los recursos naturales y la conservación de los ecosistemas relevantes (Orlando et al., 2019).

La clasificación del factor pendiente se ha determinado en base a los diferentes rangos de pendiente presentes en la unidad hidrográfica. Este factor adquiere

relevancia debido a su estrecha relación con la resistencia del suelo ante la erosión hídrica, y tiene un impacto directo en las prácticas culturales, tanto agronómico como mecánico, aplicadas en el cultivo. La clasificación se hizo en seis niveles, con las siguientes descripciones y rangos: pendiente débil (0-5), pendiente suave (5-12), pendiente moderada (12-25), pendiente fuerte (25-70), pendiente muy fuerte (50-70), y pendiente abrupta (>70), respectivamente.

características exhiben similitudes en términos de sus propiedades físico-químicas y morfológicas, lo que indica potencialidades similares y la posibilidad de aplicar un manejo uniforme. La caracterización del suelo se percibe como un atributo susceptible de medición o estimación. Las propiedades físicas y químicas, son cuantificables y poseen impactos significativos en los cultivos. Se definen de acuerdo a criterios adjuntos, los cuales se describen detalladamente en la Tabla 3.

Las unidades de suelo y sus

**Tabla 3**  
*Indicadores del suelo*

NI-VE-LES	TEXTURA		PROFUNDIDAD EFECTIVA		SALINIDAD		PH DEL SUELO		PEDREGOSIDAD DEL SUELO		DRENAJE DE SUELO
	Descripción	Clasificación	Centímetros	Descripción	Rango (mmhos/cm)	DESCRIPCIÓN	Rango (%)	Descripción	RANGO (%)	Descripción	Descripción
1	Arenosa (fina, media, gruesa) Arenoso franco	Gruesa	0 - 20	Superficial	0 - 2	Sin	< 4.5	Muy ácido	< 10	Sin o muy pocas piedras	Bueno
2	Franco arenoso (fino a grueso) Franco limoso	Moderadamente gruesa	21 - 50	Poco profundo	2 - 4	Ligera	4.5 - 5.5	Ácido	11 - 25	Con pocas piedras	No tomar en cuenta
3	Franco Limoso Franco arcilloso (< 35% de arcilla) Franco arcilloso arenoso Franco arcilloso limoso	Media	51 - 100	Moderadamente profundo	4 - 8	Media	5.6 - 6.5	Ligeramente ácido	26 - 50	Con frecuentes piedras	--
4	Franco arcilloso (>35% de arcilla) Arcilloso Arcillo arenoso Arcillo limoso	Fina	> 100	Profundo	8 - 16	Alta	6.6 - 7.5	Neutro	51 - 75	Con abundantes piedras	--
5	Arcilloso	Muy fina	--	--	> 16	Muy alta	7.5 - 8.5	Moderadamente alcalino	> 75	Pedregoso	--
6	--	--	--	--	--	--	> 8.5	Alcalino	--	--	--

El desarrollo de los cultivos se produce cuando las variaciones térmicas no afectan adversamente las funciones fundamentales de las plantas, tales como el crecimiento, la germinación, la fotosíntesis, la absorción de agua y nutrientes, y la respiración. Con el propósito establecido en la metodología, se ha definido de manera secuencial y ordenada parámetros (niveles) para los grados de temperatura, de la siguiente manera: nivel 1 al 11, se le asignó la temperatura media en centígrados entre 15 a mayor de 25 grados.

Mediante el análisis de las precipitaciones medias mensuales y anuales de las estaciones meteorológicas, se obtiene una representación de la distribución de las etapas de la precipitación, conocidas como isoyetas. Con la capa de isoyetas, se asignó parámetros (niveles) de manera secuencial y ordenada a los atributos de precipitación, dividiendo los rangos en incrementos de 100 mm.

La generación de las variables de vías y centros poblados implicó la creación de un área de influencia. Esta área se fundamenta en las condiciones sociales y económicas que respaldan la conectividad e interrelación de las actividades diarias en los ámbitos socioeconómicos, políticos y culturales donde se desenvuelve la población en una determinada región. Se asignaron los niveles 1 y 2 para dentro del buffer y afuera del buffer, respectivamente, para la capa de red vial y la capa de área de los centros urbanos.

El uso actual del suelo en la cuenca hidrográfica fue evaluado, otorgándole una mayor prioridad a las zonas agrícolas. Los niveles se asignaron del 1 al 10 para zona agrícola, bosque de montaña, bosque

seco, desierto costero, cuerpos de agua, matorral, manglar, páramo, río Piura, y zona urbana, respectivamente.

El criterio para evaluar el nivel es que las poblaciones con niveles más altos/bajos de pobreza exhiben una mayor/menor participación en la actividad agropecuaria, con el mismo criterio se clasifico el IDF. Los niveles se clasificaron del 1 al 4 para los rangos de pobreza bajo (9.8 - 24.15%), medio (24.15 - 38.5%), alto (38.5 - 52.85%), y muy alto (52.85 - 67.2%), y para los niveles de rango de IDH fueron muy alto (0.448 - 0.555), alto (0.341 - 0.448), medio (0.233 - 0.341), y bajo (0.126 - 0.233), respectivamente.

### **Modelo geoespacial de zonificación agroecológica económica**

(Aghaloo et al., 2023) sugieren en su estudio que la elección de un método de interpolación óptimo puede diferir según la región, haciendo indispensable realizar análisis y comparaciones detalladas para identificar el método más adecuado para una área de estudio específica.

Por otro lado, (Salas López et al., 2017) en su investigación sobre microzonificación agroecológica, destacan que a través del uso de técnicas de álgebra de mapas es posible generar un ráster final. Este proceso permite cuantificar las potencialidades y limitaciones de las parcelas agrícolas, proponiendo un plan de manejo de suelos. Dicha gestión incluye la recomendación de alternativas de uso que armonicen con los requerimientos específicos de las especies cultivadas y las condiciones locales existentes.

El modelo conceptual revela la estructura de los campos considerados

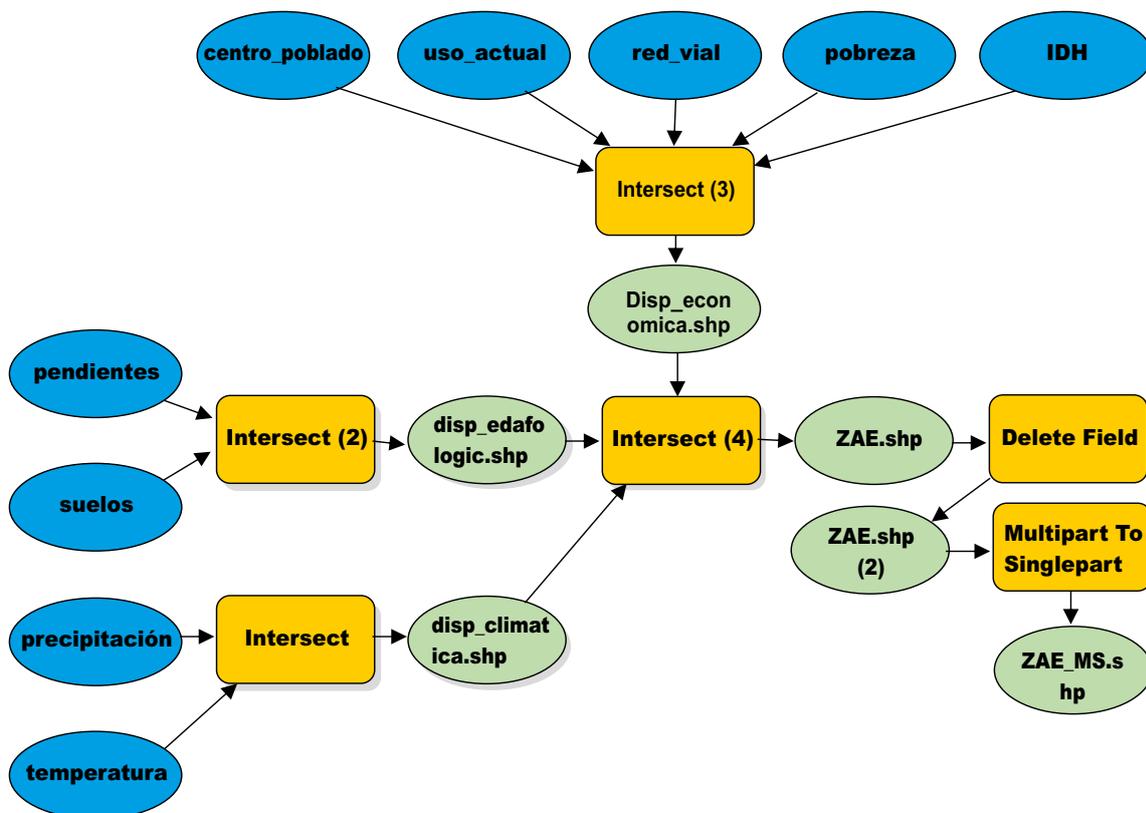
para identificar las zonas agroecológicas económicas óptimas para los cultivos seleccionados en la unidad hidrográfica Piura.

En la presente investigación, la construcción del modelo se realizó

priorizando las variables más relevantes e influyentes en el objetivo del modelo. Posteriormente, se llevó a cabo la calificación en las unidades de cada variable utilizando el sistema de información geográfica con el software ArcGIS y la herramienta Model Builder.

**Figura 2**

*Modelo geoespacial para la determinación de la zonificación agroecológica económica.*



**Elaboración del lenguaje estructurado de consulta (SQL)**

El lenguaje de consulta estructurado (SQL) es fundamental en la especificación de diversas operaciones en bases de datos, sirviendo como un lenguaje de control ampliamente incorporado en numerosas operaciones de los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

(Moreno et al., 2018) por su parte,

exponen en su estudio que el modelo agrológico se basa en una función matemática. Esta función, utilizando SQL para consultar los atributos de los mapas agroecológicos, identifica zonas óptimas caracterizadas por las mejores condiciones edafológicas y climáticas para el cultivo. Como resultado, se producen mapas que representan áreas según el tipo de cultivo. Además, varios autores argumentan que las zonas donde la zonificación propuesta coincide con el uso actual de los cultivos obtendrán

mejores resultados. Esto contribuye a una mayor competitividad, satisfaciendo las necesidades alimentarias de la canasta básica familiar e incrementando las exportaciones a partir de los excedentes.

Este modelo propuesto de zonificación se concibe como una función matemática que, mediante el lenguaje estructurado de consulta a los atributos del mapa agroecológico dentro de un Sistema de Información Geográfica (SIG),

genera zonas óptimas caracterizadas por condiciones edafológicas y climáticas más propicias para el cultivo. El resultado final se presenta en mapas que representan áreas con condiciones homogéneas ya sean limitantes o satisfactorias para el desarrollo de los cultivos. En la ejecución de este proceso, la Tabla 4 resume los parámetros utilizados conforme a los requerimientos agroecológicos de los cultivos de ají paprika, limón, mango, maracuyá y uva.

**Tabla 4**  
*Parametrización de los requerimientos agroecológicos*

Requerimientos	Ají paprika		Limón		Mango		Maracuyá		Uva	
Isoyetas (mm) / nivel	600 a 1250	6 al 11	500 a 1600	5 al 11	400 a 2500	4 al 11	600 a 2500	6 al 11	400 a 1100	4 al 11
Isotermas (°C) / nivel	16 a 30	2 al 11	13 a 35	1 al 11	10 a 35	1 al 11	21 a 32	7 al 11	10 a 35	1 al 11
Pendientes (%) / nivel	< 12%	1,2	12% a 25%	3	< 12%	1,2	< 12%	1,2	< 12%	1,2
Textura / nivel	Franco arcilloso, Franco arenoso	2,3	Franco, Franco arcilloso, franco arenoso	2,3	Limo arenoso, Arcilloso arenoso, franco arenoso	2,3,4	Franco, franco arcilloso	3	Franco arenoso	2
Profundidad / nivel	Profundo	3	Profundo	3	Profundo	3	Profundo	3	Profundo	3
Drenaje / nivel	Bueno	1	Bueno	1	Bueno	1	Bueno	1	Bueno	1
pH / nivel	6 a 7	3,4	5.5 a 7	2,3,4	5.5 a 7.5	2,3,4	5.5 a 7	2,3,4	5.5 a 7	2,3,4
Salinidad / nivel	Sin	1	Sin	1	Sin	1	Sin	1	Sin	1
Pedregosidad / nivel	Sin o muy pocas	1	Sin o muy pocas	1	Sin o muy pocas	1	Sin o muy pocas	1	Sin o muy pocas	1

Según la parametrización de los requerimientos agroecológicos, y a partir de los atributos de la base de datos agroecológicos obtenida con las intersecciones, la selección para el caso del cultivo ají paprika:

- i. Realizar la consulta SQL para el rango de isoyetas que en consideraciones óptimas se encuentre entre 600 a 1250 mm, esto quiere decir que le corresponde las clases del 6 al 11.
- ii. En la misma selección escogemos

los restantes parámetros, como las isotermas entre 16 a 30°C, equivalente a las clases del 2 al 11.

- iii. En seguida la pendiente del 0 al 12%, equivalente a las clases 1 y 2.
- iv. Luego la textura de tipo franco arcilloso y franco arenoso, equivalente a las clases 2 y 3
- v. En la misma selección escogemos la profundidad profunda, equivalente a la clase 3.
- vi. Después el drenaje para el ají paprika es bueno, equivale a la clase 1.
- vii. De la anterior selección escogemos el pH con un rango 6 a 7, equivalente a las clases 3 y 4
- viii. Posteriormente identificamos la salinidad establecida como sin sales, equivalente a la clase 1
- ix. Y finalmente se selecciona la pedregosidad, sin o muy pocas piedras, equivalente a la clase 1.

Este mismo proceso fue llevado a cabo para obtener la zonificación agroecológica de los demás cultivos. Para definir las Zonas Agroecológicas Económicas Aptas por cultivo, se considerarán aquellas áreas que cumplan con las condiciones parametrizadas de infraestructura vial, centros poblados y uso actual, siendo identificadas como las de mejores condiciones socioeconómicas. Para generar la capa de zonas agroecológicas económicas óptimas se usaron los siguientes factores: uso actual (zona agrícola - nivel 1), vías de comunicación (dentro del buffer - nivel 1), centros poblados (dentro del buffer - nivel 1), pobreza (bajo o medio – niveles 1-2), e IDH (muy alto o alto – niveles 1-2). Estos factores fueron determinados mediante el uso de lenguaje estructurado de consulta (SQL).

Conforme a lo indicado en las condiciones óptimas para las zonas agroecológicas económicas, y con los atributos de las zonas socioeconómicas para el cultivo del ají paprika, (la misma secuencia para los demás cultivos en el presente estudio) se escogió así:

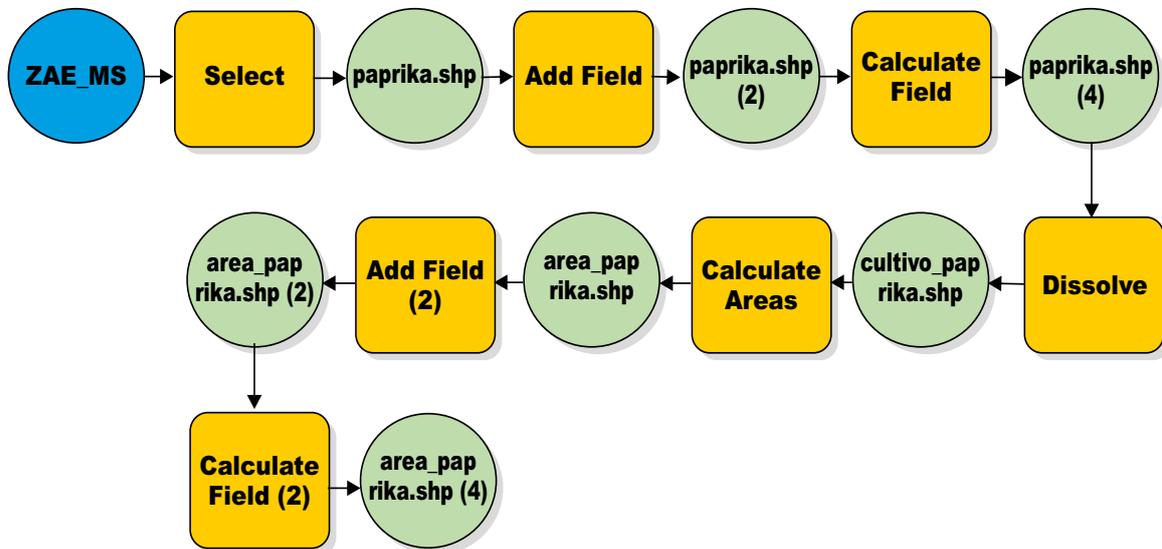
- i. Se selecciona una consulta SQL para la categoría de vías de comunicación que en condiciones óptimas es el área de influencia a 2000 m, es decir la clase 1.
- ii. En esta escogemos las características de centros poblados con un área de influencia según lo explicado anteriormente, con clase 1.
- iii. Después se selecciona el uso actual de tipo zonas agrícolas, correspondiéndole la clase 1.
- iv. Se elige los distritos cuyo rango de IDH sea “Alto” o “Muy Alto”, es decir las clases 1 y 2.
- v. Finalmente, los distritos que tengan un rango de pobreza “Bajo” y “Medio”, con las clases 1 y 2.

Por lo tanto, la consulta SQL para el cultivo ají paprika sería de la siguiente manera:

```
“Nivel_pend” <= 2 AND “Nivel_prep”
>= 6 AND “Nivel_Tmed” >= 2 AND
(“Nivel_text” >= 2 AND “Nivel_text” <=
3) AND “Nivel_pedr” = 1 AND “Nivel_
prof” = 3 AND (“Nivel_pH” >= 3 AND
“Nivel_pH” <= 4) AND “Nivel_sali” = 1
AND “Nivel_dren” = 1 AND “Nivel_via”
= 1 AND “Nivel_CP” = 1 AND “Nivel_
UA” = 1 AND “Nivel_pobr” <= 2 AND
“Nivel_IDH” <= 2
```

**Figura 3**

*Modelo geoespacial para la determinación de las zonas agroecológicas económicas aptas para el cultivo del ají paprika*



## Resultados y Discusión

### Zonas aptas para el cultivo ají paprika

De acuerdo con los resultados obtenidos a través de la consulta SQL que abarcó todos los requisitos agroecológicos necesarios para el cultivo del ají paprika, se identificó un área de 10,327.25 hectáreas en zonas aptas. Estos resultados destacan la idoneidad del cultivo en los distritos de Buenos Aires, Morropón, Chulucanas y Tambo Grande, donde se presenta un entorno óptimo para su desarrollo. Esta área representa el 3.09% de la superficie total de las zonas agrícolas dentro de la unidad hidrográfica.

### Zonas aptas para el cultivo limón

Los resultados de la consulta SQL sobre los requerimientos agroecológicos y económicos para el cultivo de limón revelaron un área de 43,931.24 hectáreas de zonas aptas, lo que representa el 13.15% de las zonas agrícolas. Estas

áreas son principalmente localizadas en los distritos de Buenos Aires, Morropón, Chulucanas y Tambo Grande, ubicados en la parte alta de la unidad hidrográfica.

### Zonas aptas para el cultivo mango

La superficie apta para el cultivo de mango abarca el 18.05% de las zonas agrícolas que totaliza 60,301.9 hectáreas, dentro de la unidad hidrográfica Piura. Estas zonas óptimas se encuentran mayoritariamente en los distritos de Buenos Aires, Morropón, Chulucanas y Tambo Grande.

### Zonas aptas para el cultivo maracuyá

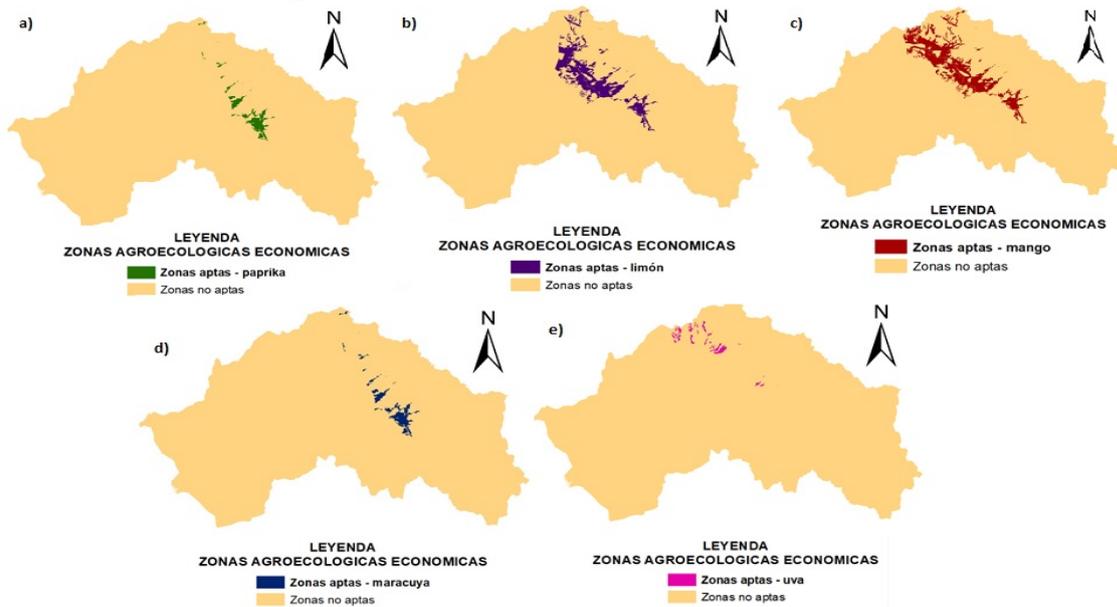
El cultivo de maracuyá abarca solo una superficie óptima de 10,267.12 hectáreas, equivalente al 3.07% de las zonas agrícolas. Estas zonas aptas para el cultivo se encuentran dispersas mayoritariamente en los distritos de Morropón, Buenos Aires, Chulucanas y Tambo Grande.

### Zonas aptas para el cultivo uva

Con base en los datos recopilados, se identificó que el 1.36% de las zonas agrícolas de la unidad hidrográfica Piura (4548.76 ha) cumple con

los requerimientos agroecológicos y económicos para el cultivo de la uva. Estas zonas aptas se encuentran predominantemente en los distritos de Morropón, Buenos Aires, Chulucanas y Tambo Grande.

**Figura 4**  
*Zonificación agroecológica-económica (a-e)*



En el presente estudio, se efectuó una zonificación agroecológica focalizada en los cultivos clave destinados a la exportación dentro de la región seleccionada para la investigación, siguiendo las directrices de clasificación propuestas por el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2010). Este análisis implicó una evaluación de los requisitos agroecológicos y económicos específicos de cada cultivo. A cada variable se les asignó niveles conforme a los umbrales establecidos, revelando que los cultivos analizados podrían ser compatibles en términos de requerimientos de suelo, lo que sugiere una optimización en la distribución espacial de los cultivos.

La zonificación realizada se centró exclusivamente en identificar zonas

óptimas para el crecimiento de los cultivos examinados, destacando aquellas áreas con condiciones naturales favorables.

Este trabajo subraya la necesidad de expandir la investigación a la zonificación agroecológica económica de cultivos no incluidos en el análisis actual. Futuras investigaciones en esta dirección podrían desvelar potenciales oportunidades para maximizar los beneficios económicos de los agricultores y proporcionar recomendaciones estratégicas para una redistribución de cultivos más coherente con sus características agroecológicas y económicas intrínsecas.

### Conclusiones

La unidad hidrográfica Piura abarca una superficie total de 1,093,010.7 hectáreas,

de las cuales solo 331,397 hectáreas son zonas agrícolas, representando un 30.31% de su territorio apto para la actividad agropecuaria. Se implementó una metodología de zonificación agroecológica económica en esta unidad hidrográfica, identificando áreas aptas o lugares con vocación natural para los cultivos de ají paprika, limón, mango, maracuyá y uva.

Los cultivos estudiados alcanzaron extensiones en las zonas agrícolas: 10,327.25 hectáreas (3.09%) para ají paprika, 43,931.24 hectáreas (13.15%) para limón, 60,301.9 hectáreas (18.05%) para mango, 10,267.12 hectáreas (3.07%) para maracuyá y 4,548.76 hectáreas (1.36%) para uva. La integración de

variables como disposición edafológica, disposición climática y caracterización socioeconómica en el modelo permitió identificar áreas óptimas para el desarrollo de cada cultivo.

Se desarrolló un model builder para automatizar la identificación de zonas óptimas, donde cualquier cultivo puede idealmente prosperar y ser más productivo debido a condiciones climáticas, edafológicas y socioeconómicas adecuadas. Es importante destacar que estas exigencias no excluyen la posibilidad de plantar los cultivos en otros lugares con condiciones y requisitos similares, aunque su productividad pueda verse reducida o no cumpla con los planes adecuados de conservación y protección.

## Referencias

- Aghaloo, K., & Sharifi, A. (2023). A GIS-based agroecological model for sustainable agricultural production in arid and semi-arid areas: The case of Kerman Province, Iran. *Current Research in Environmental Sustainability*, 6, 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.crsust.2023.100230>
- Alva, H., & Chaca, B. (2013). Determinación de zonas potenciales para cultivos frutícolas en la región Tacna, mediante sistemas de análisis espacial. *Espacio y Desarrollo*, 25, 123-135. <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/espacioydesarrollo/article/view/10626>
- Baltazar-da Silva, D. F., Morejón-García, M., Díaz-Pita, A., De Almeida, F. M., Ferreira, J., & Gonzalves, V. (2020). Caracterización agroclimática de la provincia Uigé, Angola en función del desarrollo del Café Robusta. *Instituto Nacional de Ciencias Agrícola, Cultivos Tropicales*, 41(1), 1-12. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362020000100001&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362020000100001&lng=es&tlng=es)
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (1997). *Zonificación agro-ecológica: Guía general*. [https://www.faoswalim.org/resources/Land/Land\\_resource\\_Mgt/pdfdocs/aezs.pdf](https://www.faoswalim.org/resources/Land/Land_resource_Mgt/pdfdocs/aezs.pdf)
- González, H. A., & Hernández, J. R. (2016). Zonificación agroecológica del Coffea arábica en el municipio Atoyac de Álvarez, Guerrero, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín*, 53, 105-118. <https://doi.org/10.14350/rig.49329>

- Jaramillo Sánchez, L. A. (2021). *Zonificación agroecológica del cultivo de café (Coffea arabica L.) en la provincia de Loja bajo escenarios de cambio climático* (Tesis de máster, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador). <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/55448>
- Jiménez, C. A., Vargas, T., Salinas, C., Aguirre, M., & Rodríguez, C. (2004). Aptitud agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el sur de Tamaulipas, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín*, 53, 58-74. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-46112004000100005&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112004000100005&lng=es&tlng=es).
- MINAM (Ministerio del Ambiente). (2010). *Reglamento sobre el uso, manejo y conservación de tierras*. Lima, Perú: MINAM. [http://www.inta.go.cr/Normativa/Reglamento\\_Ley\\_Suelos.pdf](http://www.inta.go.cr/Normativa/Reglamento_Ley_Suelos.pdf)
- Moreno Izquierdo, V. J., Lasso Benítez, L. P., Reyes Pozo, M. D., Haro Prado, R. X., & Cruz Espinosa, G. I. (2018). Aptitud agroecológica de tres cultivos estratégicos (maíz, arroz y caña de azúcar) en 14 cantones de la cuenca baja del río Guayas. *Pro Sciences: Revista de Producción, Ciencias e Investigación*, 2(13), 15-24. <https://doi.org/10.29018/issn.2588-1000vol2iss13.2018pp15-24>
- Nabati, J., Nezami, A., Nematollahi, E., & Morteza, A. (2020). GIS-based agro-ecological zoning for crop suitability using fuzzy inference system in semi-arid regions. *Ecological Indicators*, 117, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106646>
- Salas López, R., Rodríguez Calampa, N. J., Barboza Castillo, E., Mendoza Chchiple, M. E., & Oliva, M. (2017). Microzonificación agroecológica de sistemas agrosilvopastoriles empleando un modelo de procesamiento basado en SIG en parcelas en la provincia de Bongará, Amazonas (Perú). *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*, 1(2), 40-50. <https://doi.org/10.25127/aps.20172.361>
- Resende, R.T., Kuki, K.N., Corrêa, T.R., Zaidan, Ú.R., Mota, P.H., Telles, L.A., Gonzáles, D.G., Motoike, S.Y., Resende, M.D., Leite, H., & Lorenzon, A.S. (2020). Data-based agroecological zoning of Acrocomia aculeata: GIS modeling and eco-physiological aspects into a Brazilian representative occurrence area. *Industrial Crops & Products*, 154, 112749. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112749>
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (2013). *Requerimientos agroecológicos de los cultivos*. México. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/105805/2013\\_12\\_13\\_MAT\\_sagarpa4a\\_2\\_.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/105805/2013_12_13_MAT_sagarpa4a_2_.pdf)

# Efectos ecotoxicológicos del plomo (Pb) sobre la familia Anatidae: Una revisión sistemática

## Ecotoxicological effects of lead (Pb) on the familia Anatidae: A systematic review

Recibido: mayo 01 de 2024 | Revisado: mayo 17 de 2024 | Aceptado: junio 02 de 2024

DIEGO BOCANEGRA OLAVARRIA<sup>1</sup>  
CONNIE CESPEDES CACERES<sup>1</sup>  
KARLA FERNÁNDEZ SÁNCHEZ<sup>1</sup>  
RONALDO GALDO LAVADO<sup>1</sup>  
WILBER TICUÑA BLAS<sup>1</sup>  
JOSÉ IANNAcone<sup>1,2</sup>

### RESUMEN

Dentro de las aves silvestres acuáticas, la familia Anatidae es considerada como un conveniente indicador de contaminación por plomo (Pb), debido a su exposición a este metal en aguas continentales contaminadas. El objetivo de este estudio fue determinar los efectos tóxicos del Pb en las especies de la familia Anatidae. Estas especies se han expuesto al metal pesado por actividades como la caza, generando la principal causa de exposición, la ingesta de los perdigones de Pb, ya sea de manera directa o a través de su dieta, que dicha actividad utiliza. El Pb, en las especies de esta familia, suele bioacumularse más que todo en el hígado, riñones y huesos. Asimismo, la contaminación por dicho metal, tiene como principales consecuencias, la alteración del sistema inmunológico, disminución de la probabilidad de supervivencia y daño en el sistema nervioso central.

**Palabras clave:** Anatidae, plomo, contaminación, efectos

### ABSTRACT

Among wild aquatic birds, the family Anatidae is considered a convenient indicator of lead (Pb) contamination due to its exposure to this metal in contaminated inland waters. The objective of this study was to determine the toxic effects of Pb on species of the family Anatidae. These species have been exposed to the heavy metal through activities such as hunting, generating the main cause of exposure, the ingestion of Pb pellets, either directly or through their diet, which this activity uses. Pb, in species of this family, tends to bioaccumulate mainly in the liver, kidneys and bones. Likewise, the main consequences of contamination by this metal are the alteration of the immune system, a decrease in the probability of survival and damage to the central nervous system.

**Keywords:** Anatidae, lead, contamination, effects

- 1 Universidad Científica del Sur. Lima - Perú  
2 Universidad Nacional Federico Villarreal.  
Lima - Perú

Autor de correspondencia:  
joseiannacon@gmail.pe

© Los autores. Este artículo es publicado por la Revista Campus de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de San Martín de Porres. Este artículo se distribuye en los términos de la Licencia Creative Commons Atribución No-Comercial – Compartir-Igual 4.0 Internacional (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite el uso no comercial, distribución y reproducción en cualquier medio siempre que la obra original sea debidamente citada. Para uso comercial contactar a: [revistacampus@usmp.pe](mailto:revistacampus@usmp.pe).

<https://doi.org/10.24265/campus.2024.v29n37.07>

## Introducción

El plomo (Pb) es uno de los metales pesados más abundantes, de forma natural, en la corteza terrestre; sin embargo, hoy en día, también se encuentra en el agua y aire, puesto que es una de las toxinas con mayor generalización en el mundo y uno de los primeros en extraer por el hombre para su manejo (García & Navarrete, 2022; Franco, 2020). A nivel mundial, el Pb ha demostrado ser un metal altamente tóxico para el medio ambiente, por los efectos nocivos sobre el suelo y recursos hídrico; asimismo, también ha mostrado repercusiones en la salud de las personas, la flora y fauna de muchos ecosistemas cercanos a minas, fundiciones y puertos de descarga de concentrado de metales pesados, lugares de donde generalmente proviene este metal (Berger et al., 2019; Christou et al., 2022; Kumar et al., 2020; Schupp et al., 2020). Debido al incremento en la producción y el consumo de plomo, la exposición y contaminación por el mismo ha aumentado; tanto es así que estudios han mostrado que en gran parte de los alimentos producidos por la agricultura se puede encontrar a este metal, ello debido al agua de riego contaminada y fertilizantes de la industria agropecuaria (Salas et al., 2019; Agencia de Protección Ambiental, [EPA], 2022). Es preciso mencionar que hasta la actualidad no se ha presentado una concentración de Pb en la cual no se observan riesgos para la salud y el ambiente (Organización Panamericana de Salud, [OPS], 2020).

Respecto a la fauna afecta por el plomo, diversas especies de aves a nivel mundial resultan ser fuertemente afectadas, debido a la alta toxicidad que posee, la cual ocasiona que cada año mueran millones; tan solo en EE.UU. la muerte de tres millones

de estos individuos aproximadamente, siendo, la contaminación ocasionada por las actividades pesqueras, mineras, industriales y de caza, las principales fuentes que afectan a las poblaciones de aves (Plaza et al., 2018; Plaza & Lambertucci, 2019). Las vías de exposición de este contaminante para las aves son la inhalación y la ingestión, esta última es considerada la principal debido a la dieta de las aves, ya sean granívoras, carnívoras, geófagas u otras; además, cabe resaltar, que el Pb se caracteriza por ser bioacumulable, lo cual le permite ser almacenado sus cuerpos por un largo tiempo (Bassi et al., 2021; Sriram et al., 2022). Dentro de su organismo, el impacto en la salud de esta especie es variado, ocasionando efectos letales (muerte) y no letales (inhibición de movimientos) en función de la dosis de exposición, los cuales se observan desde cambios hematológicos sutiles, hasta alteraciones en el sistema nervioso (Sato et al., 2022; Lohr et al., 2020). En base a ello, las aves pueden ser consideradas como valiosos bioindicadores con respecto a la contaminación por Pb, debido a su sensibilidad frente a los cambios ambientales; asimismo, pueden ser utilizadas también como un sistema de advertencia de peligro potencial para la salud humana y la vida silvestre, ya que este metal representa una gran amenaza para varias especies de interés para la conservación (Durkalec et al., 2022; Monclús et al., 2020; Sriram et al., 2022).

La familia Anatidae es un grupo de aves acuáticas (como gansos, patos o cisnes) que dependen, por lo menos una parte de su ciclo anual, de los cuerpos de agua que puedan sustentar grandes grupos de estas aves (Miyabayashi & Mundkur, 1999). La mayoría de estas aves migran, estacionalmente, evitando

condiciones climáticas invernales, con el fin de aprovechar alimentos y llevar a cabo su ciclo reproductivo en otras áreas durante las estaciones de primavera o verano (Alerstam et al., 2003). Debido a que estas aves suelen viajar largas distancias y la alimentación de cada individuo suele ser mucho mayor a la de animales terrestres, se han encontrado diversos contaminantes en varias de las especies, siendo el plomo (Pb) el de mayor presencia; es por ello, que esta familia se convierte en un conveniente indicador de contaminación por Pb, principalmente para aguas continentales (Korbecki et al., 2019). Diversos estudios han encontrado plomo en muchas especies, como es el caso de los ánades reales, los cuales fueron evaluados en diversas zonas de Asia como en Izumi, noroeste de Irán y el Mar Caspio, encontrando concentraciones de este contaminante en el hígado (Nam et al., 2005; Mansouri & Majnoni, 2014; Sinka-Karimi et al., 2015). Por otro lado, también se halló plomo en las plumas, como es el caso de los gansos de frente blanca y patos de pico manchado (Kim & Oh, 2014). Las plumas están compuestas por proteínas altas en queratina, la cual cuenta con afinidad a los metales pesados, como el plomo (Lodeni & Solonen, 2013).

Torimoto et al. (2021) revelaron el comportamiento y el efecto tóxico del Pb causado por la ingestión de inyecciones de Pb en aves acuáticas, siendo una de las especies importantes del estudio, el pato muscovy (*Cairina moschata*). Para llevar a cabo esta investigación se realizaron experimentos en siete patos, donde cuatro de ellos estuvieron expuestos al plomo, recibiendo tres gránulos del metal ( $240 \pm 1,7$  mg) y luego de 30 días todos fueron sacrificados con pentobarbital sódico. Tras

ello, se realizaron análisis cuantitativos de plomo por ICP-MS, de sangre, muestras de tejido e histopatológico. Finalmente, el estudio concluyó que los patos acumularon Pb de forma difusa en el hígado, la corteza renal y el cerebro; asimismo, se determinó que el Pb se acumuló de manera restringida a la pulpa roja del bazo.

Korbecki et al. (2019), evaluaron y compararon las concentraciones de plomo (Pb) en varios órganos de aves acuáticas de distintos lugares, principalmente en patos, gansos y cisnes (Anatidae), garzas y garcetas (Ardeidae), charranes (Sternidae) y gaviotas (Laridae). Para llevar a cabo esta investigación, realizaron un proceso de recolección de información en la plataforma PubMed, entre los años 1998–2018. A partir de ello, se concluyó que el plomo se encuentra presente en niveles variables en el medio ambiente en todo el hemisferio norte, siendo China y Corea los países con mayor problema de contaminación en cuanto a este metal, seguidos de países europeos como España, Francia e Italia, y finalmente están EE. UU. y Canadá, resultando estos dos últimos como los lugares donde las aves acuáticas presentaron menos concentraciones de Pb en sus órganos, plumas y huevos.

Tras lo expuesto, anteriormente, el objetivo establecido para la presente investigación consistió en determinar los efectos tóxicos del Plomo (Pb) sobre las aves de la familia Anatidae, mediante una revisión bibliográfica.

## Método

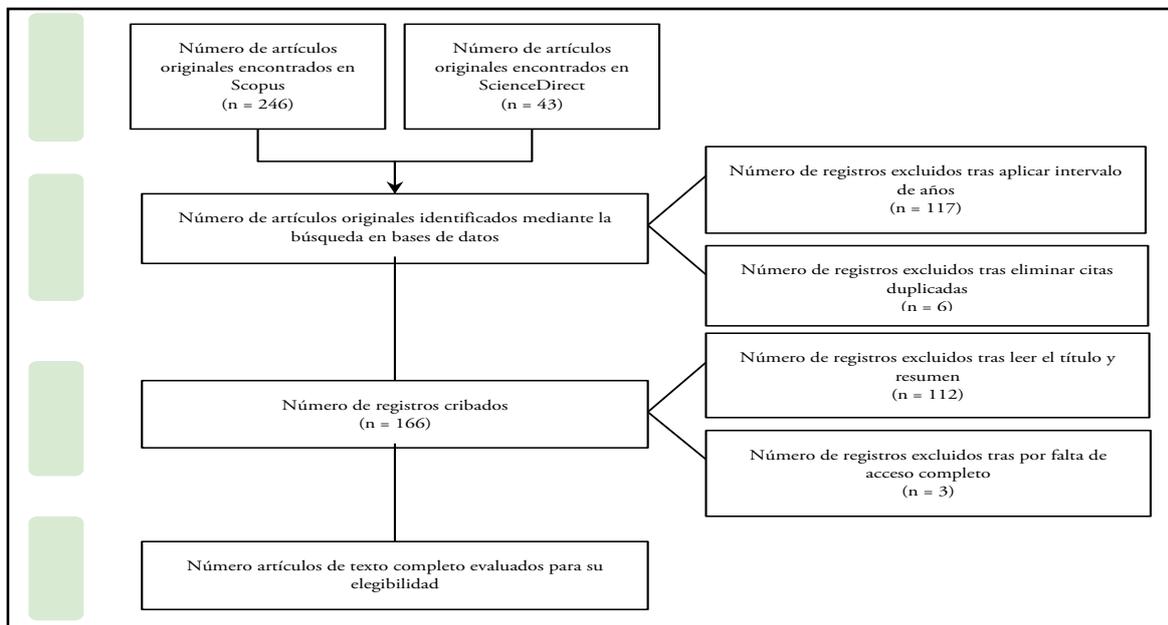
El presente trabajo de investigación está sustentado bajo el modelo PRISMA (Urrutia y Bonfill, 2010), en el cual

se emplearon las bases de datos como ScienceDirect y Scopus; asimismo, a través de las palabras claves en inglés “Anatidae”, “Lead”, “Contamination”, “Effects”, y en español “Anatidae”, “Plomo”, “Contaminación” y “Efectos”. Una vez que las palabras clave han sido validadas, estas fueron combinadas mediante el conector booleano AND, para obtener una búsqueda más específica, formando así las siguientes combinaciones en inglés: “Anatidae” AND “Lead” AND “Contamination” AND “Effects”; mientras que en español resultó: “Anatidae” AND “Plomo” AND “Contaminación” AND “Efectos”. Durante la revisión, se utilizaron criterios de inclusión, donde se consideraron que estos fueran: i) Estudios publicados entre el año 2007 al 2023, para que la información presentada sea actualizada; ii)

Artículos originales. De igual forma, para exclusión de los mismos, se consideraron los siguientes criterios: i) Estudios con información de fuentes secundarias; ii) Estudios publicados antes del año 2015.

En el proceso de búsqueda y selección (Figura 1), se obtuvieron, inicialmente, 289 estudios, de los cuales se excluyeron 117 por año de publicación y seis por ser registros duplicados. Luego de ello, se procedió a verificar el acceso completo a los documentos, eliminándose así tres estudios. De los registros restantes, se realizó una lectura de los títulos y resúmenes, llegando a eliminarse 112 registros y obtener 51. Estos últimos fueron empleados para la elaboración de los resultados y discusión en el presente trabajo

**Figura 1**  
*Flujograma PRISMA*



## Resultados

Los 51 artículos científicos originales fueron ordenados sistemáticamente en una tabla Excel, con la finalidad

de determinar su uso dentro de la investigación. Dentro de la Tabla 1, se consideró y realizó la división de los puntos a tratar en el presente artículo.

**Tabla 1**  
*Matriz general de artículos científicos recolectados*

Nº	TÍTULO	AUTORES	UBICACIÓN	AÑO	ESPECIES DE ANÁTIDAS	BIOACUMULACIÓN DE PLOMO EN EL ORGANISMO	CAUSA DE EXPOSICIÓN AL PLOMO	EFFECTOS SUBLETALES
1	Behavior and toxic effects of Pb in a water-fowl model with oral exposure to Pb shots: Investigating Pb exposure in wild birds.	Sato, H., Ishii, C., Nakayama, S. M., Ichise, T., Saito, K., Watanabe, Y., Ogasawara, K., Torimoto, R., Kobayashi, A., Kimura, T., Nakamura, Y., Yamagishi, J., Ikenaka, Y., & Ishizuka, M.	Japón	2022	Pato muscovy ( <i>Cairina moschata</i> )	La mayor acumulación se observó en los huesos, seguidos del intestino, los riñones, el intestino delgado y el hígado.	Se administraron por vía oral tres inyecciones de Pb (240 ± 1,7 mg en total).	Todos los patos mostraron buen apetito y aumentaron su peso corporal, excepto un pato expuesto a Pb, que mostró anorexia leve y letargo 21 días después de la exposición.
2	Economic assessment of wild bird mortality induced by the use of lead gunshot in European wetlands.	Andreotti, A., Guiberti, V., Nardelli, R., Pirrello, S., Serra, L., Volponi, S., & Green, R. E.	Italia	2018	Pato zambullidor grande ( <i>Oxyura jamaicensis</i> ), Pato malvasia de cabeza blanca ( <i>Oxyura leucocephala</i> ), Cisne blanco ( <i>Cygnus olor</i> ), Cisne cantor ( <i>Cygnus cygnus</i> ), Cisne de la tundra ( <i>Cygnus columbianus</i> ), Barnacla cariblanca ( <i>Bramia leucopsis</i> ), Barnacla canadiense ( <i>Bramia canadensis</i> ), Ánsar común ( <i>Anser anser</i> ), Ánsar piquicorto ( <i>Anser brachyrhynchus</i> ), Ánsar careto ( <i>Anser albifrons</i> ), Eider común ( <i>Somateria mollissima</i> ), Negrón común ( <i>Melanitta nigra</i> ), Porrón osculado ( <i>Bucephala clangula</i> ), Tarro blanco ( <i>Tadorna tadorna</i> ), Cerceta pardilla ( <i>Marmaronetta angustirostris</i> ), Pato colorado ( <i>Nettion rufina</i> ), Porrón europeo ( <i>Aythya ferina</i> ), Porrón pardo ( <i>Aythya nyroca</i> ), Porrón moñudo ( <i>Aythya fuligula</i> ), Porrón bastardo ( <i>Aythya marila</i> ), Cerceta carrerona ( <i>Spatula querquedula</i> ), Pato cuchara ( <i>Spatula clypeata</i> ), Anade friso ( <i>Mareca strepera</i> ), Silbón europeo ( <i>Mareca penelope</i> ), Pato de collar ( <i>Anas platyrhynchos</i> ), Anade rabudo ( <i>Anas acuta</i> ) y Cerceta común ( <i>Anas crecca</i> ).		Ingestión de perdigones de plomo	-
3	Heavy metal exposure to a migratory waterfowl, Northern Pintail ( <i>Anas acuta</i> ), in two peri-urban wetlands.	Mukherjee, A., Pal, S., Das, P., & Mukhopadhyay, S. K.	India	2022	Pato rojizo ( <i>Anas acuta</i> )		Se tomaron en consideración tres vías principales de exposición por ingestión oral en las aves a través de los alimentos, el agua y los sedimentos asociados a los alimentos.	-

4	Evaluation of Nutritional Quality and Sensory Parameters of Meat from Mallard and Four Species of Wild Goose	Söderquist, P., Olsson, C., Birch, K., & Olsson, V.	Suiza	2022	Ganso de habas ( <i>Anser fabalis</i> ) Ganso canadiense ( <i>Branta canadensis</i> ) Ganso silvestre ( <i>Anser anser</i> ) Ganso percebes ( <i>Branta leucopsis</i> ) Anade real ( <i>Anas platyrhynchos</i> )	Muslos	Caza activa con munición de plomo (incluidos los disparos de daños)	-
5	Spatial, temporal and environmental differences in concentrations of lead in the blood of Mute swans from summer and winter sites in Poland	Kucharska, K., Binkowski, L. J., Zagula, G., & Dudzik, K.	Polonia	2022	Cisnes mudos ( <i>Cygnus olor</i> )	Sangre	Ingerir sin darse cuenta perdigones Ingerir plomadas de pesca Ingerir sedimentos contaminados Inhalación de aire contaminado	-
6	Analysis of lead distribution in avian organs by LA-ICP-MS: Study of experimentally lead-exposed ducks and kites	Torimoto, R., Ishii, C., Sato, H., Saito, K., Watanabe, Y., Ogasawara, K., Kubota, A., Matsukawa, T., Yokoyama, K., Kobayashi, A., Kimura, T., Nakayama, S., Ikenaka, T. & Ishizuka, M.	Japón	2021	Patos Muscovy ( <i>Cairina moschata</i> )	Hígado, bazo, riñón, corazón, cerebro, mesencéfalo, cerebelo y sangre	Ingestión de municiones de plomo	Decoloración pardusca del hígado, vesícula biliar distendida con bilis, áreas de palidez multifocal en el miocardio, hemorragia petequeal multifocal en el cerebelo e hipoplasia de la médula ósea Degeneración de hepatocitos y hemostodiosis
7	Blood lead declines in wintering American black ducks in New Jersey following the lead shot ban	Lewis, N. L., Nichols, T. C., Lilley, C., Roscoe, D. E., & Lovy, J.	Estados Unidos	2021	Pato negro ( <i>Anas rubripes</i> )	Sangre	Ingestión de perdigones	-
8	Harvest programs in first nations of subarctic Canada: The benefits go beyond addressing food security and environmental sustainability issues	Tsuji, L. J., Tsuji, S. R., Zuk, A. M., Davey, R., & Liberdá, E. N.	Canadá	2020	Ganso gigante ( <i>Branta canadensis maxima</i> )	-	Caza animales silvestres se relaciona con la fragmentación de las municiones de plomo y su incrustación en la carne silvestre Ingestión de perdigones de plomo	Intoxicación aguda por plomo
9	Feathers of Three Waterfowl Bird Species from Northern Iran for Heavy Metals Bio-monitoring	Solgi, E., Mirzaei-Rajjouni, E., & Zamani, A.	Irán	2020	Cerceta común ( <i>Anas crecca</i> ) Anade real o azulón ( <i>Anas platyrhynchos</i> )	Plumas	Exposición oral (ingestión), Inhalación Contacto dérmico Transferencia materna	Mayor disfunción reproductiva Mayor susceptibilidad a enfermedades u otras tensiones

10	Modulatory Effects of Pb2+ on Virally Challenged Chicken Macrophage (HD-11) and B-Lymphocyte (DT40) Cell Lines In Vitro	Han, B., Garcia-Mendoza, D., van den Berg, H., & van den Brink, N. W.	Países Bajos	2020	Ánade real	Hígado, riñones y huesos Cáscaras de huevo	Ingestión de perdigones por el agua Exposición materna para los embriones de ave	Afecta la inmunidad Disminuye la resistencia a las infecciones en las aves
11	Lead concentrations in blood from incubating common eiders (Somateria mollissima) in the Baltic Sea	Lam, S. S., McPartland, M., Noori, B., Garbus, S. E., Lierhagen, S., Lyngs, P., Dietz, R., Roland, T.O., Kjær, C.T., Skjold, T.R., Kanstrup, N., Fox, A.D., Hove, S.I., Arzel, C., Krøkje, A. & Sonne, C.	Malasia	2020	Eider común ( <i>Somateria mollissima</i> ) Eider de anteojos ( <i>Somateria fischeri</i> )	Tejidos blandos (hígado, cerebro y huesos)	Ingestión Heridas	Lesiones en el sistema nervioso central Daño hepático y renal
12	Relationship between blood lead levels and physiological stress in mute swans (Cygnus olor) in municipal beaches of the southern Baltic	Meissner, W., Bin-kowski, L. J., Banker, J., Hahn, A., & Trzeciak, M.	Polonia	2020	Cisne común ( <i>Cygnus olor</i> ) Pato común ( <i>Anas platyrhynchos</i> )	-	Ingestión de municiones de plomo utilizadas en la caza y el tiro deportivo Ingestión de desagüe municipal	Daño en el sistema nervioso central y periférico Disminución de la capacidad reproductiva Alteraciones en el sistema inmunológico Cambios en los niveles de hormonas del estrés Reducción de la capacidad de vuelo Cambios en la composición de la sangre
13	Distribution of contaminants in the environment and wildlife habitat use: a case study with lead and waterfowl on the Upper Texas Coast	Kearns, B., McDowell, S., Moon, J., Rigby, E., Conway, W. C., & Haukos, D.	Estados Unidos	2019	Pato moreado ( <i>Anas fulvigula</i> ) Pato negro americano	Tejidos	Ingestión de proyectiles de plomo Consumo de invertebrados y vegetación contaminada	Efectos sobre la demografía de la población, menor éxito reproductivo y un aumento de la mortalidad. Neurotoxicidad
14	Regulation of lead fishing weights results in mute swan population recovery	Wood, K. A., Brown, M. J., Cromie, R. L., Hilton, G. M., Mackenzie, C., Newth, J. L., Pain, D.J., Perrins, C.M. & Rees, E. C.	Reino Unido	2019	Cisne ( <i>Cygnus olor</i> )	Tejidos	Ingestión de plomadas de pesca y perdigones de plomo utilizados en la caza Ingestión de sedimentos contaminados con plomo	Disminución de la capacidad de vuelo Reducción de la capacidad de reproducción Disminución de la capacidad de resistencia a enfermedades y depredadores

<p>15</p> <p>Metal Concentrations in Tissues of Gadwall and Common Teal from Miankaleh and Gomishan International Wetlands, Iran</p>	<p>Sinkakarimi, M. H., Binkowski, L. J., Hassanpour, M., Rajaei, G., Ahmadpour, M., &amp; Levengood, J. M.</p>	<p>Irán</p>	<p>2018</p>	<p>Ánade friso (<i>Anas strepera</i>)                      Cerceta común (<i>Anas crecca</i>)</p>	<p>Hígado y riñones.</p>	<p>Ingestión de sedimentos contaminados con plomo mientras se alimentan en el fondo de los cuerpos de agua                      Ingestión de perdigones de plomo utilizados en la caza</p>	<p>Disminución de la producción y calidad de huevos                      Disminución de la supervivencia de los polluelos                      Afecciones al sistema nervioso central                      Cambios en el comportamiento y la capacidad de vuelo</p>
<p>16</p> <p>Trace element exposure of whooper swans (<i>Cygnus cygnus</i>) wintering in a marine lagoon (Swan Lake), northern China</p>	<p>Wang, F., Xu, S., Zhou, Y., Wang, P., &amp; Zhang, X.</p>	<p>China</p>	<p>2017</p>	<p>Cisnes cantores (<i>Cygnus cygnus</i>)</p>	<p>Hígado, riñones, huesos, músculos y plumas.</p>	<p>Ingestión de perdigones de plomo utilizados en la caza                      Ingestión de alimentos y agua contaminados                      Ingestión de suelos contaminados</p>	<p>Aumento de la mortalidad.                      Afectación de la función renal y hepática.                      Afectación del sistema nervioso central.                      Alteración de la capacidad de procesamiento y metabolismo de otros contaminantes, lo que aumenta su toxicidad.</p>
<p>17</p> <p>Heavy Metals in Liver and Brain of Waterfowl from the Evros Delta, Greece</p>	<p>Aloupi, M., Karagianni, A., Kazantzidis, S., &amp; Akritotis, T.</p>	<p>Grecia</p>	<p>2017</p>	<p>Ánade rabudo (<i>Anas acuta</i>)                      Pato cuchara (<i>Anas clypeata</i>)                      Cerceta pardilla (<i>Anas crecca</i>)                      Anades silbones (<i>Anas penelope</i>)                      Anades reales (<i>Anas platyrhynchos</i>)                      Anades friso (<i>Anas strepera</i>)                      Ansares caretos (<i>Anser albifrons</i>)                      Cisne cantor (<i>Cygnus cygnus</i>)                      Cisnes vulgares (<i>Cygnus olor</i>)</p>	<p>Hígado, riñones y molleja</p>	<p>Ingestión de perdigones de plomo gastados disparado en zonas húmedas y sus alrededores</p>	<p>Disminución indirecta de la probabilidad de supervivencia</p>
<p>18</p> <p>Lead isotope ratio measurements as indicators for the source of lead poisoning in Mute swans (<i>Cygnus olor</i>) wintering in Puck Bay (northern Poland).</p>	<p>Binkowski, Ł., J., Meissner, W., Trzeciak, M., Izevbekhai, K., &amp; Barket, J.</p>	<p>Polonia</p>	<p>2016</p>	<p>Cisnes vulgares (<i>Cygnus olor</i>).</p>	<p>La principal acumulación de plomo se presentó en muestras de sangre para su evaluación.</p>	<p>Ingestión de perdigones de plomo, exposición a pintura con plomo, contaminación por plomo del suelo y el agua y exposición a la industria y la minería.</p>	<p>Se evidenciaron alteraciones en el comportamiento habitual de las aves, disminución en la capacidad de vuelo y de supervivencia.</p>

<p>Effect of embedded shot on trace element concentrations in livers of Anseriformes species.</p> <p>19</p>	<p>Kim, J., Kim, I. K., &amp; Oh, J. M.</p> <p>2016</p> <p>Corea</p>	<p>Ánsares comunes (<i>Anser albifrons</i>), Ánades reales (<i>Anas platyrhynchos</i>) y Ánade picopinto (<i>Anas poecilorhyncha</i>)</p>	<p>Se evidenció acumulación de plomo en el hígado, riñones, músculos y plumas de las especies.</p> <p>Ingestión de perdigones de caza, contaminación ambiental por metales pesados y otros elementos traza en el agua, el suelo y la cadena trófica.</p>	<p>Se presentó una disminución de la actividad enzimática, función inmunológica de las especies. Hubo evidencia de cambios en la conducta alimentaria, actividad reproductiva, alteraciones en la estructura y función de los órganos, como el hígado y los riñones. Se redujo la calidad del huevo y la viabilidad de los embriones.</p>
<p>Risk assessment of lead poisoning and pesticide exposure in the declining population of red-breasted goose (<i>Branta ruficollis</i>) wintering in Eastern Europe</p> <p>20</p>	<p>Marco, R., Petkov, N., Lopez-Antia, A., Rodríguez-Estival, J., &amp; Green, A. J.</p> <p>2016</p> <p>Bulgaria</p>	<p>Ganso de pecho rojo (<i>Branta ruficollis</i>), Ganso de frente blanca (<i>Anser albifrons</i>), Ganso común (<i>Anser anser</i>) y Perdiz gris (<i>Perdix perdix</i>),</p>	<p>Ingestión de perdigones de plomo y suelos contaminados con plomo.</p>	<p>Hubo una disminución en la excreción de porfirinas y menor presencia de histopatología en los gansos (<i>Anser anser</i>) con mayor exposición al plomo.</p>
<p>Lead exposure reduces carotenoid-based coloration and constitutive immunity in wild mallards</p> <p>21</p>	<p>Vallverdú-Coll, N., Mougnot, F., Ortiz-Sanllestra, M. E., Rodríguez-Estival, J., López-Antia, A., &amp; Marco, R.</p> <p>2016</p> <p>España</p>	<p>Pato de collar o Ánade ceal (<i>Anas platyrhynchos</i>)</p>	<p>Presencia de plomo en sangre.</p> <p>Perdigones de plomo</p>	<p>Estrés oxidativo (incremento de la actividad de las enzimas antioxidantes), coloración de pico amarillento, coloración roja de las patas (machos)</p>
<p>A method for heavy metal exposure risk assessment to migratory herbivorous birds and identification of priority pollutants/areas in wetlands</p> <p>22</p>	<p>Liang, J., Liu, J., Yuan, X., Zeng, G., Yuan, Y., Wu, H., &amp; Li, F.</p> <p>2016</p> <p>China</p>	<p>Ansar careto chico (<i>Anser erythropus</i>)</p>	<p>Ingestión de junco (comida) contaminada con plomo.</p>	<p>-</p>
<p>Lead pollution from waterfowl hunting in wetlands and rice fields in Argentina</p> <p>23</p>	<p>Romano, M., Ferreyra, H., Ferreyro, G., Molina, F. V., Caselli, A., Barberis, J., Beldoménico, P. &amp; Uhart, M.</p> <p>2016</p> <p>Argentina</p>	<p>Patos silvestre (<i>Cairina moschata sylvestris</i>)</p>	<p>Acumulación de plomo en los tejidos.</p>	<p>Ingestión de perdigones de plomo y ingestión de vegetación contaminada por suelo y agua con altas concentraciones de plomo.</p>

24	Plastic and metal ingestion in three species of coastal waterfowl wintering in Atlantic Canada	ah, M. D., Robertson, G. J., Avery-Gomm, S., Pirie-Hay, D., Roul, S., Ryan, P. C., Wilhelm, S.I. & Mallo-ry, M. L.	Canadá	2015	Patos negros americanos ( <i>Anas rubripes</i> ), Ánades reales ( <i>A. platyrhynchos</i> ) y Patos comunes eider ( <i>Somateria mollissima</i> ),	Cantidad de perdigones en los estómagos de las diferentes especies. Los desechos fueron más comunes en los ánades reales (30.8%), más bajos en los patos negros americanos (2.3%) y más bajos en los eíderes comunes (2.1%).	Ingestión de perdigones de plomo.	-
25	Study on Metal Concentrations in Tissues of Mallard and Pochard from Two Major Wintering Sites in Southeastern Caspian Sea, Iran	Sinka-Karimi, M. H., Pourkhabbaz, A. R., Hassanpour, M., & Levegood, J. M.	Irán	2015	Ánades reales ( <i>Anas platyrhynchos</i> ) y Pato común ( <i>Aythya ferina</i> ).	Presencia de concentraciones altas de plomo en hígado de los patos comunes y en riñones de los ánades reales.	Ingestión de perdigones de plomo y agua contaminada con plomo y otros metales.	-
26	Altered immune response in mallard ducklings exposed to lead through maternal transfer in the wild	Vallverdú-Coll, N., López-Antía, A., Martínez-Haro, M., Ortiz-Santallera, M. E., & Mateo, R.	España	2015	Ánades reales ( <i>Anas platyrhynchos</i> )	Sangre, huevos (cascaras), transferencia de madre a hijo, (incubación), hígado	Ingestión de perdigones	Envenenamiento, estrés oxidativo, afectaciones al sistema inmunológico, cambio humoral, grosor y pigmentación del huevo, menor peso al nacer
27	Lead poisoning and its in vivo biomarkers in Mallard and Coot from two hunting activity areas in Poland	Binkowski, Ł. J., & Sawicka-Kapusta, K.	Polonia	2015	Ánades reales ( <i>Anas platyrhynchos</i> )	Cerebro, carne, riñones, hígado, bazo, hueso, plumas, molleja, sangre y excremento.	Ingestión de perdigones	-
28	Spatial and interspecific variation of accumulated trace metals between remote and urbane dwelling birds of Pakistan	Abbasi, N. A., Khan, M. U., Jaspers, V. L. B., Chaudhry, M. J. I., & Malik, R. N.	Pakistán	2015	Porrón común, cerceta común y pintail ( <i>Anatidae</i> )	Plumas	Migración local hacia lugares de invernada y/o reproducción.	-
29	Lesser White-fronted (Anser erythropus) and Greater White-fronted (A. albifrons) Geese wintering in Greek wetlands are not threatened by Pb through shot ingestion	Aloupi, M., Kantzidis, S., Akriotis, T., Bantikou, E., & Hatzidaki, V. O.	Grecia	2015	Ganso de frente blanca menor ( <i>Anser erythropus</i> ) y Ganso de frente blanca mayor ( <i>Anser albifrons</i> )	Heces fecales	Ingestión de perdigones de Pb	-
30	Concentration of trace elements in feathers of waterfowl, Korea	Kim, J., & Oh, J. M.	Corea	2014	Ganso de frente blanca ( <i>Anser albifrons</i> ) Pato de pico manchado ( <i>Anas poecilorhynchos</i> ) Ánade real ( <i>Anas platyrhynchos</i> )	Plumas	Ingestión de perdigones de Pb	-

31	Assessment of lead exposure in waterfowl species, Korea	Kim, J., & Oh, J. M.	Corea	2014	Ganso de frente blanca ( <i>Anser albifrons</i> ) Pato de pico manchado ( <i>Anas poecilorhyncha</i> ) Ánade real ( <i>Anas platyrhynchos</i> )	Hígados, riñones y huesos	Perdigones de plomo	-
32	Blood lead concentrations in Alaskan tundra swans: Linking breeding and wintering areas with satellite telemetry	Ely, C., & Franson, J.	Estados Unidos	2014	Cisne de tundra ( <i>Cygnus columbianus</i> )	Sangre		Exposición ambiental por contaminación Se colocan rastreadores en las aves para ver la relación entre la migración y su concentración del plomo en los tejidos
33	Reducing Pb poisoning in birds and Pb exposure in game meat consumers: The dual benefit of effective Pb shot regulation	Marco, R., Vallverdú, N., López, A., Taggart, M., Martínez, M., Guitart, R., & Ortíz, M.	España	2014	Ánade real	Hígado, músculo, molleja		Ingestión e incrustación de perdigones de Pb Intoxicación
34	Tissue distribution of metals in white-fronted geese and spotted-billed ducks from Korea	Kim, J., & Oh, J.	Corea	2013	Ganso de frente blanca ( <i>Anser albifrons</i> ) Pato de pico manchado ( <i>Anas poecilorhyncha</i> )	Hígado, riñones, carne y huesos		Cacería con balas de plomo
35	Detection of zinc, lead, cadmium and arsenic in dabbling ducks from Durango, Mexico	Pereda, M., Martínez, J., & Toca, J.	México	2012	Patos zambullidores ( <i>Anas platyrhynchos</i> , <i>Anas discors</i> , <i>Anaschapeata</i> , <i>Anas strepera</i> )	Hígado		-
36	Heavy Metal Accumulations of 4 Species of Anseriformes in Korea	Jin, S., Seo, S., Shin, Y., Bing, K., Kang, T., Paek, W., & Lee, D.	Corea	2012	Cisne cantor ( <i>Cygnus cygnus</i> ), Ánsar careto ( <i>Anser albifrons</i> ), Pato mandarín ( <i>Aix galericulata</i> ) y Cerceta del Baikal ( <i>Anas formosa</i> )	Hígado, huesos, riñón	Disparos e ingestión	Altas concentraciones de plomo reducen la tasa de eclosión y de crecimiento (discusión)
37	Influence of taxonomic level, and location on bioaccumulation of toxic metals in bird's feathers: A preliminary biomonitoring study using multiple bird species from Pakistan	Abbasi, N., Jaspers, V., Chaudhry, M., Ali, S., & Malik, R.	Pakistán	2011	Porrón europeo ( <i>Aythya ferina</i> ), Cerceta común ( <i>Anas crecca</i> ), Ánade rabudo ( <i>Anas acuta</i> ), Silbón europeo ( <i>Anas penelope</i> ), Cerceta carretona ( <i>Anas querquedula</i> ), Tarro canelo ( <i>Tadorna ferruginea</i> ), Ánade friso ( <i>Anas strepera</i> ) y Pato de collar ( <i>Anas platyrhynchos</i> ).	Plumas	Ingestión	-
38	Bioaccumulation of trace elements in trophic levels of wetland plants and waterfowl birds	Hosseini, A., Karbassi, A., Hasanzadeh, B., Monavari, S., Nabavi, S., & Sekhvatjou, M.	Irán	2011	Cerceta pardilla ( <i>Marmaronetta angustirostris</i> )	En promedio: Carne: 4,32 mg/kg Plumas: 4,97 mg/kg	Contaminación de agua y sedimentos en el humedal (el metal llegó a la especie por ingestión)	-

Lead, mercury, cadmium, chromium, and arsenic levels in eggs, feathers, and tissues of Canada geese of the New Jersey Meadowlands	Tsipoura, N., Bugher, J., Newhouse, M., Jettner, C., Gochfeld, M., & Mizrahi, D.	Estados Unidos	2011	Barnacla canadiense ( <i>Branta canadensis</i> ) y Pato de collar ( <i>Anas platyrhynchos</i> )	Plumas, hígado y músculos	Agua y sedimentos con niveles de metales pesados elevados, incluyendo el plomo.	4 ppm en las plumas se asocia a efectos negativos sobre el comportamiento, la termorregulación, la locomoción y la percepción de la profundidad, lo que se traduce en una menor supervivencia de los polluelos
39							
Identifying sources of Pb exposure in waterbirds and effects on porphyrin metabolism using noninvasive fecal sampling	Martinez, M., Taggart, M., Martín, R., Green, A., & Mateo, R.	España	2011	Ánade real ( <i>Anas platyrhynchos</i> ), Ánade friso ( <i>Mareca strepera</i> ) y Porrón común ( <i>Aythya ferina</i> )	Heces	Ingestión - Sedimentos de lagos contaminados con plomo	-
40							
Mortality factors and lead contamination of wild birds from Korea	Nam, D., & Lee, D.	Corea	2011	Cisne cantor ( <i>Cygnus cygnus</i> ), Ánsar careto ( <i>Anser albifrons</i> ) y Pato mandarín ( <i>Aix galericulata</i> )	Hígado	Se emplearon aves muertas, cuyas causas fueron disparas	-
41							
Use of grit supplements by waterbirds: An experimental assessment of strategies to reduce lead poisoning	Martinez, M., Green, A., Acevedo, P., & Mateo, R.	España	2011	Porrón común ( <i>Aythya ferina</i> ), Pato cuchara ( <i>Anas chapeata</i> ), Ánsar común ( <i>Anser anser</i> ), Ánade real ( <i>Anas platyrhynchos</i> )	-	Ingestión de perdigones de plomo por confusión con arenilla o partículas de alimento	-
42							
Artifact ingestion in sea ducks wintering at northeastern Lake Ontario	Schummer, M., Fife, I., Petrie, S., & Badzinski, S.	Canadá	2011	<i>Bucephala albeola</i> (Porrón coronado), <i>Bucephala clangula</i> (Porrón osculado), <i>Clangula hyemalis</i> (Pavo havelda)	-	Ingestión de perdigones de plomo	-
43							
Adverse health effects in Canada geese ( <i>Branta canadensis</i> ) associated with waste from zinc and lead mines in the Tri-State Mining District (Kansas, Oklahoma, and Missouri, USA)	Van Der Merwe, D., Carpenter, J. W., Niefeld, J. C., & Miesner, J. F.	Estados Unidos	2011	Ganso canadiense ( <i>Branta canadensis</i> )	Sangre, Músculos, Hígado, Cerebro, Huesos, Proventrículo	Inhibición de la actividad enzimática de la Ácido delta-amino-levulínico deshidratasa (ALAD)	-
44							
Blood lead levels in wintering and moulting Icelandic whooper swans over two decades	O'Connell, M. M., Rees, E. C., Einarsson, O., Spray, C. J., Thorstensen, S., & O'Halloran, J.	Reino Unido	2008	Cisne Cantor ( <i>Cygnus cygnus</i> )	Sangre (en todas las muestras obtenidas)	-	-
45							

<p>46</p> <p>The effect of lead poisoning on hematologic and biochemical values in trumpeter swans and Canada geese</p>	<p>Katavolos, P., Stämpfli, S., Sears, W., Gancz, A. Y., Smith, D. A., &amp; Bienzle, D.</p>	<p>2007</p> <p>Canadá</p>	<p>Cisne trompetero (<i>Cygnus buccinator</i>), Ganso canadiense (<i>Branta canadensis</i>)</p>	<p>Sangre</p>	<p>Los hematocritos, la concentración de hemoglobina y la concentración de hemoglobina corpuscular media (MCHC) disminuyeron significativamente. Concentración de ácido úrico y actividad enzimática de Gamma glutamil transpeptidasa (GGT) se incrementaron en cisnes trompeteros. Concentración de fósforo disminuyó en cisnes canadienses</p>
<p>47</p> <p>Arsenic, cadmium, copper, lead, and selenium in migrating blue-winged teal (<i>Anas discors</i> L.)</p>	<p>Fedynich, A. M., Ballard, B. M., McBride, T. J., Estrella, J. A., Garvon, J. M., &amp; Hooper, M. J.</p>	<p>2007</p> <p>Estados Unidos</p>	<p>Cerceta aliazul (<i>Anas discors</i>)</p>	<p>Hígado</p>	<p>-</p>
<p>48</p> <p>Coupling contaminants with demography: Effects of lead and selenium in Pacific common eiders</p>	<p>Wilson, H., Flint, P., &amp; Powell, A.</p>	<p>2007</p> <p>Estados Unidos</p>	<p>Eider común (<i>Somateria mollissima</i>)</p>	<p>Sangre (mayor concentración en hembras que estaban incubando, posiblemente debido a la liberación de plomo almacenado en los huesos)</p>	<p>-</p>
<p>49</p> <p>Lead poisoning in wild birds from southern Spain: a comparative study of wetland areas and species affected, and trends over time</p>	<p>Mateo, R., Green, A., Lefranc, H., Baos, R., &amp; Figueroa, J.</p>	<p>2007</p> <p>España</p>	<p><i>Anser anser</i> (Ganso común), <i>Anas Penelope</i> (Marca Penelope), <i>Anas strepera</i> (Ánade friso), <i>Anas crecca</i> (cerceta común), <i>Anas platyrhynchos</i> (ánade real), <i>Anas acuta</i> (Ánade rabudo), <i>Anas chapeata</i> (pato cuchara)</p>	<p>Perdigones de plomo en las mollejas. Ingestión de perdigones de plomo</p>	<p>-</p>
<p>50</p> <p>Blood lead concentrations in waterfowl utilizing Lake Coeur d'Alene, Idaho</p>	<p>Spears, B., Hansen, J., &amp; Audet, D.</p>	<p>2007</p> <p>Estados Unidos</p>	<p><i>Anas platyrhynchos</i> (Ánade real), <i>Aix sponsa</i> (Pato joyuyo), <i>Branta canadensis</i> (ganso canadiense)</p>	<p>Sangre</p>	<p>Ingestión de sedimentos con contenido de plomo</p>
<p>51</p> <p>Distribution and Numbers of Three Globally Threatened Waterbird Species Wintering in Morocco: The Common Pochard, Marbled Teal, and White-Headed Duck</p>	<p>Ouassou, A., Dakiki, M., El Agbani, M. A., Qninba, A., &amp; El Hamouti, R. H.</p>	<p>2021</p> <p>Marruecos</p>	<p>Porrón europeo (<i>Aythya ferina</i>), Malvasía cabe-ciblanca (<i>Oxyura leucocephala</i>) y Cerceta Pardilla (<i>Marmaronetta angustirostris</i>)</p>	<p>Sangre</p>	<p>Migración</p>

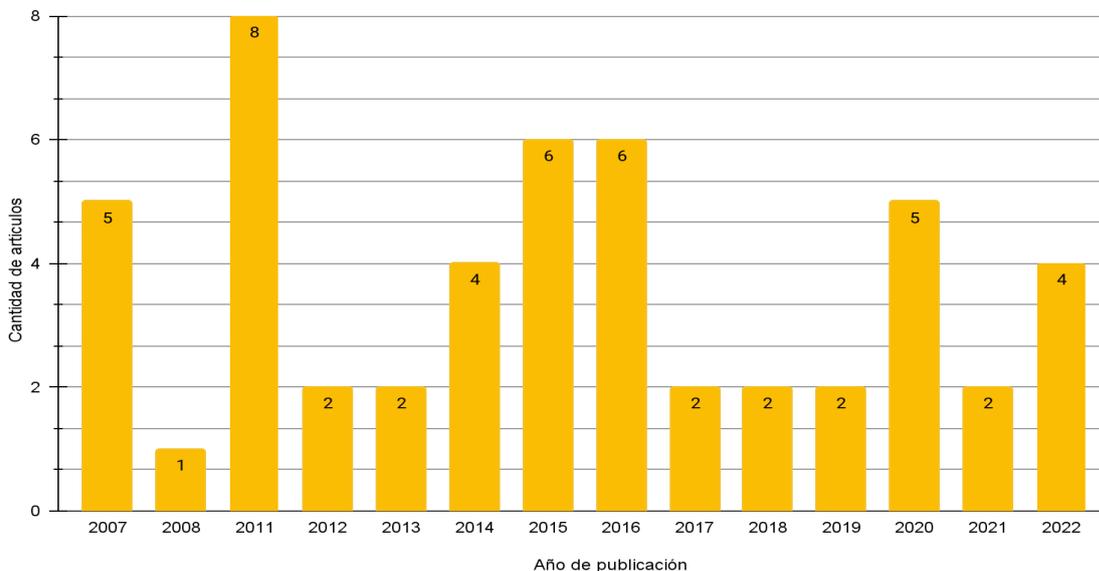
## Artículos según su año de publicación

Al realizar una comparación de los años de publicación de los 51 artículos científicos recuperados para el presente trabajo, se puede observar que el tema de investigación sobre los efectos ecotoxicológicos del plomo (Pb) sobre la familia Anatidae ha experimentado variaciones a lo largo de los años. En el año 2007, se recuperaron cinco artículos publicados; mientras que, del año 2008, solo se utilizó uno. Entre los años 2009 y 2010, no se encontraron artículos científicos relevantes para la investigación. No obstante, en el 2011 se presentó la mayor cantidad de estudios científicos sobre Anatidae expuestas al plomo (Pb),

con un total de ocho artículos científicos. En los años 2012 y 2013 se encontraron dos artículos para cada año, y para el 2014, esta cantidad se duplicó a cuatro. En los años 2015 y 2016, se tuvo seis estudios para cada año, pero para el periodo del 2017 al 2019, esta cantidad bajó a dos artículos científicos en cada año. En el año 2020, se ha observado un incremento en la publicación con una cantidad de cinco estudios científicos. En el año 2021, la cantidad de estudios disminuyó a dos, pero aún se mantuvo presente la investigación en este campo. Finalmente, para el año 2022 se recuperaron cuatro estudios científicos, iniciando un nivel de interés continuo de los efectos del plomo en la familia Anatidae.

### Figura 2

Artículos por fecha de publicación



## Mapa de artículos

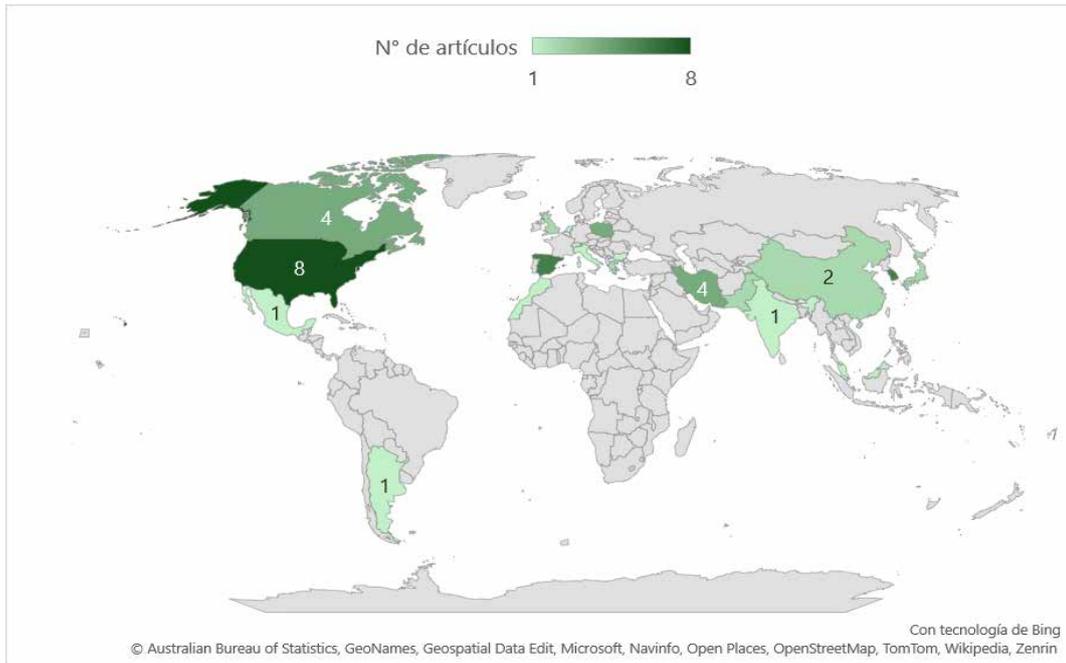
Se realizó un análisis de las publicaciones relacionadas con los efectos ecotoxicológicos del plomo (Pb) en la familia Anatidae, abarcando el período comprendido entre 2007 y 2022, en varios países. Los resultados revelan una notable contribución de diversas naciones en este

tema. Encabezando la lista se encuentra Estados Unidos, con una contribución del 16%, lo cual estaba representado por un total de ocho artículos, seguido de España y Corea, con seis artículos en cada país, lo que se interpretaba como un 12% de total. Luego se encuentran Canadá, Irán y Polonia con un 8% de todos los artículos, es decir, cuatro estudios sobre Anatidae

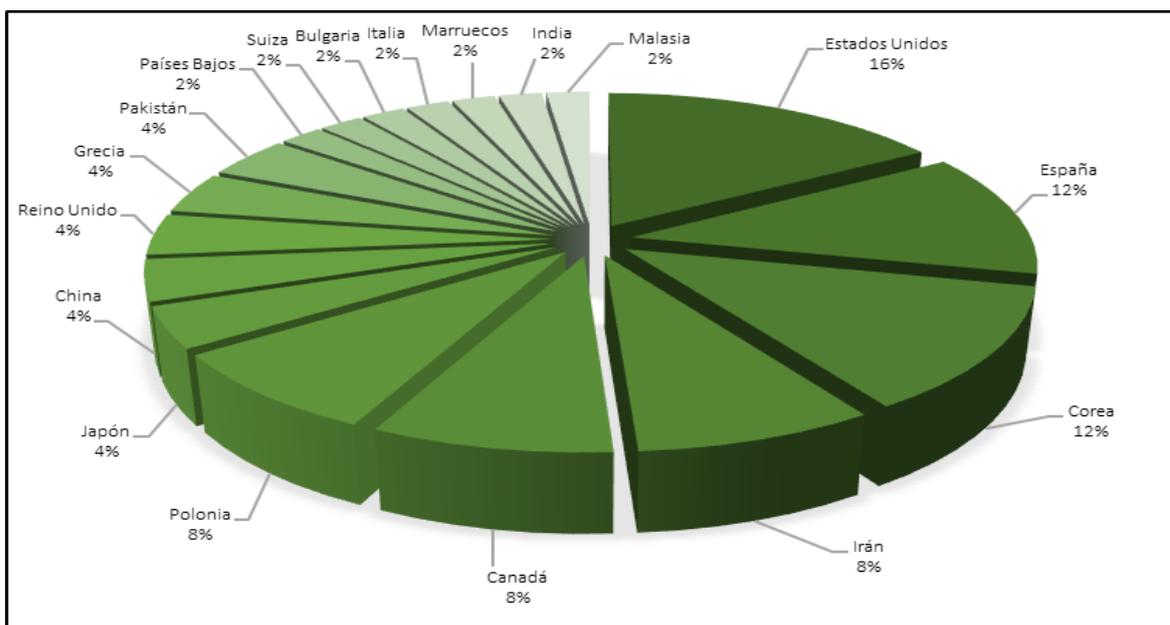
en cada uno. Se rescataron dos artículos de Japón, China, Reino Unido, Grecia y Pakistán, lo que representaba un 4% cada uno, del total. Por último, países como Italia, India, Suiza, Malasia, Marruecos, Bulgaria, Argentina, México y Países Bajos realizaron la contribución de un artículo

científico sobre Anatidae expuestas al plomo (Pb), siendo porcentualmente un 10% de todos los artículos; es decir, 2% cada uno. Estos resultados demuestran la diversidad y la importancia mundial de los estudios realizados en diferentes naciones (Figuras 3 y 4).

**Figura 3**  
*Artículos por país de origen*



**Figura 4**  
*Porcentaje de artículos por país de origen*



## Géneros y especies de Anátidas

En la Tabla 2, se puede apreciar los géneros y especies de anátidas identificadas dentro de la búsqueda de información, cada una con su nombre común y su nombre científico. En total,

se lograron identificar 18 géneros y 46 especies de aves pertenecientes al orden Anseriformes. Asimismo, se observó que el mayor número de especies, así como también la mayor cantidad de menciones, correspondieron al género *Anas*; seguido de los géneros *Anser* y *Cygnus*.

**Tabla 2**

*Cantidad aves mencionadas*

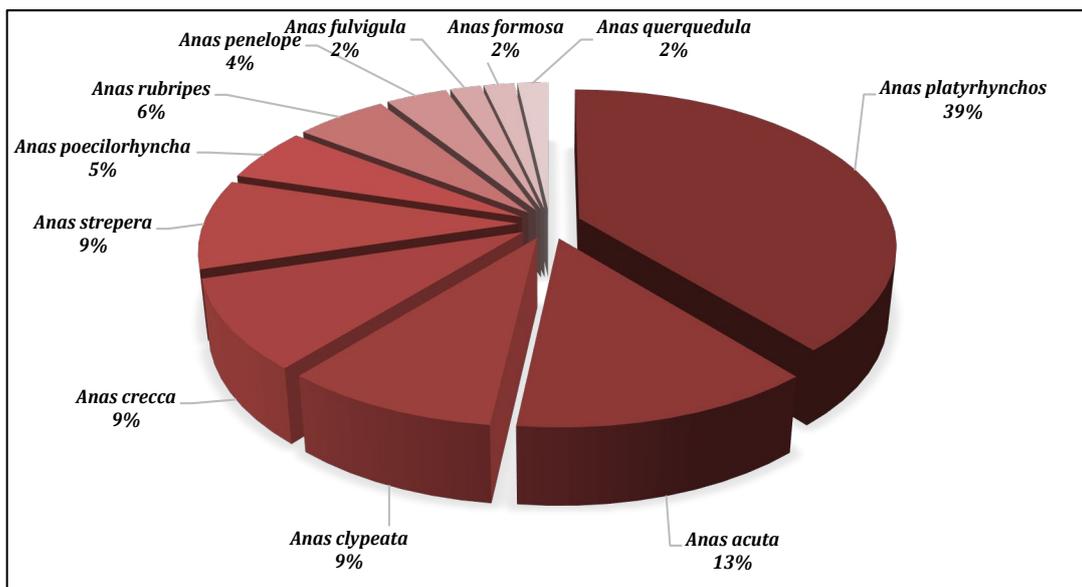
N°	GÉNERO	NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	MENCIONES
1		Ánade real	<i>Anas platyrhynchos</i>	21
2		Ánade rabudo	<i>Anas acuta</i>	7
3		Pato cuchara común	<i>Anas clypeata</i>	5
4		Cerceta común	<i>Anas crecca</i>	5
5		Ánade friso	<i>Anas strepera</i>	5
6	<i>Anas</i> (Patos)	Pato de pico manchado	<i>Anas poecilorhyncha</i>	3
7		Pato negro	<i>Anas rubripes</i>	3
8		Ánades silbones	<i>Anas penelope</i>	2
9		Pato moteado	<i>Anas fulvigula</i>	1
10		Cerceta del Baikal	<i>Anas formosa</i>	1
11		Cerceta carretona	<i>Anas querquedula</i>	1
12		Ánsar careto	<i>Anser albifrons</i>	9
13	<i>Anser</i> (Ánsares o Gansos)	Ganso común	<i>Anser anser</i>	5
14		Ganso de frente blanca menor	<i>Anser erythropus</i>	3
15		Ánsar piquicorto	<i>Anser brachyrhynchus</i>	1
16		Cisne cantor	<i>Cygnus cygnus</i>	6
17	<i>Cygnus</i> (Cisnes)	Cisne blanco	<i>Cygnus olor</i>	5
18		Cisne de la tundra	<i>Cygnus columbianus</i>	2
19		Cisne trompetero	<i>Cygnus buccinator</i>	1
20		Porrón europeo o porrón común	<i>Aythya ferina</i>	6
21	<i>Porriones</i> (Aythya)	Porrón pardo	<i>Aythya nyroca</i>	1
22		Porrón moñudo	<i>Aythya fuligula</i>	1
23		Porrón bastardo	<i>Aythya marila</i>	1
24		Barnacla o ganso canadiense	<i>Branta canadensis</i>	7
25	<i>Branta</i> (Barnaclas)	Barnacla cariblanca	<i>Branta leucopsis</i>	2
26		Barnacla cuelliroja	<i>Branta ruficollis</i>	1
27	<i>Somateria</i> (Eideres)	Eider común	<i>Somateria mollissima</i>	4
28		Eider de anteojos	<i>Somateria fischeri</i>	1

29		Ánade friso	<i>Mareca strepera</i>	2
30	<i>Mareca</i> (Cerceta)	Silbón europeo	<i>Mareca penelope</i>	2
31	<i>Bucephala</i> (Porro- nes)	Porrón osculado	<i>Bucephala clangula</i>	2
32		Porrón coronado	<i>Bucephala albeola</i>	1
33	<i>Spatula</i> (Patos cu- chara o cercetas)	Cerceta Ala Azul	<i>Spatula discors</i>	2
34		Cerceta carretona	<i>Spatula querquedula</i>	1
35	<i>Oxyura</i> (Patos zambullidores)	Pato zambullidor grande	<i>Oxyura jamaicensis</i>	1
36		Pato malvasía de cabeza blanca	<i>Oxyura leucocephala</i>	1
37	<i>Aix</i> (Patos joyuyo y Patos Mandarín)	Pato joyuyo	<i>Aix sponsa</i>	1
38		Pato mandarín	<i>Aix galericulata</i>	1
39	<i>Tadorna</i> (Tarros)	Tarro blanco	<i>Tadorna tadorna</i>	1
40		Tarro canelo	<i>Tadorna ferruginea</i>	1
41	<i>Marmaronetta</i> (Cerceta pardilla)	Cerceta pardilla	<i>Marmaronetta angustirostris</i>	4
42	<i>Callonetta</i> (Patos de collar)	Pato de collar	<i>Callonetta leucophrys</i>	3
43	<i>Cairina</i> (Patos criollos)	Pato criollo	<i>Cairina moschata</i>	2
44	<i>Netta</i> (Patos colorados)	Pato colorado	<i>Netta rufina</i>	1
45	<i>Negrone</i> ( <i>Melanitta</i> )	Negrón común	<i>Melanitta nigra</i>	1
46	<i>Clangula</i> (Patos marinos)	Pavo havelda	<i>Clangula hyemalis</i>	1

En la Figura 5, se observa la composición porcentual de especies mencionadas en los artículos que componen el género

*Anas*. Las especies que presentaron la mayor cantidad de menciones son *Anas platyrhynchos*, *Anas acuta* y *Anas clypeata*.

**Figura 5**  
Porcentaje de género *Anas* (patos)

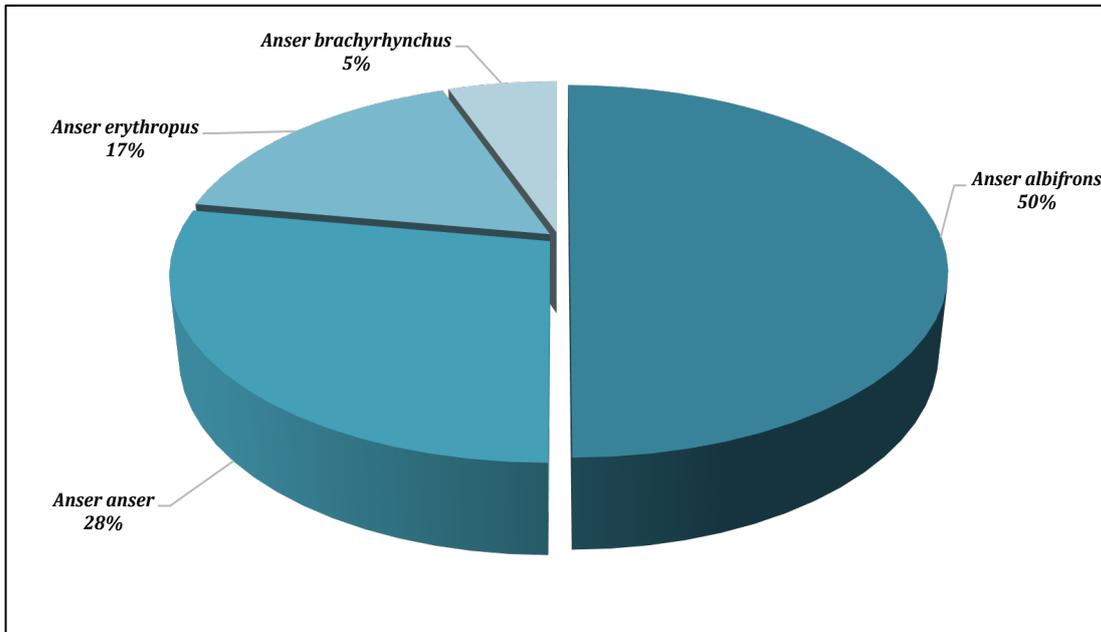


En la Figura 6, se observa la composición porcentual de especies mencionadas en los artículos que componen el género *Anser*. Las especies

que presentaron la mayor cantidad de menciones son *Anser albifrons* y *Anser anser*.

**Figura 6**

Porcentaje de género *Anser* (ánsares o gansos)

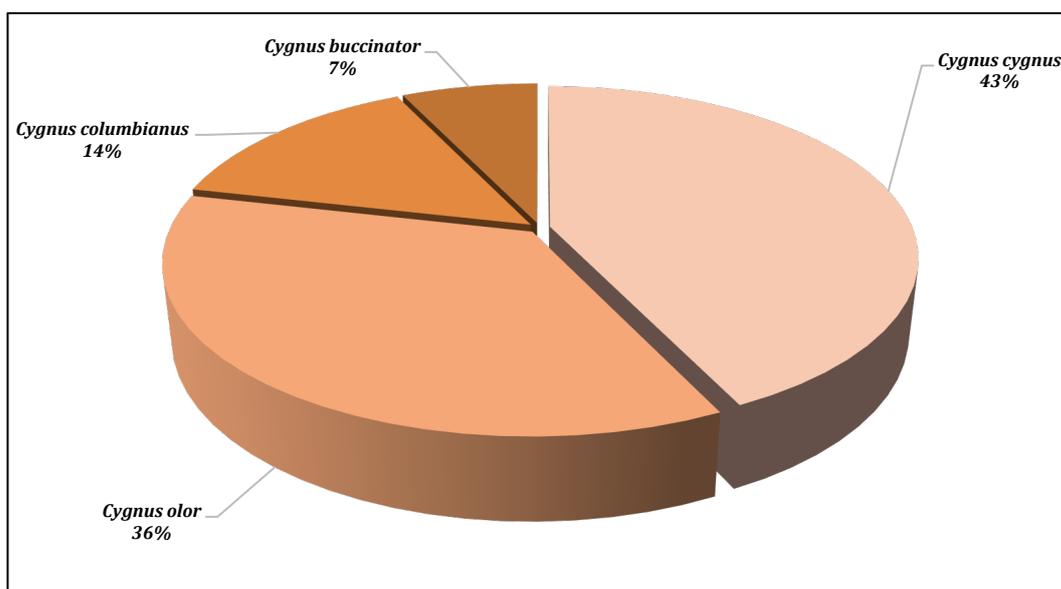


En la Figura 7, se observa la composición porcentual de especies mencionadas en los artículos que componen el género

*Cygnus*. Las especies que presentaron la mayor cantidad de menciones son *Cygnus cygnus*, y *Cygnus olor*.

**Figura 7**

Porcentaje de género *Cygnus* (cisnes)



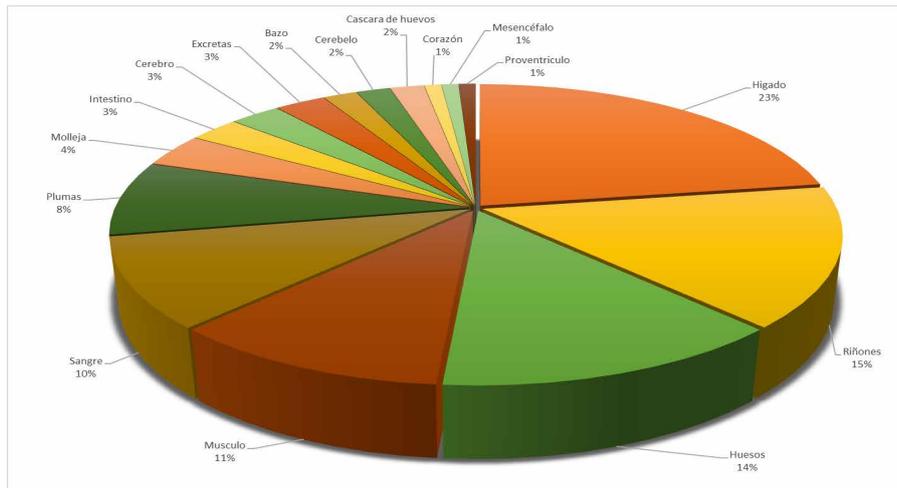
### Bioacumulación de plomo en el organismo

En la Figura 8, se aprecia que la bioacumulación del plomo en el organismo se presenta de manera diferencial en distintos tejidos y órganos. Se han

observado los siguientes porcentajes de acumulación en diferentes partes del organismo. Los órganos que presentan la mayor cantidad de bioacumulación son el hígado, los riñones, los huesos y el músculo.

**Figura 8**

*Bioacumulación de plomo (Pb) en el organismo de las Anatidae*



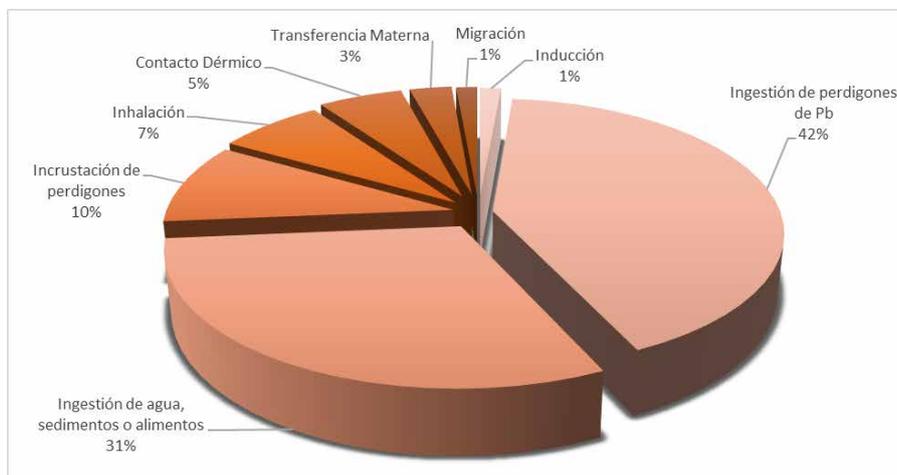
### Causas de exposición

Se realizó la identificación de las principales causas de exposición por medio de una revisión exhaustiva de cada uno de los artículos seleccionados, las cuales se muestran en la Figura 9. Por lo que se pudo determinar que las principales

causas de exposición al plomo de la familia Anatidae son por medio de la ingestión de perdigones de plomo e ingestión de agua, sedimentos o alimentos. Seguidamente, los artículos estaban referidos a que la causa de exposición fue la incrustación de perdigones de plomo.

**Figura 9**

*Principales causas de exposición de las Anatidae al plomo (Pb)*



## Efectos subletales del plomo en el organismo

Luego de realizar un análisis de los efectos subletales de los organismos, se identificaron una gran variabilidad de estos, obteniendo 24 diferentes efectos del plomo en las especies de la familia Anatidae, los cuales se visualizan en la Tabla 3. El principal de estos es la alteración del sistema inmunológico con una proporción del 13%. Seguido de ello, se encuentran los efectos de disminución de la probabilidad de supervivencia y daño

en el sistema nervioso central, con una proporción de 11% cada uno. Por otro lado, el 9% de los efectos evaluados fue la disminución de la capacidad reproductiva y reducción de la capacidad del vuelo cada uno; mientras que el daño hepático y renal representaba un 7%. Y, en una menor proporción (5%), se encuentran la alteración de la actividad enzimática y la disminución de la calidad del huevo. Finalmente, en una proporción mínima (2%), se encuentran efectos como cambio humoral, coloración amarillenta en el pico, letargo, etc.

**Tabla 3**

*Cantidad de efectos subletales*

Efectos subletales	Menciones
Anorexia leve	1
Letargo	1
Degeneración de hepatocitos y hemosiderosis	1
Mayor disfunción reproductiva	1
Alteración del sistema inmunológico	7
Daño en el sistema nervioso central	6
Daño hepático y renal	4
Cambio en los niveles de hormonas del estrés	1
Reducción de la capacidad de vuelo	5
Cambios en la composición de la sangre	1
Disminución de la producción de huevos	1
Disminución de la calidad del huevo	3
Disminución de la probabilidad de supervivencia	6
Alteración de la actividad enzimática	3
Disminución de la capacidad de reproducción	5
Disminución de la excreción de porfirinas	1
Coloración amarillenta del pico	1
Coloración roja de las patas	1
Estrés oxidativo	2
Cambio humoral	1
Menor peso al nacer	1
Afección sobre la termorregulación	1
Afección sobre la percepción de profundidad	1
Afección sobre la locomoción	1

## Discusión

### Géneros y especies de Anátidas

De la revisión bibliográfica, se observa que las especies de la familia Anatidae han sido frecuentemente utilizadas para el estudio de la ecotoxicología en aves, debido a que muchas de ellas (*A. platyrhynchos*, *A. crecca*, *C. hyemalis*, *B. clangula*, *A. marila*) están distribuidas en diferentes partes del mundo y son tan comunes, que es posible realizar comparaciones ecotoxicológicas cuando ocurren reducciones drásticas en sus poblaciones (Kalisińska & Salicki, 2010). Se suele utilizar con mayor frecuencia las especies del género *Anas* para estudios de efectos ecotoxicológicos del plomo en aves de la familia *Anatidae*; pero una de ellas, el ánade real (*A. platyrhynchos*), destaca del resto, con 21 menciones. Esto se debe a que se trata de la especie de patos más común y extendida a nivel mundial, contando más de 30 millones de individuos en todo el planeta (Alipour et al., 2016). Esta especie de gran importancia comercial y alimentaria, ya que es criada por sus huevos y su carne, la cual tiene un costo accesible que se ubica entre la carne del pollo y del pavo. Por otro lado, desde el punto de vista ecotoxicológico, esta especie ha sido ampliamente estudiada y su fisiología ya es conocida, por lo que se pueden interpretar fácilmente los efectos letales y subletales que sufren por su exposición a altas dosis de metales tóxicos (Kalisińska et al., 2004).

Otro de los géneros más mencionados dentro de los estudios ecotoxicológicos es el género *Anser*. Estas aves son consideradas componentes esenciales dentro de los humedales, interviniendo directa e indirectamente a

su funcionamiento; por ello, sus plumas y huevos se han utilizado para determinar la calidad del medio ambiente y los niveles de contaminantes tales como los metales pesados, Bifenilos Policlorados (PCBs) o pesticidas (Rodrigues, 2013; Borticher, 2004). La especie de este género que más resaltó fue *A. albifrons* con un total de nueve menciones en todos los artículos revisados para la investigación. Además de ser una especie bioindicadora, esta es amenazada durante la temporada de caza y los eventos de caza deportiva en épocas de otoño e invierno (Dusek, et al, 2009). De manera similar, las aves del género *Cygnus*, están identificadas como bioindicadores de contaminación, debido a su sensibilidad a cambios ambientales, tendiendo a acumular sustancias tóxicas en sus organismos, es por ello que muchos de sus individuos se encuentran en peligro de extinción (Saldivia, 2005; Matthew, 2023). Por último, se encuentran dos especies con un gran número de menciones, las cuales son la *A. ferina* y *B. canadensis*, con seis y siete menciones, respectivamente.

Al igual que los cisnes, estas especies han mostrado altos índices de mortalidad a causa de la ingestión de perdigones de plomo (Matthew, 2023; Quy, 2010). La importancia de estudiar los efectos ecotoxicológicos en estas especies radica en que *A. ferina* es un ave muy influenciada por su medio, por lo que puede ser usado como bioindicador (Matamala & Aguilar, 2007; Chavero, 2018). En cambio, los individuos de la especie *B. canadensis* pueden transmitir contaminantes desde el medio acuático al terrestre, a través de sus heces y sus plumas, sirviendo de vectores por encontrarse en grandes cantidades cerca de los humanos (Sullivan & Rodewald, 2012).

## **Bioacumulación de plomo (Pb) en Anatidae**

### ***Bioacumulación de plomo en el organismo con mayor concentración***

Tras llevar a cabo la revisión bibliográfica, se pudo determinar que la bioacumulación del plomo en diversos tejidos y órganos mostró resultados significativos. Se encontró que el hígado presentó la mayor concentración de bioacumulación, alcanzando un impresionante 23%, seguido de cerca por los riñones con un 15%. Los huesos también mostraron una notable acumulación de plomo, con un 14%, mientras que los músculos, la sangre y las plumas exhibieron cifras algo más bajas, con un 11%, 10% y 8%, respectivamente. La acumulación de plomo en estos órganos se debe a un proceso en el cual las municiones de plomo utilizadas, como perdigones, sufren oxidación y disolución en el estómago debido a los ácidos presentes en el proceso digestivo (Norman, 1976). Esta transformación conduce a la formación de sales de plomo, las cuales son absorbidas en el intestino (Pain, 1990) Estudios han demostrado que estas sales de plomo ingresan al torrente sanguíneo y se distribuyen por todo el cuerpo, depositándose en órganos clave como el hígado, los riñones, los huesos y los músculos (Cao et al., 2010). Además, se ha identificado una fuerte relación entre las áreas de caza y la exposición al plomo, lo que se traduce en una mayor incidencia de altas concentraciones de plomo en la sangre de las aves (Klopper, 2014). Estas áreas de caza suelen ser escenarios donde se utilizan municiones de plomo, lo que contribuye significativamente a la exposición y acumulación del metal en las aves (Durant et al., 2014). Es importante

destacar que la presencia de altos niveles de plomo en la sangre se ha asociado con la disminución de la mineralización ósea, lo que puede resultar en una mayor fragilidad y debilidad ósea en las aves (Nichols & Johnson, 2016).

### ***Bioacumulación de plomo en el organismo con mediana concentración***

A partir de la revisión bibliográfica, se encontró que la bioacumulación en varios tejidos y órganos mostró diferentes concentraciones. La molleja presentó una concentración de bioacumulación del 3,6%, mientras que los intestinos, el cerebro y las excretas tuvieron una concentración del 2,7% en cada uno de estos órganos, respectivamente. Las aves acuáticas ingieren objetos de plomo como perdigones o plomadas accidentalmente, confundiendo con alimento o arena depositados en el fondo de los cuerpos de agua (García & Navas, 2020). Una vez ingerido, el plomo se erosiona en la molleja debido al ambiente ácido y los movimientos de molienda del tracto digestivo, volviéndose soluble en forma iónica y permitiendo su absorción y distribución en los tejidos del cuerpo de las aves (Colina et al., 2013). El plomo también es absorbido en el intestino, viaja a través del torrente sanguíneo y se acumula en el sistema digestivo (Ross-Muñoz, 2011). La bioacumulación del plomo también se genera a partir de la erosión de los perdigones en el ventrículo, los cambios en las concentraciones de plomo en la sangre a lo largo del tiempo y la distribución del plomo en los tejidos, así como su eliminación a través de las excretas (Sato et al., 2022). Además, la acumulación de plomo en el cerebro es el resultado de la exposición crónica a través de la ingestión de partículas de plomo. Asimismo, se ha

establecido que la exposición prolongada al plomo puede llevar a su acumulación en el cerebro (Meissne et al., 2020). Por último, las excretas también pueden contener metabolitos de plomo debido a que son absorbidos durante la digestión, que se eliminan a través de la orina o las heces (Ferreira, 2011).

### ***Bioacumulación de plomo en el organismo con menor concentración***

La bioacumulación en el bazo ocurre debido a la ingestión de perdigones de plomo presentes en el entorno acuático o en áreas de caza contaminadas (Beyer et al., 2014). Una vez ingerido, el plomo es absorbido por el organismo de las aves y se acumula en los tejidos, incluyendo los órganos reproductores (Scheuhammer et al., 2019). Durante la formación de los huevos, el plomo puede transferirse a la cáscara a medida que se deposita durante el proceso de calcificación (Mateo & Belliure, 2017). La exposición crónica al plomo puede dar lugar a la acumulación de este metal en el corazón y otros órganos, lo que puede ocasionar daño cardiovascular y afectar la función cardíaca (Pain et al., 2009). Esta acumulación en el corazón puede ocurrir a través de la exposición al plomo mediante la dieta o la inhalación de partículas de plomo (Stroud et al., 2010). Una vez que el plomo es absorbido en el torrente sanguíneo, se distribuye por todo el cuerpo, incluyendo el corazón. En cuanto al mesencéfalo, se ha observado que la exposición crónica al plomo puede resultar en su acumulación en esta región del cerebro (Feige & Scheuhammer, 2008). En el caso del proventrículo, que es la primera parte del estómago en las aves, cuando estas se alimentan de presas o consumen alimentos que contienen partículas de plomo, este metal puede ser

absorbido en el tracto gastrointestinal y acumularse en el proventrículo (Kaneko & Ralston, 2007). El plomo puede adherirse a las paredes de este órgano y permanecer retenido en él, lo que conduce a su acumulación a lo largo del tiempo (Mateo & Guitart, 2003).

### **Causas de exposición**

Actualmente, se sabe que una de las principales amenazas que tienen muchas especies acuáticas, principalmente las Anatidae, es la caza, ya sea indiscriminada o por deporte (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, [FAO], 1997). Sin embargo, la exposición al plomo que tienen las especies de esta familia no es debido principalmente al impacto de los perdigones por esta actividad, el cual representó ser la tercera causa principal, y ello se corrobora con estudios como los de Scheuhammer et al. (1998) y Tsuji et al. (1999), que aducen que solo cerca del 10% de las aves acuáticas de caza, donde se incluyen las Anatidae, son impactadas y contaminadas por estos perdigones, o restos de estos, los cuales contienen Pb. Tras la revisión de las causas por las que las aves acuáticas de la familia Anatidae son expuestas al Pb, se logró observar que la mayor parte de investigaciones tuvieron como causa principal la ingesta directa de perdigones de Pb, con un 42% de representación entre los estudios recuperados, o a través de su alimentación, que fue el 31% de los resultados de los estudios. Ello se corrobora con estudios como los de Mateo (2009), donde se indica que cerca de 15 poblaciones de aves acuáticas en Europa se han reducido, debido principalmente a la ingesta de perdigones de plomo; asimismo, The BirdLife International (2004), señala

diversas poblaciones de la familia Anatidae que van en declinación, como las *Ana acuta* y *Aythya ferina*, que consumen entre el 50% al 70% de los perdigones de caza, ya sea de manera directa o a través de su alimentación (agua, algas, sedimentos, etc.). Incluso, estudios aislados como el de Martínez-Haro et al. (2011), mostraron que el 19% de los ánades azulones cazados muestran intoxicación por Pb debido a la ingesta de perdigones utilizados en la caza.

### **Efectos subletales del plomo en el organismo**

#### ***La alteración del sistema inmunológico***

Para la evaluación de efectos en el sistema inmune existen diversos indicadores, uno de ellos es la relación heterófilos/linfocitos (H/L), la cual, al presentarse frente a altas concentraciones de plomo, aumenta su valor causando estrés fisiológico generando otros efectos como en la disminución del rendimiento reproductivo y supervivencia de aves (Meissner et al., 2020). Asimismo, la exposición al Pb origina otros efectos como en la reducción de anticuerpos en las Anátidas como las células formadoras de placas de bazo (SPFC), inmunoglobulina Y (IgY) y los anticuerpos contra los glóbulos rojos de oveja (SRBC) (Vallverdú-Coll et al., 2019). Por otro lado, se ven afectadas las células T colaboradoras (Th) ocasionando un desequilibrio en las células Th1 y Th2 que son responsables de la inmunidad humoral, lo cual resulta en inmunosupresión o reacciones alérgicas (Vallverdú-Coll et al., 2015).

#### ***Daño en el sistema nervioso central***

Dentro de los efectos subletales a los que son susceptibles las Anatidae por

la exposición al plomo, el daño en el sistema nervioso central fue el segundo más registrado en los artículos, con un 11%, al igual que la disminución de las probabilidades de supervivencia. Este problema surge a partir del consumo accidental de plomo por parte de estas aves, quienes confunden los perdigones con piedras pequeñas que ingieren con la finalidad de facilitar la digestión de los materiales vegetales que consumen, lo cual puede causar la muerte del animal (Rodríguez & Palacios, 2018). No obstante, en ciertos casos, esto no sucede y el plomo dentro del organismo puede ser absorbido y distribuido a diferentes órganos, produciendo diversos efectos negativos, como el daño al sistema nervioso que se manifiesta causando debilidad muscular, convulsiones y ceguera en las aves (Valverde et al., 2019; Díaz et al., 2019). Cabe resaltar, que una forma de detección del plomo en la sangre de estos animales es mediante los niveles de protoporfirina, un compuesto orgánico que sirve como indicador indirecto de la cantidad de plomo en sangre, el cual nos señala que a concentraciones por encima de las 40 ppm hay envenenamiento por plomo y a niveles superiores a las 500 ppm, hay afección al sistema nervioso y por ende la alteración de las funciones motoras (De Francisco et al., 2003).

#### ***Disminución de las probabilidades de supervivencia***

La disminución de las probabilidades de supervivencia de las Anatidae por su exposición al plomo, resultó como uno de los efectos subletales más registrados en los estudios en una proporción del 11% del total de artículos evaluados. Este tema ha tenido una gran repercusión de forma reiterada por parte de los

conservacionistas, quienes han defendido la necesidad de una mayor regulación en el uso de plomo debido a sus efectos nocivos en los animales, siendo el uso de perdigones en humedales donde se practica el tiro, una de las principales amenazas de intoxicación por plomo para las aves acuáticas, como las Anatidae, quienes la ingieren de forma accidental (Mondai et al., 2015; Mateo et al., 1997). Una vez dentro de su organismo, este contaminante causa una disminución en las probabilidades de supervivencia de estas aves debido a sus múltiples efectos sobre su inmunocompetencia, comportamiento, movilidad y capacidad para encontrar alimento y/o evadir a los depredadores (Wilson et al., 2007; Muñoz, 2011). Esto se pudo observar en el estudio realizado por Wood et al. (2019), quienes comprobaron que el envenenamiento por plomo de cisnes mudos en Gran Bretaña, tuvo un impacto a escala nacional, al limitar el tamaño de su población por medio de sus efectos en la supervivencia de esta ave, en forma adulta o juvenil.

### ***Reducción de la capacidad de reproducción y de vuelo***

La reducción de la capacidad de reproducción y de vuelo, resultaron ser otros de los efectos subletales más frecuentes en los estudios, ambos con una proporción del 9% del total de artículos evaluados. Ambas consecuencias parten de una misma causa, puesto que el ingreso del plomo en las Anatidae causa de forma inicial, el letargo del individuo, lo cual suele estar asociado al comienzo de una parálisis muscular o a la disminución en la ingesta de alimentos que cae por debajo de los requisitos nutricionales mínimos (Olney, 1960) Tras ello, al cabo

de dos semanas de la ingesta de plomo, se produce la parálisis del tracto digestivo del ave, lo cual impide que esta puede digerir los alimentos que consume y por consiguiente, ocasiona que el individuo se ponga muy débil, hasta el punto de presentar una dificultad para poder desplazarse; es decir, ser incapaz de sostener el vuelo o caminar de forma adecuada (De Francisco et al., 2003; Ferreyra, 2011). De igual manera, el rendimiento reproductivo de las Anatidae, se encuentra relacionado de forma directa y positiva a la condición corporal del individuo, por lo cual en la época pre-reproductora estas aves son potencialmente sensibles a cualquier perturbación que pueda impactar en su capacidad de búsqueda de alimento y descanso, almacenamiento de nutrientes o gasto de reservas energéticas, como es la ingesta de plomo (Arzel et al., 2006).

### ***Daño hepático y renal***

El plomo ingresa por medio del tracto digestivo al organismo, se acumula en la sangre por dos semanas aproximadamente transportándose por medio de las membranas de los eritrocitos para, posteriormente, acumularse en los tejidos blandos (hígado y riñón) hasta que, finalmente, se acumula en los huesos de las aves (Descalzo & Mateo, 2018). Por otro lado, se ha demostrado que el plomo se suele acumular de manera difusa en el parénquima del hígado causando degeneración de hepatocitos y hemossiderosis, lo cual provoca cambios histopatológicos (Torimoto et al., 2021). Asimismo, la ingestión de plomo causa un agrandamiento de hasta cinco veces el tamaño de la vesícula biliar y genera una sobreproducción de bilis que se puede evidenciar por medio de diarreas color verde brillante (Olney, 1960). En cuanto

a los riñones, se han encontrado diversas lesiones en este debido a la intoxicación con plomo como las congestiones (alteración circulatoria) e hinchazón y degeneración del epitelio de los túbulos renales (Binkowski et al., 20).

### Conclusiones

En conclusión, los estudios revisados sobre los efectos ecotoxicológicos del plomo en aves de la familia Anatidae han demostrado de manera contundente que las especies de patos y gansos, como *A. platyrhynchos*, *A. albifrons*, *C. cygnus*, *A. ferina* y *B. canadensis*, son ampliamente utilizadas como sujetos de investigación debido a su distribución global, así como su destacada capacidad para actuar como bioindicadores de contaminación. Los resultados de estos estudios indican que la bioacumulación de plomo en el organismo de estas aves se concentra, principalmente, en el hígado, los riñones y los huesos, seguidos de los músculos, la sangre y las plumas. La principal causa de exposición es la ingestión accidental de perdigones de plomo, ya sea al confundirlos con

alimento o arena en los cuerpos de agua, seguida de la exposición a través de la alimentación. Es importante destacar que los efectos subletales del plomo en estas aves abarcan alteraciones en el sistema inmunológico, como un incremento en la relación heterófilos/linfocitos y una disminución en la producción de anticuerpos. Estos efectos pueden tener consecuencias negativas en el rendimiento reproductivo y la supervivencia de las aves, poniendo en peligro la estabilidad de sus poblaciones. En resumen, los estudios ecotoxicológicos en aves de la familia Anatidae han proporcionado información valiosa acerca de la exposición y los efectos del plomo en estas especies. Estos hallazgos resaltan la urgente necesidad de implementar medidas de conservación y gestión adecuadas para proteger a estas aves y preservar sus hábitats de los efectos nocivos de la contaminación por plomo. Es esencial tomar acciones para reducir la presencia de plomo en los entornos acuáticos, promover prácticas de caza seguras y concientizar sobre los riesgos asociados con la contaminación por plomo.

### Referencias

- Abbasi, N. A., Jaspers, V. L. B., Chaudhry, M. J. I., Ali, S., & Malik, R. N. (2015). Influence of taxa, trophic level, and location on bioaccumulation of toxic metals in bird's feathers: a preliminary biomonitoring study using multiple bird species from Pakistan. *Chemosphere*, 120, 527-537.
- Abbasi, N. A., Khan, M. U., Jaspers, V. L. B., Chaudhry, M. J. I., & Malik, R. N. (2015). Spatial and interspecific variation of accumulated trace metals between remote and urbane dwelling birds of Pakistan. *Ecotoxicology and environmental safety*, 113, 279-286.
- Agencia de Protección Ambiental-EPA. (2022). *Estrategia para Reducir la Exposición al Plomo y las Disparidades en las Comunidades de Estados Unidos*. <https://espanol.epa.gov/system/files/documents/202211/Estrategia%20para%20al%20plomo.pdf>

- Alerstam, T., Hedenström, A., & Åkesson, S. (2003). Long-distance migration: evolution and determinants. *Oikos*, *103*(2), 247-260.
- Alipour, H., Solgi, E., & Majnoui, F. (2016). Concentrations of heavy metals in tissues of the Mallard *Anas platyrhynchos* in Kanibarazan, northwestern Iran. *Podoces*, *11*(2), 35-42.
- Aloupi, M., Karagianni, A., Kazantzidis, S., & Akriotis, T. (2017). Heavy metals in liver and brain of waterfowl from the Evros Delta, Greece. *Archives of environmental contamination and toxicology*, *72*, 215-234.
- Aloupi, M., Kazantzidis, S., Akriotis, T., Bantikou, E., & Hatzidaki, V. O. (2015). Lesser white-fronted (*Anser erythropus*) and greater white-fronted (*A. albifrons*) geese wintering in Greek wetlands are not threatened by Pb through shot ingestion. *Science of the Total Environment*, *527*, 279-286.
- Andreotti, A., Guberti, V., Nardelli, R., Pirrello, S., Serra, L., Volponi, S., & Green, R. E. (2018). Economic assessment of wild bird mortality induced by the use of lead gunshot in European wetlands. *Science of the Total Environment*, *610*, 1505-1513.
- Arzel, C., Elmberg, J., & Guillemain, M. (2006). Ecology of spring-migrating Anatidae: a review. *Journal of Ornithology*, *147*, 167-184. <https://doi.org/10.1007/s10336-006-0054-8>
- Bassi, E., Facchetti, R., Ferloni, M., Pastorino, A., Bianchi, A., Fedrizzi, G., & Andreotti, A. (2021). Lead contamination in tissues of large avian scavengers in south-central Europe. *Science of The Total Environment*, *778*, 146130. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146130>
- Berger, C. S., Berger, L., & Skerratt, L. F. (2019). Airborne lead dust concentration in Townsville, Queensland is associated with port activity and may contribute to estuarine sediment contamination. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, *225*, 106257. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.106257>
- Beyer, W.N., Franson, J.C., & Locke, L.N. (2014). *Environmental Contaminants in Wildlife: Interpreting Tissue Concentrations*. <https://www.crcpress.com/Environmental-Contaminants-in-Wildlife-Interpreting-Tissue-Concentrations/Beyer-Franson-Locke/9780873718155>.
- Binkowski, Ł. J., & Sawicka-Kapusta, K. (2015). Lead poisoning and its in vivo biomarkers in Mallard and Coot from two hunting activity areas in Poland. *Chemosphere*, *127*, 101-108.
- Binkowski, Ł. J., Meissner, W., Trzeciak, M., Izevbekhai, K., & Barker, J. (2016). Lead isotope ratio measurements as indicators for the source of lead poisoning in Mute swans (*Cygnus olor*) wintering in Puck Bay (northern Poland). *Chemosphere*, *164*, 436-442.

- Binkowski, Ł. J., Sawicka-Kapusta, K., Szarek, J., Strzyżewska, E., & Felsmann, M. (2013). Histopathology of liver and kidneys of wild living Mallards *Anas platyrhynchos* and Coots *Fulica atra* with considerable concentrations of lead and cadmium. *Science of the Total Environment*, 450, 326-333.
- Birdlife International (2004) *Birds in Europe: population estimates, trends and conservation status*. BirdLife International, Wageningen.
- Borticher, A. (2004). *Valores bioquímicos sanguíneos del cisne de cuello negro (Cygnus melanocoryphus, Molina 1782), en una población silvestre, de Valdivia, Chile* [Tesis, Universidad Austral de Chile].
- Cao, L., Zhang, Y., Barter, M., & Lei, G. (2010). Anatidae in eastern China during the non-breeding season: Geographical distributions and protection status. *Biological Conservation*, 143, 650-659. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.12.001>
- Chavero, J. (2018). Programa de seguimiento de biodiversidad en la reserva de biosfera de Menorca. Consell Insular de Menorca.
- Christou, A., Hadjisterkotis, E., Dalias, P., Demetriou, E., Christofidou, M., Kozakou, S., & Neocleous, D. (2022). Lead contamination of soils, sediments, and vegetation in a shooting range and adjacent terrestrial and aquatic ecosystems: A holistic approach for evaluating potential risks. *Chemosphere*, 292, 133424. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.133424>
- Colina, A. H., Azpiri, G. S., & Hiriart, M. M. (2013). *Desarrollo de un sistema experto (SEDEEA) para apoyar el diagnóstico de algunas enfermedades letales de aves acuáticas en México*. (Tesis, Universidad Nacional Autónoma de México). <http://132.248.9.195/ptd2013/agosto/0698379/0698379.pdf>
- De Francisco, N., Ruiz Troya, J. D., & Agüera, E. I. (2003). Lead and lead toxicity in domestic and free living birds. *Avian Pathology*, 32, 3-13. <https://doi.org/10.1080/0307945021000070660>
- Descalzo, E., & Mateo, R. (2018). *La contaminación por munición de plomo en Europa: el plumbismo aviar y las implicaciones en la seguridad de la carne de caza*. Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha.
- Díaz, D. D., Villanueva, H. Z., Hernández, N. F., Monterrosa, R. C., Amor, A. R., Ramírez, M. D., Jimenez, J., García, M., Miranda, G., & Flores, L. H. (2019). Presencia de metales pesados en Pato Mexicano (*Anas diazi Ridgway*). *Agro Productividad*, 12(11), 89-92. <https://doi.org/10.32854/agrop.vi0.1504>
- Durant, D., Fritz, H., & Duncan, P. (2014). Feeding patch selection by herbivorous Anatidae: the influence of body size, and of plant quantity and quality. *Journal of avian biology*, 35(2), 144-152. <https://doi.org/10.1111/j.0908-8857.2004.03166.x>

- Durkalec, M., Martínez-Haro, M., Nawrocka, A., Pareja-Carrera, J., Smits, J. E., & Mateo, R. (2022). Factors influencing lead, mercury and other trace element exposure in birds from metal mining areas. *Environmental Research*, 212, 113575. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113575>
- Dusek, R., Bradley, T., DeLiberto, H., Franson, B., Swafford, S., & Hon S. (2009). Surveillance for High Pathogenicity Avian Influenza Virus in Wild Birds in the Pacific Flyway of the United States, 2006–2007. *Avian Disease*, 53(2), 222-230.
- Ely, C. R., & Franson, J. C. (2014). Blood lead concentrations in Alaskan tundra swans: linking breeding and wintering areas with satellite telemetry. *Ecotoxicology*, 23, 349-356.
- English, M. D., Robertson, G. J., Avery-Gomm, S., Pirie-Hay, D., Roul, S., Ryan, P. C., Wilhelm, S.I., & Mallory, M. L. (2015). Plastic and metal ingestion in three species of coastal waterfowl wintering in Atlantic Canada. *Marine pollution bulletin*, 98(1-2), 349-353.
- Fedynich, A. M., Ballard, B. M., McBride, T. J., Estrella, J. A., Garvon, J. M., & Hooper, M. J. (2007). Arsenic, cadmium, copper, lead, and selenium in migrating blue-winged teal (*Anas discors* L.). *Archives of environmental contamination and toxicology*, 53, 662-666.
- Feige, N., & Scheuhammer, A.M. (2008). Current exposure and effects of lead in waterfowl. In: Fairbrother, A., Locke, L.N., Hoff, G.L., & Hoffmann, D.J. (eds.). *Non-chemical Stressors: Human and Wildlife Impacts*. Elsevier, Oxford, pp. 237-264. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444530806500152>
- Ferreira, H. (2011). Lead ammunition and pollution: an old problem worldwide recognized, neglected in Argentina. *El Hornero*, 26(1), 65-72.
- Franco, D. (2020). *Contaminación por Plomo*. Informe elaborado por la Comisión de Salud Ocupacional del Sindicato Médico del Uruguay. <https://www.smu.org.uy/sindicales/resoluciones/informes/plomo.pdf>
- García, A. J., & Navas, I. M. (2020). *Riesgos Tóxicos de la Munición de Plomo y sus Alternativas en la Actividad Cinegética*. Universidad de Murcia.
- García, J. J. V., & Navarrete, H. M. C. (2022). Fitorremediación como alternativa en remoción de metales pesados del suelo: Una revisión teórica. *Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios*, 9(2), 15-31. [https://revistas.up.ac.pa/index.php/revista\\_colon\\_ctn/article/view/3104/2764](https://revistas.up.ac.pa/index.php/revista_colon_ctn/article/view/3104/2764)
- Han, B., García-Mendoza, D., van den Berg, H., & van den Brink, N. W. (2020). Modulatory effects of Pb<sup>2+</sup> on virally challenged chicken macrophage (HD-11) and B-lymphocyte (DT40) cell lines in vitro. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 39(5), 1060-1070.

- Hosseini Alhashemi, A. S., Karbassi, A. R., Hassanzadeh Kiabi, B., Monavari, S. M., Nabavi, S. M. B., & Sekhavatjou, M. S. (2011). Bioaccumulation of trace elements in trophic levels of wetland plants and waterfowl birds. *Biological trace element research*, 142, 500-516.
- Jin, S. D., Seo, S. G., Shin, Y. U., Bing, K. C., Kang, T. H., Paek, W. K., & Lee, D. P. (2012). Heavy metal accumulations of 4 species of Anseriformes in Korea. *Journal of Korean Nature*, 5(4), 345-349.
- Kalisińska, E., & Salicki, W. (2010). Lead and cadmium levels in muscle, liver and kidney of scaup *Aythya marila* from Szczecin Lagoon, Poland. *Polish Journal of Environmental*, 19(6), 1213-22.
- Kalisińska, E., Salicki, W., Mysłək, P., Kavetska, K. M., & Jackowski, A. (2004). Using the Mallard to biomonitor heavy metal contamination of wetlands in north-western Poland. *Science of The Total Environment*, 320(2-3), 145-161. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2003.08.014>
- Kaneko, J.J., & Ralston, N.V. (2007). Selenium and Mercury in Pelagic Fish in the Central North Pacific Near Hawaii. *Biological Trace Element Research*, 119(3), 242-254. <https://doi.org/10.1007/s12011-007-8004-8>
- Katavolos, P., Staempfli, S., Sears, W., Gancz, A. Y., Smith, D. A., & Bienzle, D. (2007). The effect of lead poisoning on hematologic and biochemical values in trumpeter swans and Canada geese. *Veterinary clinical pathology*, 36 (4), 341-347.
- Kearns, B., McDowell, S., Moon, J., Rigby, E., Conway, W. C., & Haukos, D. (2019). Distribution of contaminants in the environment and wildlife habitat use: a case study with lead and waterfowl on the Upper Texas Coast. *Ecotoxicology*, 28, 809-824.
- Kim, J., & Oh, J. M. (2013). Tissue distribution of metals in white-fronted geese and spot-billed ducks from Korea. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 91, 18-22.
- Kim, J., & Oh, J. M. (2014). Assessment of lead exposure in waterfowl species, Korea. *Archives of environmental contamination and toxicology*, 67, 529-534.
- Kim, J., & Oh, J. M. (2014). Concentration of trace elements in feathers of waterfowl, Korea. *Environmental monitoring and assessment*, 186, 8517-8525.
- Kim, J., Kim, I. K., & Oh, J. M. (2016). Effect of embedded shot on trace element concentrations in livers of Anseriformes species. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 134, 38-42.
- Klopfer, P. H. (2014). An analysis of learning in young Anatidae. *Ecology*, 40(1), 90-102. <https://doi.org/10.2307/1929925>
- Korbecki, J., Gutowska, I., Chlubek, D., & Baranowska-Bosiacka, I. (2019).

- Lead (Pb) in the tissues of Anatidae, Ardeidae, Sternidae and Laridae of the Northern Hemisphere: a review of environmental studies. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 12631-12647.
- Kucharska, K., Binkowski, Ł. J., Zaguła, G., & Dudzik, K. (2022). Spatial, temporal and environmental differences in concentrations of lead in the blood of Mute swans from summer and winter sites in Poland. *Science of The Total Environment*, 830, 154698.
- Kumar, A., Kumar, A., MMS, C. P., Chaturvedi, A. K., Shabnam, A. A., Subrahmanyam, G., & Yadav, K. K. (2020). Lead toxicity: health hazards, influence on food chain, and sustainable remediation approaches. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(7), 2179.
- Lam, S. S., McPartland, M., Noori, B., Garbus, S. E., Lierhagen, S., Lyngs, P., Dietz, R., Therkildsen, O.R., Christensen, T.K., Tjørnløv, R.S., Kanstrup, N., Fox, A.D., Sørensen, I.H., Arzel, C., Krøkje, Å., & Sonne, C. (2020). Lead concentrations in blood from incubating common eiders (*Somateria mollissima*) in the Baltic Sea. *Environment international*, 137, 105582.
- Lewis, N. L., Nichols, T. C., Lilley, C., Roscoe, D. E., & Lovy, J. (2021). Blood lead declines in wintering American black ducks in New Jersey following the lead shot ban. *Journal of Fish and Wildlife Management*, 12(1), 174-182.
- Liang, J., Liu, J., Yuan, X., Zeng, G., Yuan, Y., Wu, H., & Li, F. (2016). A method for heavy metal exposure risk assessment to migratory herbivorous birds and identification of priority pollutants/areas in wetlands. *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 11806-11813.
- Lodenius, M., & Solonen, T. (2013). The use of feathers of birds of prey as indicators of metal pollution. *Ecotoxicology*, 22(9), 1319-1334.
- Lohr, M. T., Hampton, J. O., Cherriman, S., Busetti, F., & Lohr, C. (2020). Completing a worldwide picture: preliminary evidence of lead exposure in a scavenging bird from mainland Australia. *Science of The Total Environment*, 715, 135913. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004896971935908X>
- Mansouri, B., & Majnoni, F. (2014). Comparison of the metal concentrations in organs of two bird species from western of Iran. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 92, 433-439.
- Martinez-Haro, M., Green, A. J., Acevedo, P., & Mateo, R. (2011). Use of grit supplements by waterbirds: an experimental assessment of strategies to reduce lead poisoning. *European Journal of Wildlife Research*, 57, 475-484.
- Martinez-Haro, M., Taggart, M. A., Martín-Doimeadiós, R. R., Green, A. J., & Mateo, R. (2011). Identifying sources of Pb exposure in waterbirds and effects on porphyrin

- metabolism using noninvasive fecal sampling. *Environmental Science & Technology*, 45(14), 6153-6159.
- Matamala, J., & Aguilar, F. (2007). Humedales Almerienses. *Centro de Estudios de Ecología y Medio Ambiente del Río Almanzora*.
- Mateo, R. (2009). *Lead poisoning in wild birds in Europe and the regulations adopted by different countries. Ingestion of lead from spent ammunition: implications for wildlife and humans*. In: Watson, R.T., Fuller, M., Pokras, M., & Hunt, W.G. (Eds.). *Ingestion of Lead from Spent Ammunition: Implications for Wildlife and Humans*. The Peregrine Fund, Boise, Idaho, USA. pp. 71-98. 10.4080/ilsa.2009.0107
- Mateo, R., & Belliure, J. (2017). Heavy Metal and metallothionein concentrations in tissues of Waterfowl Wintering in Spain. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 33(3), 342-349.
- Mateo, R., & Guitart, R. (2003). Heavy metals in livers of waterbirds from Spain. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 44, 398-404. <https://doi.org/10.1007/s00244-002-2040-3>
- Mateo, R., Green, A. J., Lefranc, H., Baos, R., & Figuerola, J. (2007). Lead poisoning in wild birds from southern Spain: a comparative study of wetland areas and species affected, and trends over time. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 66(1), 119-126.
- Mateo, R., Martínez-Vilalta, A., & Guitart, R. (1997). Lead shot pellets in the Ebro delta, Spain: densities in sediments and prevalence of exposure in waterfowl. *Environmental Pollution*, 96(3), 335-341. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(97\)00046-8](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(97)00046-8)
- Mateo, R., Petkov, N., Lopez-Antia, A., Rodríguez-Estival, J., & Green, A. J. (2016). Risk assessment of lead poisoning and pesticide exposure in the declining population of red-breasted goose (*Branta ruficollis*) wintering in Eastern Europe. *Environmental Research*, 151, 359-367.
- Mateo, R., Vallverdú-Coll, N., López-Antia, A., Taggart, M. A., Martínez-Haro, M., Guitart, R., & Ortiz-Santaliestra, M. E. (2014). Reducing Pb poisoning in birds and Pb exposure in game meat consumers: The dual benefit of effective Pb shot regulation. *Environment International*, 63, 163-168.
- Matthew, R. (2023). *Lead Poisoning in Wild Birds in Europe and the Regulations Adopted by different Countries*. Instituto de Investigación en Recursos Cinegéticos IREC (CSIC, UCLM, JCCM).
- Meissner, W., Binkowski, Ł. J., Barker, J., Hahn, A., & Trzeciak, M. (2020). Relationship between blood lead levels and physiological stress in mute swans (*Cygnus olor*) in municipal beaches of the southern Baltic. *Science of the Total Environment*, 710, 136292. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136292>

- Miyabayashi, Y., & Mundkur, T. (1999). *Atlas of key sites for Anatidae in the East Asian Flyway*. Wetlands International.
- Monclús, L., Shore, R. F., & Krone, O. (2020). Lead contamination in raptors in Europe: a systematic review and meta-analysis. *Science of the Total Environment*, 748, 141437. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141437>
- Mondain-Monval, J.Y., Defos du Rau, P., Guillemain, M., & Olivier, A. (2015). Switch to non-toxic shot in the Camargue, France: effect on waterbird contamination and hunter effectiveness. *European Journal of Wildlife Research*, 61, 271–283. <https://doi.org/10.1007/s10344-014-0897-x>
- Mukherjee, A., Pal, S., Das, P., & Mukhopadhyay, S. K. (2022). Heavy metal exposure to a migratory waterfowl, Northern Pintail (*Anas acuta*), in two peri-urban wetlands. *Science of The Total Environment*, 851, 158238.
- Muñoz, S. R. (2011). *Utilización de biomarcadores para evaluar los efectos de Hg y Pb en aves migratorias del noroeste de México*. (Tesis, Grado de Maestro en Ciencias). Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. <https://ciad.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1006/1010/1/ROOS-MU%c3%91OZ-S11.pdf>
- Nam, D. H., & Lee, D. P. (2011). Mortality factors and lead contamination of wild birds from Korea. *Environmental monitoring and assessment*, 178, 161-169.
- Nam, D. H., Anan, Y., Ikemoto, T., & Tanabe, S. (2005). Multielemental accumulation and its intracellular distribution in tissues of some aquatic birds. *Marine pollution bulletin*, 50(11), 1347-1362.
- Nichols, J. D., & Johnson, F. A. (2016). The management of hunting of Anatidae. *Gibier Faune Sauvage, Game and Wildlife*, 13, 977–989. <https://pubs.er.usgs.gov/publication/5210861>
- Norman, F.I. (1976) The incidence of lead shotgun pellets in waterfowl (Anatidae and Rallidae) examined in south-eastern Australia between 1957 and 1973. *Wildlife Research*, 3, 61-71. <https://doi.org/10.1071/WR9760061>
- O'Connell, M. M., Rees, E. C., Einarsson, O., Spray, C. J., Thorstensen, S., & O'Halloran, J. (2008). Blood lead levels in wintering and moulting Icelandic whooper swans over two decades. *Journal of Zoology*, 276(1), 21-27.
- Olney, P. J. S. (1960). Lead poisoning in wildfowl. *Wildfowl*, 11, 123-134. <https://wildfowl.wwt.org.uk/index.php/wildfowl/article/view/129/129>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-FAO. (1997). *Lista Mundial de Vigilancia para la Diversidad de los Animales Domésticos*. (2° ed.), Roma, Italia. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7663715/#B37-ijerph-17-08113>

- Organización Panamericana de Salud-OPS. (2020). Plomo. <https://www.paho.org/es/temas/plomo>
- Ouassou, A., Dakki, M., El Agbani, M., Qninba, A., & El Hamoumi, R. (2021). Distribution and numbers of three globally threatened waterbird species wintering in Morocco: The Common pochard, Marbled teal, and White-headed duck. *International Journal of Zoology*, 2021, 1-17.
- Pain, D. J. (1990). Lead shot ingestion by waterbirds in the Camargue, France: an investigation of levels and interspecific differences. *Environmental Pollution*, 66(3), 273-285. [https://doi.org/10.1016/0269-7491\(90\)90007-Y](https://doi.org/10.1016/0269-7491(90)90007-Y)
- Pain, D.J., Fisher, I.J., Thomas, V.G., & Green, R.E. (2009). A Global Update of Lead Poisoning in Terrestrial Birds from Shooting with Lead-Based Ammunition. In: Watson, R.T., Fuller, M., Pokras, M., Hunt, W.G. (Eds). *Ingestion of Lead from Spent Ammunition: Implications for Wildlife and Humans* <https://www.peregrinefund.org/sites/default/files/Ingestion%20of%20Lead%20from%20Spent%20Ammunition.pdf>
- Pereda-Solis, M. E., Martínez-Guerrero, J. H., & Toca-Ramírez, J. A. (2012). Detection of zinc, lead, cadmium and arsenic in dabbling ducks from Durango, Mexico. *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances*, 7, 761-766.
- Plaza, P. I., & Lambertucci, S. A. (2019). What do we know about lead contamination in wild vultures and condors? A review of decades of research. *Science of the Total Environment*, 654, 409-417. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.099>
- Plaza, P. I., Uhart, M., Caselli, A., Wiemeyer, G., & Lambertucci, S. A. (2018). A review of lead contamination in South American birds: The need for more research and policy changes. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 16(4), 201-207. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2018.08.001>
- Quy, R. (2010). *Review of evidence concerning the contamination of wildlife and the environment arising from the use of lead ammunition*. The Food and Environment Research Agency Report. 56 p.
- Rodríguez, P. (2013). *Análisis toxicológico y estudio histopatológico de las aves muertas por la catástrofe del petrolero "Prestige"*. Universidad de Santiago de Compostela.
- Rodríguez, M., & Palacios, J. (2018). Ánsar común—*Anser anser* (Linnaeus, 1758). En: Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles. Sanz, J.J., Amat, J.A. (Eds.). Museo Nacional de Ciencias Naturales. [https://digital.csic.es/bitstream/10261/166746/1/ansans\\_v1.pdf](https://digital.csic.es/bitstream/10261/166746/1/ansans_v1.pdf)
- Romano, M., Ferreyra, H., Ferreyroa, G., Molina, F. V., Caselli, A., Barberis, I., ... & Uhart, M. (2016). Lead pollution from waterfowl hunting in wetlands and rice fields

- in Argentina. *Science of the total environment*, 545, 104-113.
- Ross-Muñoz, S. (2011). *Utilización de biomarcadores para evaluar los efectos de Hg y Pb en aves migratorias del noroeste de México*. (Tesis de maestría). CIAD. <https://ciad.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1006/1010/1/ROOS-MU%C3%91OZ-S11.pdf>
- Salas, C., Garduño, M. A., Mendiola, P., Vences, J. H., Zetina, V. C., Martínez, O. C., & Ramos, M. D. (2019). Fuentes de contaminación por plomo en alimentos, efectos en la salud y estrategias de prevención. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 20(1), 1-16.
- Saldivia, M. (2005). *Determinación de metales pesados (As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Hg, Ni, Pb y Zn) en hígado y riñón de cisne de cuello negro (Cygnus melancoryphus), lucheillo (Egeria densa), sedimento y agua, recolectados en el santuario de la naturaleza Carlos anwandter y humedales adyacentes a la provincia de Valdivia*. (Tesis, Universidad Austral de Chile).
- Sato, H., Ishii, C., Nakayama, S. M., Ichise, T., Saito, K., Watanabe, Y., Ogasawara, K., Torimoto, R., Kobayashi, A., Kimura, T., Nakamura, Y., Yamagishi, J., Ikenaka, Y., & Ishizuka, M. (2022). Behavior and toxic effects of Pb in a waterfowl model with oral exposure to Pb shots: Investigating Pb exposure in wild birds. *Environmental Pollution*, 308, 119580. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119580>
- Scheuhammer, A. M., Perrault, J. A., Routhier, E., Braune, B. M., & Campbell, G. D. (1998). Elevated lead concentrations in edible portions of game birds harvested with lead shot. *Environmental Pollution*, 102(2-3), 251-257. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(98\)00083-9](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(98)00083-9)
- Scheuhammer, A.M., Norris, S.L., & Osborn, D. (2019). The toxicology of mercury in wildlife: patterns of exposure and effects. *Ecotoxicology*, 8(4), 213-232.
- Schummer, M. L., Fife, I., Petrie, S. A., & Badzinski, S. S. (2011). Artifact ingestion in sea ducks wintering at northeastern Lake Ontario. *Waterbirds*, 34(1), 51-58.
- Schupp, T., Damm, G., Foth, H., Freyberger, A., Gebel, T., Gundert-Remy, U., & Wollin, K. M. (2020). Long-term simulation of lead concentrations in agricultural soils in relation to human adverse health effects. *Archives of Toxicology*, 94, 2319-2329.
- Sinkakarimi, M. H., Binkowski, L. J., Hassanpour, M., Rajaei, G., Ahmadpour, M., & Levengood, J. M. (2018). Metal concentrations in tissues of Gadwall and common teal from Miankaleh and Gomishan international wetlands, Iran. *Biological trace element research*, 185, 177-184.
- Sinka-Karimi, M. H., Pourkhabbaz, A. R., Hassanpour, M., & Levengood, J. M. (2015). Study on metal concentrations in tissues of Mallard and Pochard from two major

- wintering sites in Southeastern Caspian Sea, Iran. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 95, 292-297.
- Söderquist, P., Olsson, C., Birch, K., & Olsson, V. (2022). Evaluation of nutritional quality and sensory parameters of meat from mallard and four species of wild goose. *Foods*, 11(16), 2486.
- Solgi, E., Mirzaei-Rajeouni, E., & Zamani, A. (2020). Feathers of three waterfowl bird species from Northern Iran for heavy metals biomonitoring. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 104, 727-732.
- Spears, B., Hansen, J., & Audet, D. (2007). Blood lead concentrations in waterfowl utilizing Lake Coeur d'Alene, Idaho. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 52, 121-128.
- Sriram, A., Roe, W., & Gartrell, B. (2022). Blood lead concentration in an urban parrot: Nestling Kaka (*Nestor meridionalis*) demonstrates evidence of exposure to lead via eggs and parental feeding. *Science of The Total Environment*, 845, 157357. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157357>
- Stroud, D.A., & Davidson, N.C. (2010). The Conservation Status of Migratory Waterbirds in the East Asian-Australasian Flyway. *Slimbridge, UK: Wetlands International*. <https://www.wetlands.org/publications/eaaf-conservation-status-review1/>
- Sullivan, S., & Rodewald, A. (2012). In a state of flux: the energetic pathways that move contaminants from aquatic to terrestrial environments. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 31(6), 1175-1183.
- Torimoto, R., Ishii, C., Sato, H., Saito, K., Watanabe, Y., Ogasawara, K., Kubota, A., Matsukawa, T., Yokoyama, K., Kobayashi, A., Kimura, T., Nakayama, S. M. M., Ikenaka, Y., & Ishizuka, M. (2021). Analysis of lead distribution in avian organs by LA-ICP-MS: Study of experimentally lead-exposed ducks and kites. *Environmental Pollution*, 283, 117086. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117086>
- Tsipoura, N., Burger, J., Newhouse, M., Jeitner, C., Gochfeld, M., & Mizrahi, D. (2011). Lead, mercury, cadmium, chromium, and arsenic levels in eggs, feathers, and tissues of Canada geese of the New Jersey Meadowlands. *Environmental research*, 111(6), 775-784.
- Tsuji, L. J., Nieboer, E., Karagatzides, J. D., Hanning, R. M., & Katapatuk, B. (1999). Lead shot contamination in edible portions of game birds and its dietary implications. *Ecosystem Health*, 5(3), 183-192. <https://doi.org/10.1046/j.1526-0992.1999.09929.x>
- Tsuji, L. J., Tsuji, S. R., Zuk, A. M., Davey, R., & Liberda, E. N. (2020). Harvest programs in first nations of subarctic Canada: the benefits go beyond addressing food security and environmental sustainability issues. *International journal of*

- environmental research and public health*, 17(21), 8113.
- Urrútia, G., & Bonfill, X. (2010). Declaración PRISMA: una propuesta para mejorar la publicación de revisiones sistemáticas y metaanálisis. *Medicina Clínica*, 135, 507-511.
- Vallverdú-Coll, N., López-Antia, A., Martínez-Haro, M., Ortiz-Santaliestra, M. E., & Mateo, R. (2015). Altered immune response in mallard ducklings exposed to lead through maternal transfer in the wild. *Environmental Pollution*, 205, 350-356.
- Vallverdú-Coll, N., Mateo, R., Mougeot, F., & Ortiz-Santaliestra, M. E. (2019). Immunotoxic effects of lead on birds. *Science of the total environment*, 689, 505-515.
- Vallverdú-Coll, N., Mougeot, F., Ortiz-Santaliestra, M. E., Rodríguez-Estival, J., López-Antia, A., & Mateo, R. (2016). Lead exposure reduces carotenoid-based coloration and constitutive immunity in wild mallards. *Environmental toxicology and chemistry*, 35(6), 1516-1525.
- Valverde, I., Espín, S., Navas, I., María-Mojica, P., Gil, J. M., & García-Fernández, A. J. (2019). Lead exposure in common shelduck (*Tadorna tadorna*): tracking the success of the Pb shot ban for hunting in Spanish wetlands. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 106, 147-151. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2019.05.002>
- Van Der Merwe, D., Carpenter, J. W., Nietfeld, J. C., & Miesner, J. F. (2011). Adverse health effects in Canada geese (*Branta canadensis*) associated with waste from zinc and lead mines in the Tri-State Mining District (Kansas, Oklahoma, and Missouri, USA). *Journal of wildlife diseases*, 47(3), 650-660.
- Wang, F., Xu, S., Zhou, Y., Wang, P., & Zhang, X. (2017). Trace element exposure of whooper swans (*Cygnus cygnus*) wintering in a marine lagoon (Swan Lake), northern China. *Marine pollution bulletin*, 119(2), 60-67.
- Wilson, H. M., Flint, P. L., & Powell, A. N. (2007). Coupling contaminants with demography: effects of lead and selenium in Pacific common eiders. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, 26(7), 1410-1417.
- Wilson, H. M., Flint, P. L., Moran, C. L., & Powell, A. N. (2007). Survival of breeding Pacific common eiders on the Yukon-Kuskokwim Delta, Alaska. *The Journal of wildlife management*, 71(2), 403-410. <https://doi.org/10.2193/2005-776>
- Wood, K. A., Brown, M. J., Cromie, R. L., Hilton, G. M., Mackenzie, C., Newth, J. L., Pain, D., Perrins, C., & Rees, E. C. (2019). Regulation of lead fishing weights results in mute swan population recovery. *Biological Conservation*, 230, 67-74. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.12.010>



# Aplicación de la minería de datos en el marketing usando el análisis de sentimientos de los clientes e-commerce

## Application of data mining in marketing using e-commerce customer sentiment analysis

Recibido: junio 06 de 2024 | Revisado: junio 14 de 2024 | Aceptado: junio 22 de 2024

IVAN PETRLIK AZABACHE<sup>1</sup>  
JOSÉ COVEÑAS LALUPU<sup>1</sup>  
WILFREDO CARRANZA BARRENA<sup>1</sup>  
LUZ TORRES-TALAVERANO<sup>2</sup>

### RESUMEN

En este estudio se desarrolló y aplicó el análisis de sentimientos respecto a los productos tecnológicos en la red social Twitter/X, asimismo, se determinó las opiniones expresadas por los clientes donde finalmente se identificó el modelo predictivo más conveniente derivado del Machine Learning. Para ello, se recolectaron 7102 tweets relacionados a los productos de Apple y Samsung, empleando la metodología propuesta por Erl, Khattak y Buhler la cual facilitó la implementación de sus fases críticas. Los resultados obtenidos del análisis de sentimientos se evaluaron mediante métricas estándar como Accuracy, Precision, Recall y F1-Score, aplicadas a cuatro modelos de aprendizaje automático: K-Nearest Neighbors (KNN), Logistic Regression (LR), Random Forest (RF) y CatBoost Classifier (CC). De estos, el CatBoost Classifier demostró ser el más efectivo, logrando un 89% en Accuracy, 90% en Precision, 89% en Recall y 88% en F1-Score. Se concluyó que el modelo CatBoost Classifier fue el un modelo óptimo para analizar los sentimientos en Twitter/X, debido a su capacidad de proporcionar insights valiosos sobre la percepción de los productos tecnológicos promocionados permitiendo la eficacia en las campañas de marketing digital.

**Palabras clave:** Minería de datos, análisis de sentimientos, aprendizaje automático, e-commerce

### ABSTRACT

In this study, sentiment analysis was developed and applied to technological products in the Twitter/X social network, also, the opinions expressed by customers were determined and finally the most suitable predictive model derived from Machine Learning was identified. For this purpose, 7102 tweets related to Apple and Samsung products were collected, using the methodology proposed by Erl, Khattak and Buhler which facilitated the implementation of its critical phases. The results obtained from sentiment analysis were evaluated using standard metrics such as Accuracy, Precision, Recall and F1-Score, applied to four machine learning models: K-Nearest Neighbors (KNN), Logistic Regression (LR), Random Forest (RF) and CatBoost Classifier (CC). Of these, the CatBoost Classifier proved to be the most effective, achieving 89% in Accuracy, 90% in Precision, 89% in Recall and 88% in F1-Score. It was concluded that the CatBoost Classifier model was the optimal model for analyzing sentiment on Twitter/X, due to its ability to provide valuable insights into the perception of promoted technology products enabling effectiveness in digital marketing campaigns.

**Keywords:** Data mining, sentiment analysis, machine learning, e-commerce

1 Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima, Perú

2 Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú

Autor de correspondencia:  
ipetrlrik@unfv.edu.pe

© Los autores. Este artículo es publicado por la Revista Campus de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de San Martín de Porres. Este artículo se distribuye en los términos de la Licencia Creative Commons Atribución No-Comercial – Compartir-Igual 4.0 Internacional (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite el uso no comercial, distribución y reproducción en cualquier medio siempre que la obra original sea debidamente citada. Para uso comercial contactar a: [revistacampus@usmp.pe](mailto:revistacampus@usmp.pe).

<https://doi.org/10.24265/campus.2024.v29n37.08>

## Introducción

En los últimos años, se ha observado un aumento significativo en el uso de la Inteligencia Artificial que es una ciencia moderna que pretende crear máquinas que imitan la inteligencia humana en diferentes sectores industriales y de servicios, marcando un hito importante en esta disciplina y sus aplicaciones (Sadeq et al., 2023). Este crecimiento ha dado lugar a desarrollos espectaculares que abarcan cada vez más aspectos de la vida diaria. Entre los sectores transformados por este avance masivo de la Inteligencia Artificial, destaca la evolución en el ámbito del consumo masivo y retail, particularmente en actividades relacionadas con el marketing de productos y publicidad personalizada. Según Medina-Chicaiza y Martínez-Ortega (2020), el marketing se beneficia de las tecnologías de la Inteligencia Artificial, especialmente al utilizar el análisis de mercado y los datos provenientes de la investigación de las necesidades y experiencias del consumidor. La automatización del marketing permite a las empresas mejorar la interacción con su mercado objetivo y aumentar la eficiencia. Es relevante destacar que, según estos autores, la tecnología más utilizada es el aprendizaje automático, que, como sostiene Deisenroth et al. (2020), representa la última innovación en una larga serie de esfuerzos destinados a sintetizar conocimiento y pensamiento lógico en un formato adecuado para la creación de sistemas y máquinas automatizadas. Adicionalmente, Mar et al. (2023) indican que los consumidores frecuentemente evalúan productos y servicios basándose en las opiniones de otros consumidores del mismo producto.

Las nuevas tendencias de marketing para las empresas enfatizan el uso de

las redes sociales como un canal clave para comunicar acciones corporativas, principalmente debido a su enorme potencial para establecer relaciones con los clientes, según Ramona et al. (2018). Esta tendencia se debe a la facilidad con la que se pueden entender y desarrollar estrategias de marketing, así como a la gran disponibilidad de datos. A lo largo de la historia de los negocios, las empresas de productos de consumo masivo han enfrentado constantemente el desafío de comprender las necesidades y opiniones de sus consumidores. La actividad de escuchar se ha convertido en una parte fundamental del proceso de creación de valor de estas compañías. Con el avance de Internet y los medios sociales, el e-marketing ha ganado relevancia, desplazando a las herramientas de marketing tradicionales para un público más alejado del mundo digital, como destacan Marín y Botey (2022). Es importante mencionar que, anteriormente, esta actividad se realizaba de forma manual, utilizando herramientas como encuestas o estudios de opinión. Sin embargo, a pesar de que estas alternativas son consideradas clásicas en los estudios de público y han sido fundamentales para el marketing tradicional, presentan un riesgo elevado de sesgos y pueden perder de vista la verdadera opinión del público. Generalmente, estos métodos entregan resultados con un desfase temporal y a un costo alto, según Mendivelso y Lobos (2019).

Según Taherdoost y Madanchian (2023), diversas empresas invierten considerablemente en investigaciones de mercado para comprender las preferencias y deseos de sus clientes. Además, se predice que la inversión en análisis de datos aumentará un 60% en 2023. La función del marketing siempre ha sido captar la

atención de los clientes y mantener a raya a la competencia. Para ello, las empresas han estado continuamente rediseñando sus estrategias e introduciendo nuevas técnicas para mejorar la atención al cliente. El uso generalizado de las redes sociales ha permitido que un gran número de usuarios de todo el mundo comparta información, como creencias sobre temas y opiniones de productos y servicios, lo que representa una oportunidad importante para las organizaciones de obtener información valiosa sobre el comportamiento del cliente, según Nagarkar et al. (2020). De acuerdo con Herrera-Contreras et al. (2021), Twitter/X se destaca como una de las plataformas más utilizadas globalmente, generando alrededor de 250 millones de tweets diarios, lo que la convierte en el medio idóneo para la aplicación de la minería de opiniones y el análisis de sentimiento.

La presente investigación tiene como objetivo general: desarrollar y aplicar el Análisis de Sentimientos sobre productos tecnológicos en la red social Twitter/X. Los objetivos específicos son: determinar las opiniones expresadas por los clientes e identificar el modelo predictivo más conveniente derivado del Machine Learning.

La investigación aborda la necesidad de obtener información rápida y precisa sobre los resultados de campañas publicitarias recién lanzadas, con el objetivo de evaluar la efectividad de las estrategias de marketing implementadas por empresas que promocionan productos o servicios. Se centra especialmente en explorar las opiniones y reacciones de los usuarios en la red social Twitter/X, empleando tecnologías de Machine Learning y modelos predictivos. Este

enfoque permite analizar las preferencias y críticas de los usuarios hacia los productos o servicios promocionados. La situación planteada brinda la oportunidad de aplicar tecnología avanzada en el campo de la Inteligencia Artificial y herramientas de gestión de contenidos para realizar estudios semánticos y neurolingüísticos, profundizando en el análisis de opiniones y sentimientos de los consumidores.

A continuación, se presentan los antecedentes de la respectiva investigación basado en el análisis de sentimientos de clientes con respecto a diferentes productos, servicios o situaciones, utilizando los modelos de Machine Learning:

En el 2023, se logró comparar diversos modelos supervisados de aprendizaje automático para evaluar cómo los consumidores expresan sus sentimientos. Para ello, se empleó una metodología basada en Inteligencia Artificial que incorporó técnicas de aprendizaje automático, procesamiento del lenguaje natural y análisis de sentimientos. Los datos analizados consistían en comentarios de clientes sobre productos de una tienda de ropa para mujeres. Los resultados revelaron que los modelos lograron una precisión en el rango del 80% al 90%. Específicamente, se encontró que el modelo de regresión logística fue el más preciso, obteniendo una exactitud del 90% (Loukili et al., 2023). De igual forma, Sangeetha y Kumaran (2023) presentaron como solución al análisis de sentimientos aplicado a los consumidores, tomando en cuenta sus opiniones con respecto a los productos o servicios con el propósito de identificar patrones de comportamientos a través de la aplicación de un modelo RNN-LSTM

en la clasificación según su polaridad adecuada. El método propuesto se ha evaluado utilizando los datos recopilados de las reseñas de productos en línea de Amazon.com. El software MATLAB se utilizó para el trabajo propuesto. A partir de los resultados experimentales, el PCCHH-RNNLSTM propuesto demostró mejoras considerables de 95,8% de exactitud, 95,4% de precisión, 95,6% de recuperación y 95,2% de medida F, respectivamente.

En 2022, Sinnasamy y Sjaif (2022) realizaron un experimento que abordó la descripción de productos en Amazon, combinado con el análisis de sentimientos para comprender las preferencias expresadas en las opiniones, con el objetivo de evaluar los servicios, la información y la calidad de los productos. La metodología empleada incluyó un flujo de procesos que comenzó con la recopilación de datos, seguido de la extracción de características, la clasificación de sentimientos y la evaluación de métricas. Los resultados se obtuvieron mediante cuatro métodos de clasificación, utilizando N-Grams para calcular métricas como accuracy, precisión, recall y F1-Score. El método TF-IDF con N-Gram reveló que el modelo SVM alcanzó un accuracy del 82.27%, una precisión del 82%, un recall del 80% y un F1-Score del 72%. Por otra parte, Alroobaea (2022) se enfocó en analizar las opiniones sobre productos de Amazon desde diversos ámbitos empresariales y sociales, aplicando el análisis de sentimientos. El objetivo del estudio fue predecir los sentimientos de los autores utilizando un modelo de red neuronal recurrente (RNN) para clasificar tres conjuntos de datos de reseñas de Amazon (data 1, data 2 y data 3). La metodología incluyó las fases

de adquisición de los datos de Amazon, preprocesamiento, inclusión de palabras y clasificación de las reseñas en positivas o negativas, empleando un modelo RNN propuesto y comparándolo con otros modelos. Los resultados mostraron que el RNN tuvo un mejor accuracy comparado con otros modelos, alcanzando un 85% en data 1, y 70% en data 2 y data 3.

Seguidamente, Zhao et al. (2021) identificaron dificultades en prever con precisión el grado de polaridad de las opiniones de los usuarios en grandes cantidades de compras en línea a través de plataformas de comercio electrónico, atribuidas a cambios en la longitud de la secuencia, el orden del texto y la compleja lógica involucrada. El objetivo de su estudio fue desarrollar un nuevo algoritmo optimizado de aprendizaje automático para el análisis de sentimientos en reseñas de productos en línea. La metodología implementada incluyó la recopilación de datos, el preprocesamiento y la extracción de características. Los resultados destacaron que el algoritmo LSIBA-ENN superó a los algoritmos de primera categoría en la clasificación de sentimientos. Además, se observó que la ENN predominante, utilizando el esquema LTF-MICF propuesto, alcanzó una recuperación del 87.79%, superando los resultados obtenidos por la ENN con otros esquemas como W2V, TF, TF-IDF y TF-DFS, los cuales lograron 83.55, 84.03, 85.48 y 86.04 puntos respectivamente.

Posteriormente, Bansal y Srivastava (2018) evidenciaron un avance en el comercio electrónico al enfatizar la importancia de las opiniones de los consumidores. Estas opiniones fueron analizadas y clasificadas mediante la extracción de datos y el análisis de

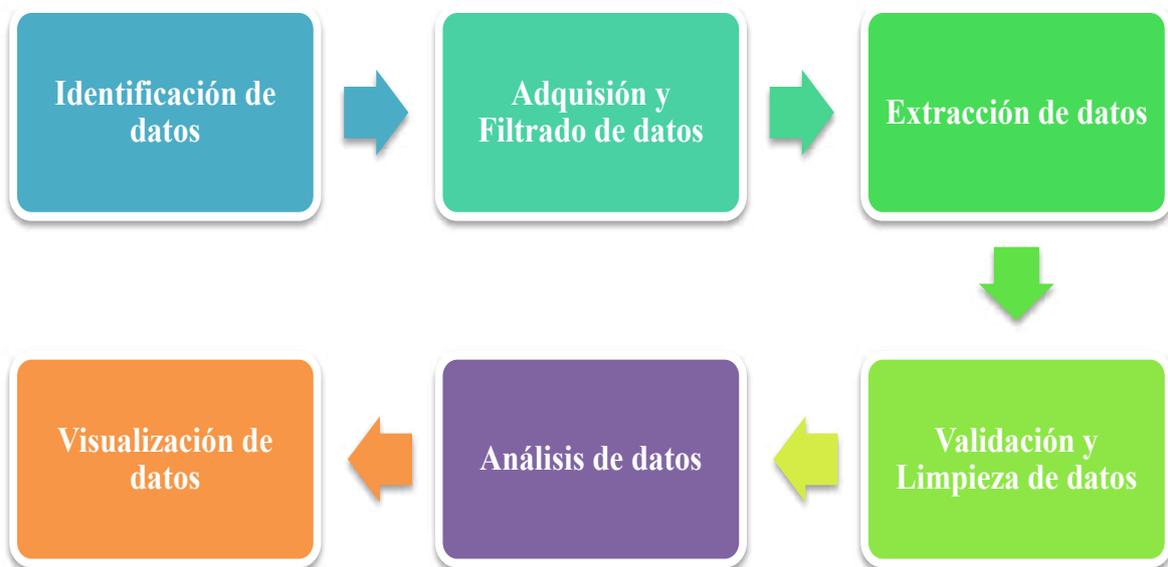
sentimientos utilizando técnicas de Machine Learning. El objetivo principal fue transformar las opiniones en representaciones vectoriales usando el modelo Word2Vec para su clasificación. La metodología empleada incluyó la descripción de un conjunto de datos de 400,000 registros de opiniones sobre teléfonos móviles. Además, el proceso abarcó etapas como el preprocesamiento, la identificación de características similares con Word2Vec, la clasificación de sentimientos y la evaluación de métricas. Los resultados mostraron que el modelo Word2Vec, aplicado con los métodos CBOw y Skip-Gram junto con algoritmos de Machine Learning y una validación cruzada de 10 veces, logró clasificar con éxito las reseñas de los clientes, alcanzando una precisión

superior al 90.66% con el algoritmo Random Forest y el método CBOw.

### Método

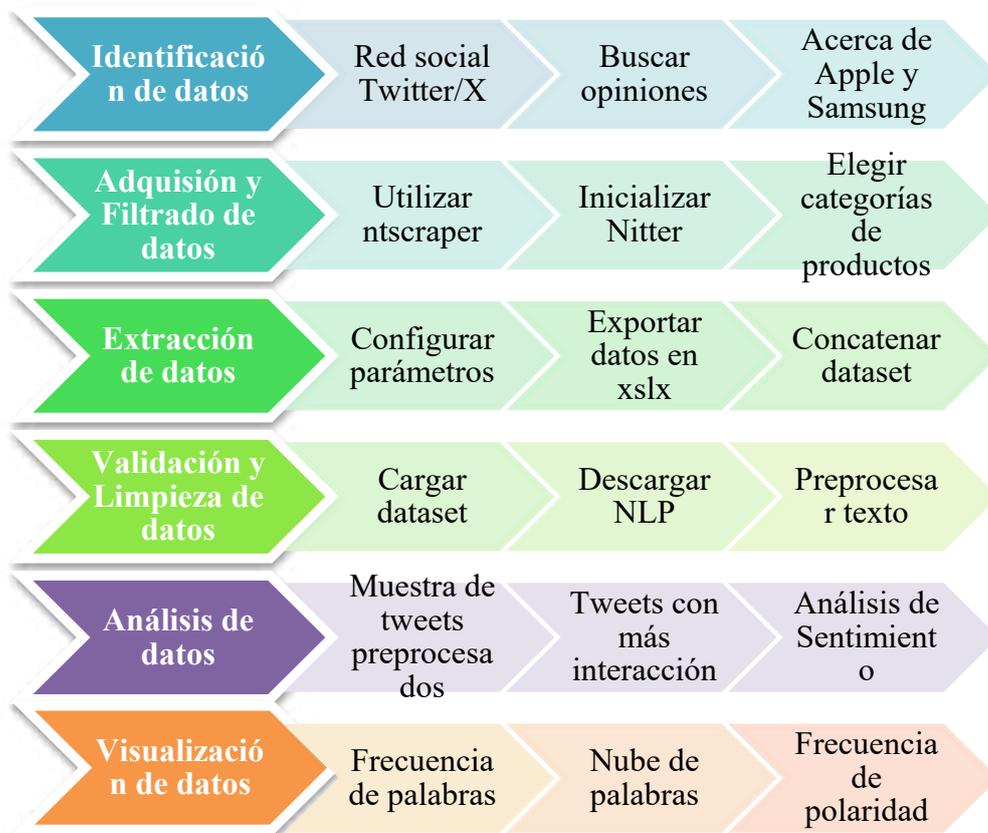
La metodología desarrollada para la minería de datos está basada en la propuesta de Erl et al. (2016), la cual aborda características propias del Big Data como grandes volúmenes de datos, velocidad y variedad de datos. Sin embargo, en el contexto de esta investigación, solo se emplearán seis fases. Esta metodología simplificada es ampliamente utilizada en la minería de datos (Plaza et al., 2022), y se ajusta de manera óptima al ciclo de vida de analítica de datos. La metodología del presente estudio está adecuada según los requerimientos de la investigación, las cuales se presentan en la Figura 1.

**Figura 1**  
*Fases de la metodología de investigación*



Asimismo, en la Figura 2 se muestra el detalle de cada una de las fases y sus actividades respectivas.

**Figura 2**  
*Flujo metodológico de la investigación*



A continuación, se detalla cada una de las fases de la respectiva metodología.

### A. Identificación de datos

En esta primera fase, se realizó una exploración del conjunto de datos. Yannis et al. (2018) argumentan que este respectivo flujo de trabajo permite identificar una mayor variedad de fuentes de datos, en las cuales se pueden encontrar patrones y correlaciones ocultas. Además, en este proceso se identificaron datos de productos electrónicos en la red social Twitter/X que, según Kamath (2024) es un servicio de microblogging y redes sociales ofrecido por Twitter Inc, expresados en tweets de opiniones de productos de aparatos tecnológicos de las marcas Apple y Samsung.

### B. Adquisición y filtrado de datos

En la fase de Adquisición y Filtrado de Datos, Erl et al. (2016) sostienen que se realiza una meticulosa recolección de información proveniente de todas las fuentes identificadas previamente. Por ende, las fuentes identificadas son las instancias de Nitter que son variantes de Twitter/X que proporcionan una interfaz amigable en el proceso de extracción a través de la biblioteca NtScraper, la cual es una herramienta especializada para este fin. Seguidamente, se realizó un filtrado de datos que un proceso mediante el cual se selecciona una fracción del conjunto total de datos para su visualización o análisis (Capurso, 2021). Esta fracción representa las categorías específicas de productos, de la marca Apple, las

cuales se encuentran sus categorías Mac, iPad, iPhone, Tablet, Smart Watch y Accesorios; y de Samsung; Smartphone, Tablet, Smart Watch y Accesorios, debido a la destacada presencia de tweets en la

red social Twitter/X relacionadas con estas mismas. A continuación, en la Tabla 1, se muestra cada una de las actividades de esta fase.

**Tabla 1**

*Actividades de la fase de adquisición y filtrado de datos*

Actividad	Descripción
Instalación <i>Ntscraper</i>	La herramienta <i>ntscraper</i> se incorpora al entorno de Google Colaboratory mediante el comando <code>!pip</code> , asegurando una instalación directa y eficiente desde el repositorio de PyPI (Python Package Index).
Importación Librerías	Se introducen dos bibliotecas fundamentales: <i>Nitter</i> para la interacción con instancias de <i>Nitter</i> para la obtención de tweets, y <i>pandas</i> , reconocida por su versatilidad, para la manipulación y análisis de datos.
Inicialización Nitter	Se crea una instancia de la clase <i>Nitter</i> , estableciendo parámetros clave. En este contexto, <code>log_level=1</code> configura el nivel de registro para proporcionar información durante la ejecución del código, y <code>skip_intance_check=False</code> asegura que no se omita la verificación de instancias de <i>Nitter</i> .

### C. Extracción de datos

La respectiva fase es un proceso de extracción de datos. Está diseñada para recolectar información de manera eficiente a partir de diversas fuentes externas (Han et al., 2022). Su enfoque principal es recolectar datos de diversas fuentes y convertirlos en un formato

compatible con la solución de análisis de datos que se utiliza (Erl et al., 2016). Por consiguiente, en la Tabla 2, se especifica la fase de Extracción de Datos, que consiste en la configuración de parámetros de la librería *ntscraper*, la exportación de datos en formato `xlsx` y la concatenación del dataset.

**Tabla 2**

*Actividades de la fase de extracción de datos*

Actividad	Descripción
Configurar parámetros de la librería <i>ntscraper</i>	Se definen cuidadosamente los parámetros de la librería <i>ntscraper</i> , estableciendo límites de 6000 tweets, en idioma inglés y un rango de fechas desde enero de 2018 hasta diciembre de 2023. La información clave extraída abarca el enlace de origen, el texto de tweet, la fecha de publicación, así como el recuento de likes, comentarios y retweets. Este proceso se replica para cada categoría de productos de ambas empresas.
Exportar datos	Se elige el formato <code>xlsx</code> para la exportación del datasets, fundamentado en la presencia de caracteres especiales y emojis en algunos tweets.
Concatenar dataset	Se consolida un dataset combinado que abarca los tweets relacionados con Apple y Samsung. Este conjunto de datos global desempeña un papel fundamental en el proceso de validación y limpieza de datos, garantizando la integridad y calidad del análisis.

Seguidamente en la Tabla 3, se muestra el número de tweets que se extrajeron en base a cada categoría de productos relacionados a Apple y Samsung.

**Tabla 3**

*Cantidad de tweets por cada dataset*

Categoría de producto	Tamaño del dataset
Apple Mac	5798
Apple iPad	899
Apple iPhone	53
Smart Watch Apple	4
Tablet Apple	6
Apple Accesories	57
Samsung Smartphone	208
Samsung Tablet	55
Smart Watch Samsung	13
Samsung Accesories	9

Por lo tanto, se deduce que esta fase asegura la disponibilidad de datasets completos y listos para realizar análisis exhaustivos sobre la percepción del usuario en las redes sociales en relación con los productos de Apple y Samsung.

**Tabla 4**

*Actividades de la fase de validación y limpieza de datos*

Actividad	Descripción
Cargar dataset global	La importación de datos se realiza desde un archivo Excel mediante la utilización de la biblioteca <i>pandas</i> . Se realiza una exploración inicial del dataset y se identifica la presencia de posibles valores nulos.
Descargar recursos NLP	Se procede a la instalación de la biblioteca <i>emoji</i> para la gestión eficaz de emojis en el texto. Asimismo, se importan librerías fundamentales para el procesamiento de texto, y se descargan recursos adicionales para el Procesamiento de Lenguaje Natural (NLP) a través de la biblioteca <i>nlk</i> .
Realizar el preprocesamiento de texto	Se define una función específica diseñada para llevar a cabo la limpieza y preprocesamiento en el texto de los tweets. Este proceso incluye desde la eliminación de enlaces y caracteres especiales hasta la conversión de emojis a descripciones de sentimientos. Se aplica la tokenización y eliminación de <i>stopwords</i> en inglés para contribuir en la estructura del texto de manera más coherente.

## D. Validación y limpieza de datos

Según Erl et al. (2016), en esta fase se implementan reglas de validación, a menudo complejas, con el objetivo de detectar y eliminar aquellos datos que no se ajustan a los estándares definidos. Además, Naga et al. (2023) afirman que la limpieza de los datos abarca diversas actividades, entre las que se incluyen la gestión de información faltante y la eliminación de datos irrelevantes o atípicos. Específicamente en la investigación, se implementaron tres procedimientos que involucran la carga del dataset a nivel global, la descarga de recursos NLP y, especialmente, el preprocesamiento de texto, este último considerado como el más importante; de acuerdo con Haddi et al. (2013), es esencial el análisis de sentimientos para la clasificación de textos dado que los textos suelen contener ruido, etiquetas, guiones y anuncios, además permite reducir dicho ruido, lo que a su vez mejora el rendimiento y la precisión de la clasificación. Se detalla cada una de las actividades en la Tabla 4 para facilitar un mejor entendimiento.

A continuación, en la Tabla 5, se presenta la descripción detallada del conjunto de datos global 'tweets\_

ecommerce\_products.xlsx' proporcionando una visión concreta de los datos que se utilizan en la investigación.

**Tabla 5**

*Descripción del conjunto de datos global*

Descripción	Valor
Rango en años de los datos	2018 – 2023
Nombre del archivo	tweets_ecommerce_products
Formato de archivo	xlsx
Número total de tweets	7102
Campos del dataset	twitter_link, text, date, likes, comments, retweets
Tipo de datos	int64 y object
Cantidad de valores nulos	0
Tamaño de filas y columnas	7102 filas y 6 columnas
Tamaño del archivo	736 KB (754,601 bytes)

### E. Análisis de datos

La etapa de análisis de datos implica aplicar diversas técnicas de evaluación, a menudo de manera iterativa, especialmente en análisis exploratorios, hasta hallar patrones o correlaciones claves (Erl et al., 2016). Considerando estos principios conceptuales en esta fase, se

realizaron tres actividades, que involucran la carga del dataset global, la descarga de recursos NLP, y, especialmente, el preprocesamiento de texto, este último considerado como el más importante. Se detalla cada una de las actividades en la Tabla 6 para facilitar un mejor entendimiento.

**Tabla 6**

*Actividades de la fase de análisis de datos*

Actividad	Descripción
Explorar de forma aleatoria los tweets preprocesados	Se opta por seleccionar una muestra aleatoria de 10 tweets preprocesados, proporcionando así una visión representativa del conjunto de datos.
Explorar tweets con mayor interacción	Se procede a identificar los tweets que han generado la mayor cantidad de comentarios, likes y retweets en el conjunto de datos. Utilizando la biblioteca <i>tabulate</i> , se presenta esta información en una tabla que incluye el tipo de interacción, la cantidad correspondiente y el texto preprocesado del tweet.
Aplicar el Análisis de Sentimiento	En este procedimiento se emplea la biblioteca <i>TextBlob</i> para realizar el Análisis de Sentimiento en el conjunto de tweets preprocesados. Para ello, se crea la función <i>analyse_sentiment</i> la cual asigna una etiqueta de sentimiento (positivo, negativo o neutro) y un puntaje de sentimiento a cada tweet.

## F. Visualización de datos

Esta fase abarca diversas representaciones gráficas para un adecuado análisis de los tweets preprocesados. De acuerdo con la Tabla 7 se especifica la creación de gráficas de tipo barras y nube

de palabras con el objetivo de explorar la frecuencia de palabras en los tweets, identificar patrones específicos de palabras para diferentes tipos de sentimientos y analizar la distribución de los puntajes de sentimiento en el conjunto de datos.

**Tabla 7**

*Descripción de la fase de visualización de datos*

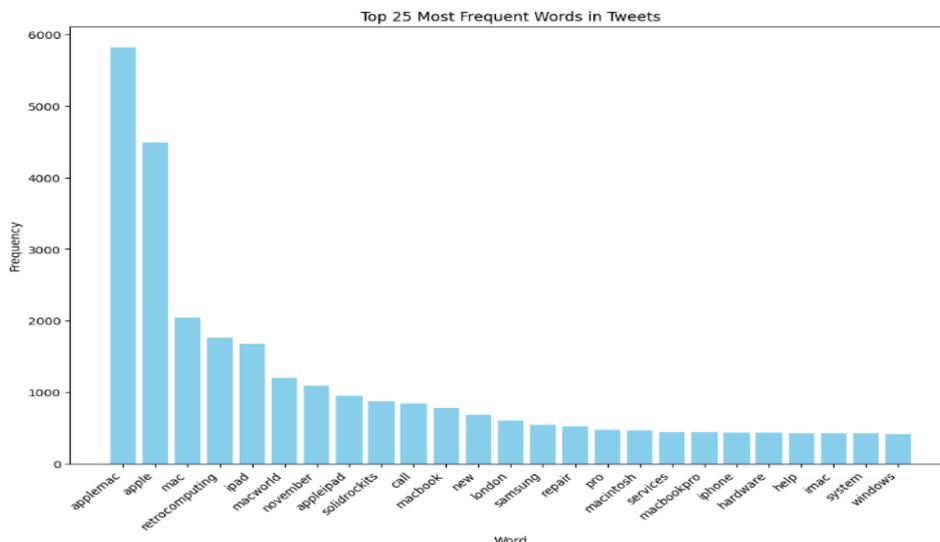
Gráfico	Descripción
Gráfico de barras según la Frecuencia de Palabras	Realiza la tokenización del texto en cada tweet con el fin de calcular la frecuencia de cada palabra y se visualizan las 25 palabras más frecuentes en una gráfica de barras.
Gráfico de barras según la Frecuencia de Palabras para el Tipo de Sentimiento	Define la función <i>calculate_word_frequency</i> que calcula la frecuencia de palabras para un tipo de sentimiento específico. Para ello, se generan gráficas de barras separadas para palabras frecuentes en tweets positivos, negativos y neutros.
Nube de palabras según la Frecuencia de Palabras	Utiliza la librería <i>WordCloud</i> para generar una nube de palabras que representa la frecuencia de palabras en todos los tweets preprocesados.
Nubes de palabras según la Frecuencia de palabras para el Tipo de Sentimiento	Define la función <i>generate_wordcloud</i> , la cual crea nubes de palabras para cada tipo de sentimiento (positivo, negativo, neutral).
Gráfico de barras para identificar la Frecuencia de Polaridad	Crea un histograma que muestra la frecuencia de los puntajes de sentimiento (Polaridad).

En la Figura 3, se visualiza el gráfico de barras que destaca la Frecuencia de

Palabras en los tweets preprocesados del conjunto de datos.

**Figura 3**

*Gráfico de barras según la Frecuencia de Palabras*

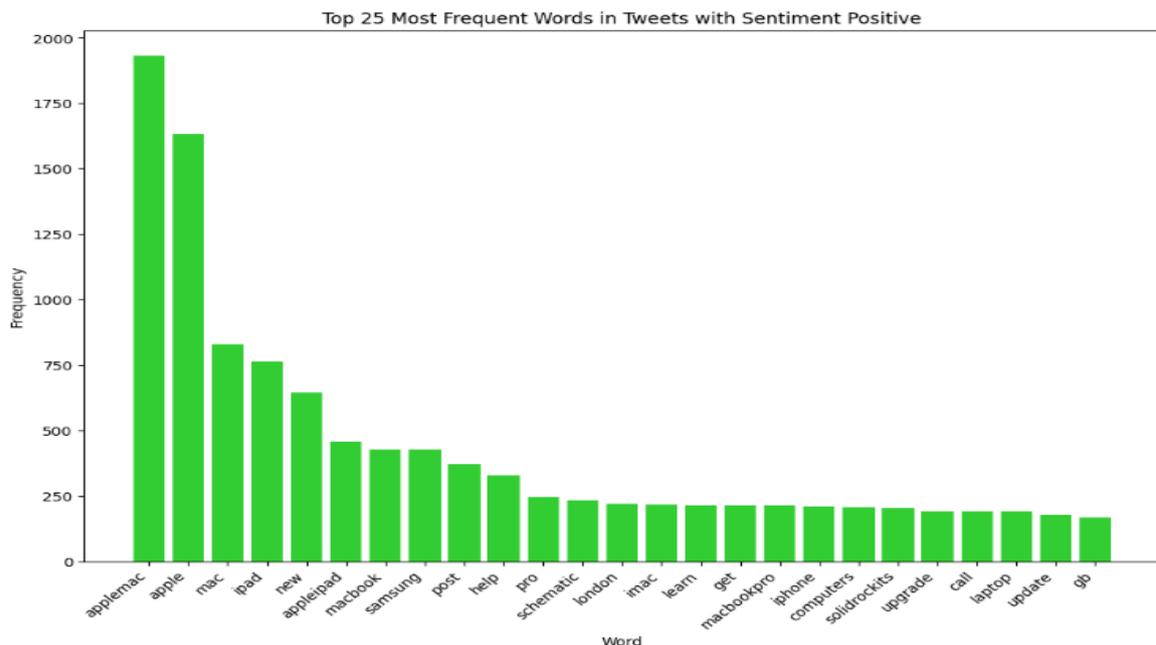


De acuerdo con la Figura 3, se observa un claro dominio de temas relacionados con productos de Apple, evidenciado por términos como *'applemac'*, *'apple'*, *'mac'*, *'ipad'*, *'macbook'* e *'iphone'*. Además, se identifican palabras que indican eventos o tendencias específicas, como *'retrocomputing'*, *'november'* y *'london'*. Por otra parte, la presencia de términos como *'repair'*, *'services'* y *'help'* sugiere

discusiones sobre servicios de reparación o asistencia técnica, proporcionando posibles problemas o consultas de los usuarios. Asimismo, la inclusión de *'samsung'* señala la presencia de productos de la competencia, permitiendo una visión comparativa entre Apple y Samsung. En la Figura 15, se observa el gráfico de barras según la Frecuencia de Palabras para el Tipo de Sentimiento *'positive'*.

**Figura 4**

Gráfico de barras según la Frecuencia de Palabras para el Tipo de Sentimiento *'positive'*

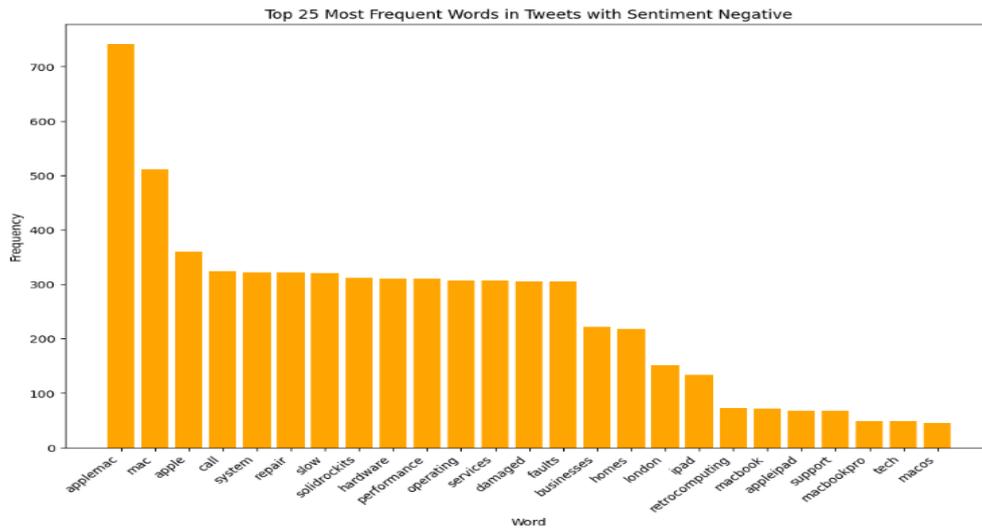


De acuerdo con la Figura 4, las palabras clave *'applemac'* y *'apple'* lideran la lista, indicando una clara asociación positiva con los productos de Apple. Además, términos específicos como *'mac,' 'ipad,'* y *'macbook'* sugieren menciones directas a productos, indicando que los usuarios expresan opiniones positivas sobre dispositivos específicos. Por otra parte, las palabras como *'post,' 'help,'* y *'learn'* indican interacciones positivas, donde

los usuarios comparten información útil y buscan aprender más. En contraste, de términos como *'new,' 'upgrade,'* y *'update'* señalan la discusión de novedades y mejoras, características comunes en tweets positivos sobre productos tecnológicos.

En la Figura 5, se muestra el gráfico de barras según la Frecuencia de Palabras para el Tipo de Sentimiento *'negative'*.

**Figura 5**  
Gráfico de barras según la Frecuencia de Palabras para el Tipo de Sentimiento ‘negative’

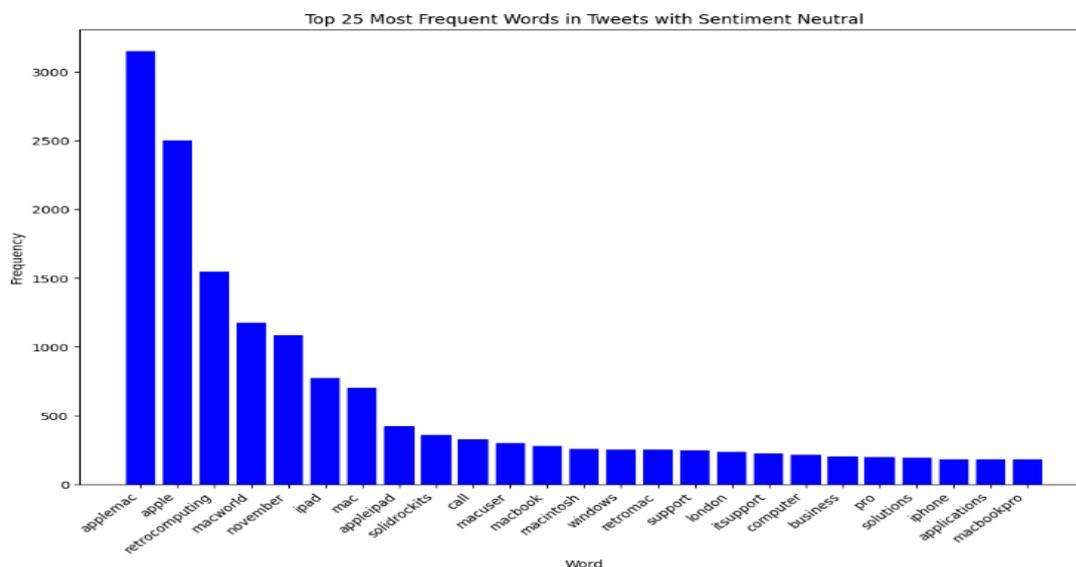


De acuerdo con la Figura 5, se visualiza la presencia prominente de términos como ‘applemac,’ ‘mac,’ y ‘apple’ en tweets negativos la cual sugiere problemas o insatisfacciones que están asociados principalmente con productos de la marca Apple. Además, las palabras clave como ‘call,’ ‘system,’ y ‘repair’ indican que los clientes pueden estar experimentando dificultades técnicas o problemas operativos, lo que puede requerir atención inmediata de servicio

al cliente o mejoras en los productos. Por otra parte, la repetición de palabras como ‘slow,’ ‘damaged,’ y ‘faults’ resalta posibles preocupaciones sobre el rendimiento y la calidad de los productos, ofreciendo una orientación clara sobre las áreas de enfoque para resolver problemas y garantizar la satisfacción del cliente.

En la Figura 6, se muestra el gráfico de barras según la Frecuencia de Palabras para el Tipo de Sentimiento ‘neutral’.

**Figura 6**  
Gráfico de barras según la Frecuencia de Palabras para el Tipo de Sentimiento ‘neutral’

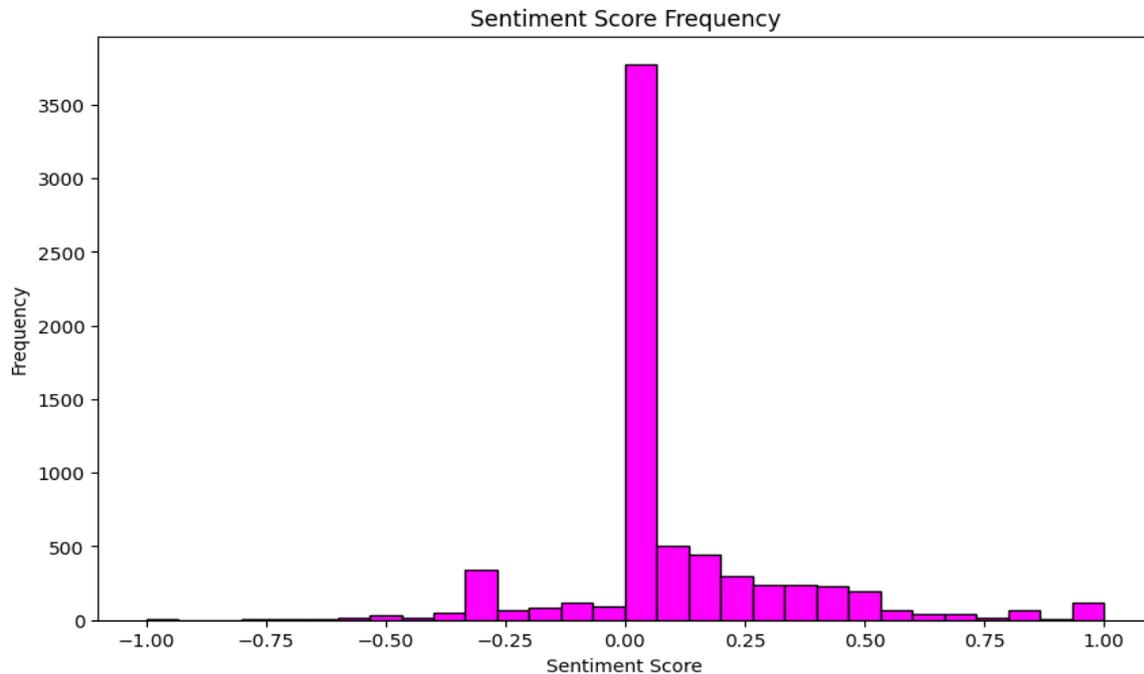








**Figura 11**  
*Gráfico de barras de la Frecuencia de Polaridad*



### Resultados

En esta sección, se examinan los resultados derivados de la aplicación de modelos predictivos en el Análisis de Sentimientos, bajo el enfoque del Machine Learning, utilizando un conjunto de datos extraídos de Twitter/X, referentes a productos tecnológicos de las marcas Apple y Samsung.

A continuación, en la Figura 12 se detalla el desarrollo del enfoque de Machine Learning, a través de un experimento que incluye varias fases críticas. Este proceso comienza con la división del conjunto de datos en partes

de entrenamiento y prueba, seguido de la extracción de características utilizando la técnica TF-IDF. Posteriormente, se procede a la creación y entrenamiento de varios modelos de clasificación. Una vez entrenados, estos modelos se emplean para realizar predicciones sobre el conjunto de prueba, cuyo rendimiento se evalúa mediante métricas clave como Accuracy, Precision, Recall y F1-Score. Además, se utilizan herramientas de evaluación como la Matriz de Confusión y la Curva AUC-ROC para una comprensión más detallada de los resultados. Este procedimiento se lleva a cabo de manera secuencial, siguiendo el orden establecido.

**Figura 12**  
*Fases del enfoque de Machine Learning*

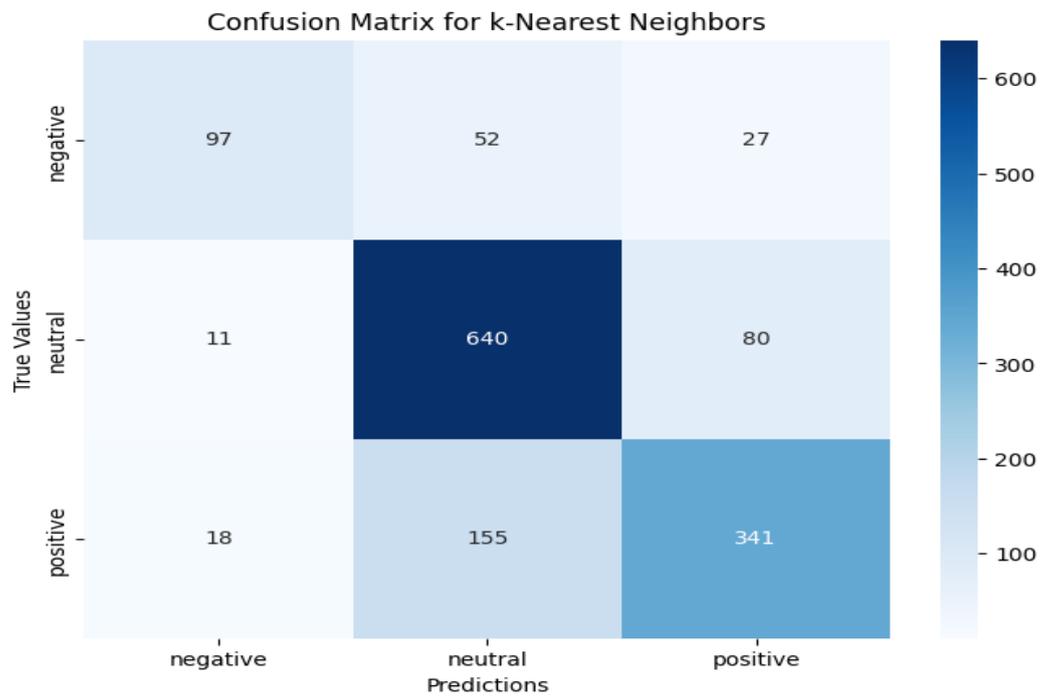


En las Figuras 13, 14, 15 y 16 se presenta la Matriz de Confusión correspondiente a los modelos k-Nearest Neighbors, Logistic Regression, Random Forest y CatBoost Classifier, respectivamente. Estas visualizaciones ofrecen una representación detallada de los resultados de la clasificación, mostrando la cantidad de predicciones correctas e incorrectas

para cada clase. Cada celda de la matriz indica el número de instancias clasificadas correctamente (diagonal principal) y las clasificaciones erróneas (fuera de la diagonal principal), proporcionando una comprensión más profunda del rendimiento de cada modelo en la tarea de análisis de sentimientos.

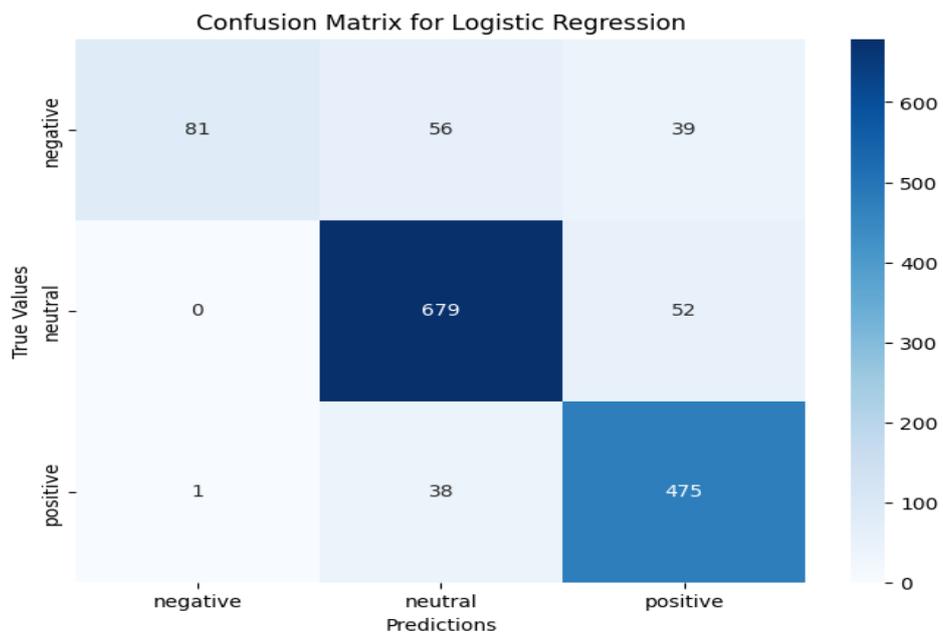
**Figura 13**

*Matriz de confusión para el modelo k-Nearest Neighbors*

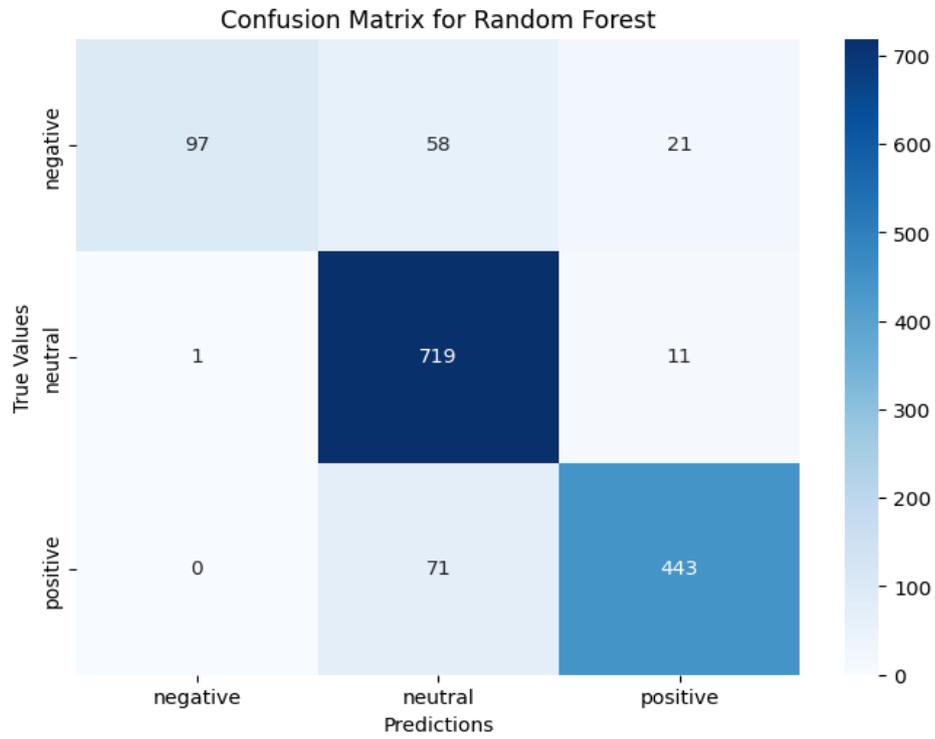


**Figura 14**

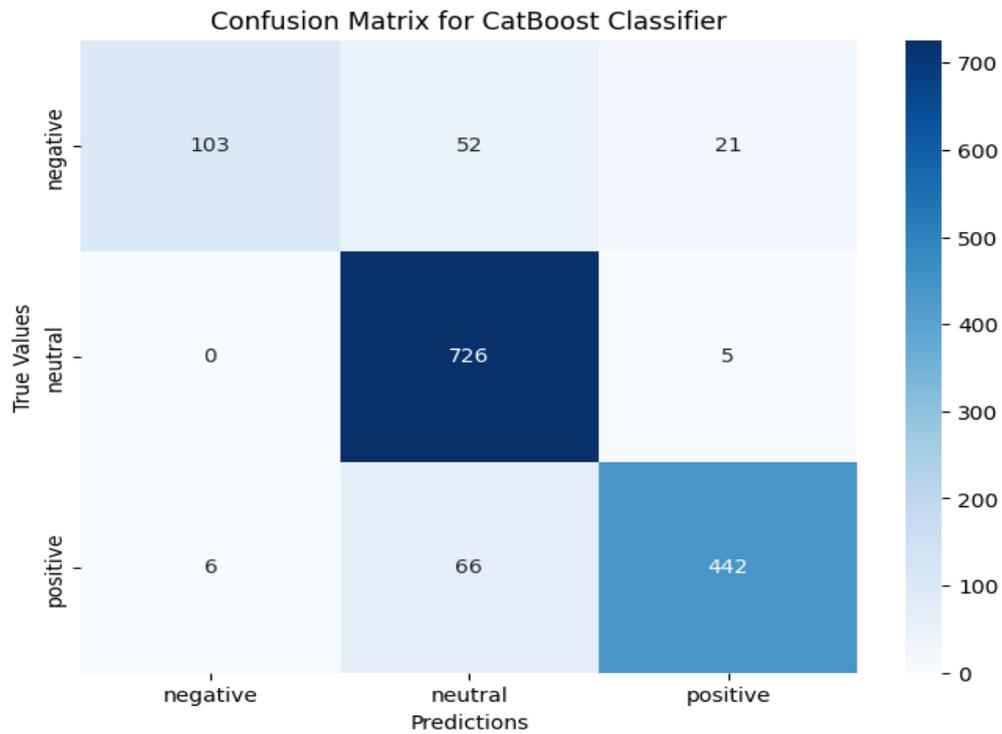
*Matriz de confusión para el modelo Logistic Regression*



**Figura 15**  
*Matriz de Confusión para el modelo Random Forest*



**Figura 16**  
*Matriz de confusión para el modelo CatBoost Classifier*



En la Tabla 8 se presentan los resultados de las métricas clave para los diferentes modelos de clasificación aplicados al análisis de sentimientos en datos de e-commerce. Estas métricas incluyen Accuracy, Precision, Recall y F1-Score, proporcionando una visión integral del rendimiento de cada modelo.

A partir de ello, se deduce que, para el modelo k-Nearest Neighbors, se observa un Accuracy del 75.86%, indicando una capacidad moderada para clasificar opiniones. La precisión y el recall exhiben valores equilibrados, sugiriendo una capacidad aceptable tanto para identificar sentimientos positivos como negativos, con un F1-Score del 75.33%. En el caso de la Regresión Logística, se destaca su

impresionante Accuracy del 86.91%, indicando una capacidad sobresaliente para realizar predicciones precisas. Las métricas de precisión y recall son equilibradas, resultando en un alto F1-Score del 86.04%. El modelo Random Forest logra un notable Accuracy del 88.60%, demostrando una capacidad robusta para clasificar sentimientos en datos de e-commerce. Las métricas de Precision y Recall son elevadas, resultando en un F1-Score del 88.02%. Finalmente, el CatBoost Classifier lidera con un Accuracy del 89.44%, posicionándose como el modelo más preciso en la clasificación de sentimientos. Exhibe altos valores de Precisión y Recall, con un destacado F1-Score del 88.94%.

**Tabla 8**

*Resultados de las métricas claves*

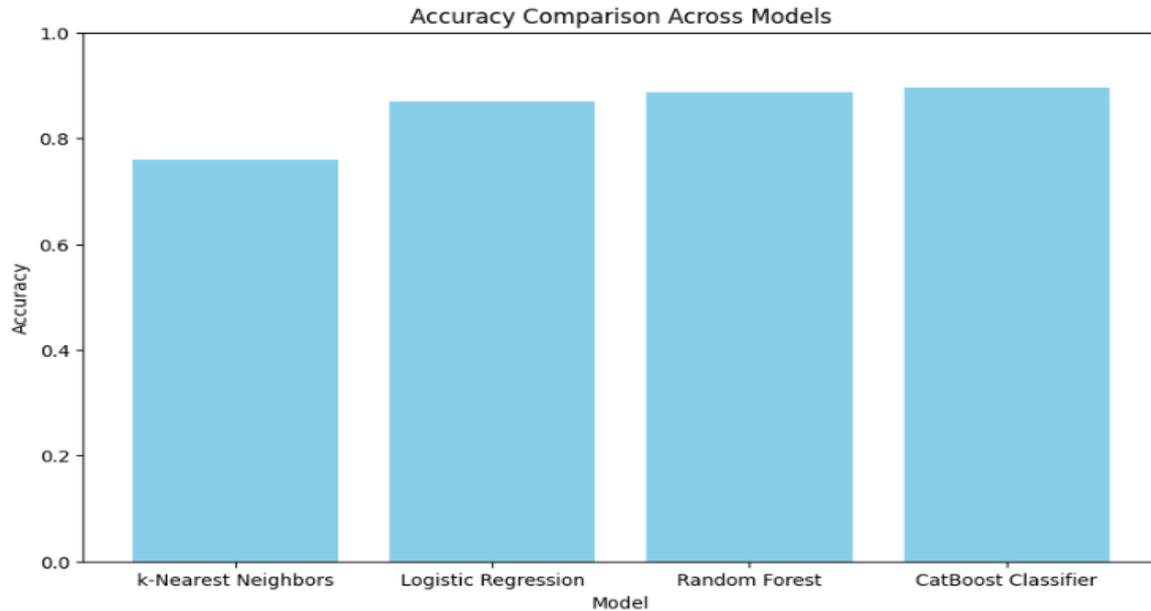
<b>Modelo</b>	<b>Accuracy</b>	<b>Precision</b>	<b>Recall</b>	<b>F1-Score</b>
k-Nearest Neighbors	0.758621	0.759379	0.758621	0.753278
Logistic Regression	0.869106	0.877777	0.869106	0.860436
Random Forest	0.885996	0.896112	0.885996	0.880230
CatBoost Classifier	0.894441	0.901165	0.894441	0.889396

En la Figura 17, se presenta una comparación visual del accuracy de los modelos k-Nearest Neighbors, Logistic Regression, Random Forest y CatBoost Classifier. Estos resultados reflejan la capacidad de cada modelo para realizar predicciones precisas en la tarea de análisis de sentimientos en el contexto del e-commerce. En consecuencia, se destaca que el CatBoost Classifier lidera con un impresionante nivel de accuracy, alcanzando el valor más alto entre los modelos evaluados.

Este resultado subraya la eficacia del CatBoost Classifier en la clasificación de sentimientos en comparación con los otros modelos. Mientras que el k-Nearest Neighbors muestra una capacidad moderada, los modelos Logistic Regression y Random Forest también demuestran un rendimiento destacado, especialmente el Random Forest, que se sitúa como el segundo modelo con la accuracy más elevada.

**Figura 17**

*Comparación de Accuracy de los modelos k-Nearest Neighbors, Logistic Regression, Random Forest y CatBoost Classifier*



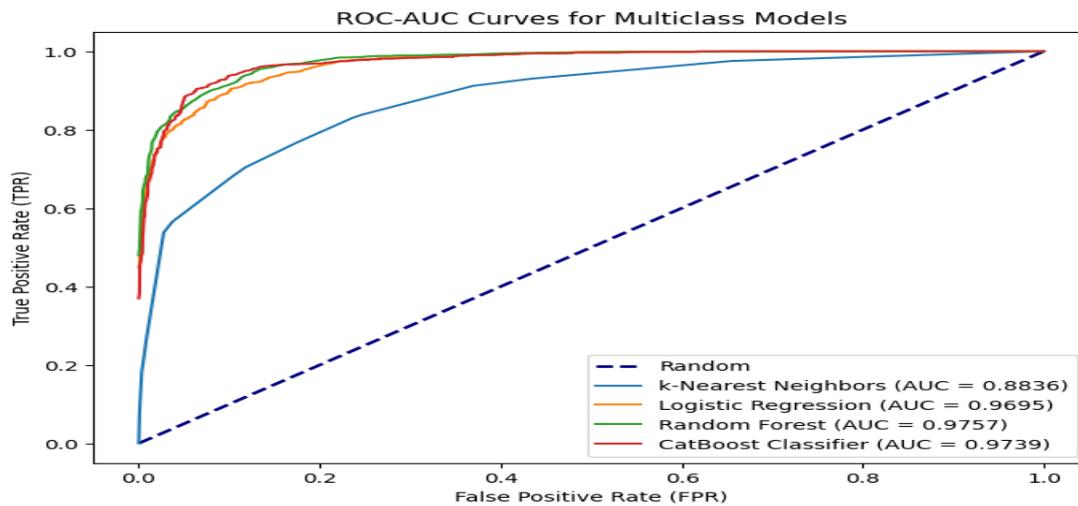
En la Figura 18 se presentan las curvas ROC-AUC de los modelos K-Nearest Neighbors, Logistic Regression, Random Forest y CatBoost Classifier. Estas curvas ofrecen una evaluación más detallada del rendimiento de los modelos en términos de equilibrio entre la tasa de falsos positivos y la tasa de verdaderos positivos. Los resultados destacan especialmente el modelo Random Forest, en la cual, obtiene la curva ROC-AUC más alta entre los modelos evaluados, indicando una capacidad superior para discriminar entre las clases de sentimientos. Por otra parte, los modelos Logistic Regression y CatBoost Classifier también muestran desempeños notables con valores de

ROC-AUC cercanos, lo que sugiere una eficacia consistente en la clasificación de sentimientos.

En contraste, con el modelo k-Nearest Neighbors, aunque presenta un valor de ROC-AUC más bajo en comparación con los otros modelos, aún muestra una capacidad considerable para distinguir entre las clases. Por ende, esta gráfica proporciona una visualización crucial para comprender la capacidad de los modelos en la clasificación de sentimientos y facilita la comparación entre ellos, contribuyendo a una toma de decisiones informada en la elección del modelo más adecuado para la tarea en el contexto del e-commerce.

**Figura 18**

*Curva ROC-AUC de los modelos k-Nearest Neighbors, Logistic Regression, Random Forest y CatBoost Classifier*

**Discusión**

La investigación de Loukili et al. (2023) se centró en realizar un análisis para comparar los resultados (Accuracy, Precision, Recall y F1-Score) de los modelos de K-Nearest Neighbors, Logistic Regression, Random Forest y CatBoost Classifier, basándose en una revisión detallada de la Matriz de Confusión y las Curvas AUC-ROC. Los modelos que obtuvieron los valores más altos fueron Logistic Regression, con un Accuracy del 90%, y Random Forest, con una Precision del 91%, mientras que Logistic Regression también destacó con un 78% en Recall y un 81% en F1-Score. En contraste, la presente investigación, que también incluyó una comparación de modelos como K-Nearest Neighbors, Logistic Regression, Random Forest y CatBoost Classifier considerando una revisión de la Matriz de Confusión y las Curvas de AUC-ROC, encontró que el modelo CatBoost Classifier alcanzó valores altos en todas las métricas: 89% de Accuracy, 90% de Precision, 89% de Recall y 88% de F1-Score.

Si comparamos ambas investigaciones respecto a las métricas, los resultados del Accuracy y Precision no son favorables y una mejora en el Recall del 10.8% y F1-Score del 7.54% para la presente investigación. En la evaluación de las curvas ROC-AUC, ambas investigaciones destacan la capacidad discriminativa de los modelos de análisis de sentimientos en el ámbito de e-commerce. En este estudio, los modelos muestran valores de ROC-AUC que oscilan entre 0.8836 y 0.9757, siendo el Random Forest el modelo con el valor más alto, seguido de cerca por el CatBoost Classifier y el Logistic Regression. En contraste con la investigación previa, presenta valores desde 0.56227 hasta 0.93627, con el Logistic Regression liderando en términos de capacidad discriminativa, seguido por el Random Forest y el CatBoost Classifier. Es importante señalar que, a pesar de las diferencias en los valores exactos, ambos estudios subrayan la efectividad de los modelos en distinguir entre las clases de sentimientos en el contexto del e-commerce. Por lo tanto, las curvas ROC-AUC proporcionan una representación

visual del equilibrio entre la tasa de falsos positivos y la tasa de verdaderos positivos para cada modelo, contribuyendo así a la comprensión integral de su rendimiento en la tarea de análisis de sentimientos.

Asimismo, en la investigación de Bansal y Srivastava (2018), se realizó un análisis de sentimientos utilizando el algoritmo más óptimo, a través de una comparación de modelos que incluía Random Forest, SVM, Logistic Regression y Naive Bayes. Entre ellos, el modelo Random Forest se destacó, alcanzando un Accuracy del 90.2161% con Skip Gram y del 90.6622% con CBOW. En contraste, la presente investigación logró un Accuracy de 89.4441% usando el modelo CatBoost Classifier. Al comparar ambas investigaciones respecto a la métrica de Accuracy, los resultados no fueron favorables para la presente investigación; no obstante, hay una mejora significativa en la curva ROC-AUC, en donde la presente investigación logró un valor de 0.9739 para el modelo CatBoost Classifier y de la investigación previa fue de 0.93 para Random Forest (Skip Gram) y 0.94 para Random Forest (CBOW). Esto indica que, aunque el Accuracy puede ser un indicador importante, no debe ser el único criterio de evaluación. En este caso, la capacidad del modelo para clasificar correctamente los sentimientos, representada por la curva ROC-AUC, también es fundamental.

A continuación, en la investigación de Sinnasamy y Sjaif (2022) en la que se realizó un análisis de sentimientos para comprender las preferencias expresadas en las opiniones, con el propósito de evaluar los servicios, la información y la calidad de los productos, se obtuvieron cuatro modelos de clasificación: Accuracy,

Precisión, Recall y F1-Score. El método TF-IDF con N-Gram reveló un unigrama, que favoreció al modelo Decision Tree, alcanzando un Accuracy de 82.27%. Por otro lado, el modelo SVM obtuvo mejores valores en Precisión (82%), Recall (80%) y F1-Score (72%), contrastando con la presente investigación, que también desarrolló una comparación de modelos en el análisis de sentimientos, empleando el modelo CatBoost Classifier con valores destacados en sus métricas de 89% en Accuracy, 90% en Precisión, 89% en Recall y 88% en F1-Score. Comparando ambas investigaciones en cuanto a métricas, los resultados del CatBoost Classifier muestran una mejora del 6.73% en Accuracy, 8% en Precisión, 9% en Recall y 16% en F1-Score.

Seguidamente, en la investigación de Ramona et al. (2018), se logró recopilar opiniones sobre ofertas localizadas en Twitter/X. Durante este proceso, realizaron un análisis de sentimientos utilizando algoritmos de Machine Learning con 2204 tweets, categorizando el 60.2% como neutros, 32.1% como positivos y 7.7% como negativos. En contraste, la presente investigación analizó 7102 tweets y, mediante modelos similares de Machine Learning, clasificó el 51.4% como neutros, 36.9% como positivos y 11.7% como negativos. Comparando ambas investigaciones en términos de la categorización de opiniones a través del análisis de sentimientos, se observa una mejora del 4.8% en las opiniones positivas en la investigación actual

Por otra parte, en la investigación de Sangeetha y Kumaran (2023), presentaron como solución al análisis de sentimientos aplicado a las opiniones de consumidores, de las cuales se ejecutaron un modelo

de Machine Learning en la clasificación según su polaridad correspondiente, el resultado determinó que el modelo RNN-LSTM demostró mejoras de un 95.8% en el Accuracy, 95.4% de Precisión, 95.6% de Recall y 95.2% de F1-Score, contrastando con la presente investigación que también se aplicó el análisis de sentimientos en diferentes tweets y una comparación de modelos de Machine Learning considerando una pérdida del 6.8% de Accuracy, 5.4% de Precisión, 7.6% de Recall y 7.2% de F1-Score.

Finalmente, en la investigación de Zhao et al. (2021), presentaron la dificultad de prever con precisión el grado de polaridad de las opiniones de los usuarios, para ello, aplicaron el análisis de sentimientos a través de un algoritmo optimizado denominado LSIBA- ENN que logró un mejor rendimiento en la clasificación de 83.55% de Accuracy, 84.03% de Precisión, 85.48% de Recall y 86.04% de F1-Score; en contraste con la presente investigación en la que se utilizó el modelo o algoritmo CatBoost Classifier, logró destacar en todas sus métricas. Si se compara, ambas investigaciones respecto a las métricas, los resultados tuvieron una mejora respecto a la presente investigación del Accuracy del 5.45%, Precisión del 5.97%, Recall del 3.52% y F1-Score del 1.96%.

## Conclusiones

Esta investigación concluye que la implementación del análisis de sentimientos para evaluar productos

tecnológicos comentados en la red Twitter/X, ha revelado la capacidad y el potencial de discernir las percepciones de los clientes. Por lo que, esta metodología ha demostrado ser un complemento estratégico valioso en el ámbito del marketing, permitiendo no solo identificar las opiniones y emociones de los usuarios de manera eficaz sino también ofreciendo insights relevantes que enriquecen los estudios de mercado.

Por lo tanto, el Análisis de Sentimientos se posiciona como un proceso necesario para recabar y analizar la información que los clientes opinan sobre la marca en las redes sociales, beneficiando a las empresas tecnológicas que buscan entender mejor y responder a las expectativas de su audiencia.

Asimismo, los recursos del Procesamiento del Lenguaje Natural (PLN) y librerías claves utilizadas facilitaron aplicar técnicas sintácticas y semánticas para comprender la estructura de un texto e identificar su significado. Además, la combinación de dos áreas de la IA, tales como el Procesamiento del Lenguaje Natural (PLN) y Machine Learning permitió realizar el Análisis de Sentimiento de los textos extraídos de la red social Twitter/X.

Finalmente, se logró determinar el modelo predictivo más conveniente a través de las pruebas realizadas con varios modelos, que servirá como patrón para obtener información rápida y precisa sobre los resultados de campañas publicitarias recién lanzadas.

## Referencias

- Alroobaea, R. (2022). Sentiment analysis on Amazon product reviews using the recurrent neural network (RNN). *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 13(4), 37. [https://thesai.org/Downloads/Volume13No4/Paper\\_37-Sentiment\\_Analysis\\_on\\_Amazon\\_Product\\_Reviews.pdf](https://thesai.org/Downloads/Volume13No4/Paper_37-Sentiment_Analysis_on_Amazon_Product_Reviews.pdf)
- Bansal, B., & Srivastava, S. (2018). Sentiment classification of online consumer reviews using word vector representations. *Procedia Computer Science*, 132, 1147-1153. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.05.029>
- Capurso, M. (2021). *Data Science Quick Reference Manual – Methodological Aspects, Data Acquisition, Management and Cleaning: With applications in the Python-based Orange environment*.
- Deisenroth, M., Faisal, A., & Ong, C. (2020). *Mathematics for machine learning*. Cambridge University Press.
- Demircan, M., Seller, A., Abut, F., & Akay, M. (2021). Developing Turkish sentiment analysis models using machine learning and e-commerce data. *International Journal of Cognitive Computing in Engineering*, 2, 202-207. <https://doi.org/10.1016/j.ijcce.2021.11.003>
- Erl, T., Khattak, W., & Buhler, P. (2016). *Big Data Fundamentals: Concepts, Drives and Techniques*. Prentice Hall. <https://dl.icdst.org/pdfs/files3/053e44f660b0c2f405e42ac1f8f1a408.pdf>
- Feizollah, A., Ainin, S., Anuar, N., Abdullah, N., & Hazim, M. (2019). Halal products on Twitter: Data extraction and sentiment analysis using a stack of deep learning algorithms. *IEEE Access*, 7, 83354-83362. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8737773>
- Fernandes, S., Sharma, A., & Vidyasagar, A. (2019). Determining customer perceptions using text mining for an FMCG product 'Maggi' in India. <https://www.ijitee.org/portfolio-item/J97800881019/>
- Haddi, E., Liu, X., & Shi, Y. (2013). The role of text pre-processing in sentiment analysis. *Procedia Computer Science*, 17, 26-32. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2013.05.005>
- Han, J., Pei, J., & Tong, H. (2022). *Data mining: Concepts and techniques*. Morgan Kaufmann.
- Herrera-Contreras, A., Sánchez-Delacruz, E., Meza, I., & Fuentes-Ramos, M. (2021). SASTuit, software de análisis de sentimiento utilizando aprendizaje automático. Unpublished manuscript. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.30772.37764>
- Iqbal, A., Amin, R., Iqbal, J., Alroobaea, R., Binmahfoudh, A., & Hussain, M. (2022). Sentiment analysis of consumer reviews using deep learning.

- ning. *Sustainability*, 14(17), 10844. <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/17/10844>
- Kamath, K. (2024). *Social Media Marketing Essentials*. Vibrant Publishers.
- Loukili, M., Messaoudi, F., & Ghazi, M. (2023). Sentiment analysis of product reviews for E-commerce recommendation based on machine learning. <https://doi.org/10.15849/IJASCA.230320.01>
- Mar, C., Montañez, P., & Simón-Cuevas, A. (2023). Análisis de sentimientos orientado al comercio electrónico de CITMATEL: proyecto de voz del cliente. *Revista Cubana de Transformación Digital*, 4(1), e207-e207. <http://rctd.uic.cu/rctd/article/view/207/109>
- Marín, C., & Botey, M. (2022). Estrategias promocionales de marketing digital en redes sociales: Análisis bibliométrico de estrategias digitales a través de Facebook e Instagram. *revTECHNO*, 12(Monográfico), 1-11. <https://doi.org/10.37467/re-vtechno.v11.4393>
- Medina-Chicaiza, P., & Martínez-Ortega, A. (2020). Tecnologías en la inteligencia artificial para el marketing: Una revisión de la literatura. *Pro Sci.*, 4(30), 36-47. <https://doi.org/10.29018/issn.2588-1000vol4iss30.2020pp36-47>
- Mendivelso, H., & Lobos, F. (2019). La evolución del marketing: una aproximación integral. *Revista Chilena de Economía y Sociedad*. <http://rches.utem.cl/articulos/la-evolucion-del-marketing-una-aproximacion-integral/>
- Nagarkar, P., Khan, A., Raikar, S., & Zantye, A. (2020). Twitter data mining for targeted marketing. In *Second International Conference on Inventive Research in Computing Applications (ICIRCA)* (pp. 44-50). Coimbatore, India. <http://ieeexplore.ieee.org/document/9183005>
- Naga, R., Pratibha, N., Sk althaf, H., & M, Y. (2023). *Data mining: Concepts and Techniques*. First Edition. AG Publishing House
- Plaza, A., Marcillo, J., Hidalgo, J., Anchundia, O., Pilacuan, L., Parrales, A., & Navas, W. (2022). Text mining for analyzing digital consumer behavior on Twitter. 20th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology. [http://laccei.org/LACCEI2022-BocaRaton/full\\_papers/FP772.pdf](http://laccei.org/LACCEI2022-BocaRaton/full_papers/FP772.pdf)
- Ramona, J., Reyes-Menéndez, A., & Palos-Sánchez, P. (2018). Un análisis de sentimiento en Twitter con Machine Learning: Identificando el sentimiento sobre las ofertas de #BlackFriday. *Revista ESPACIOS*, 39(42). <http://www.revistaespacios.com/a18v39n42/18394216.html>
- Sadeq, N., Nassreddine, G., & Younis, J. (2023). Impact of artificial intelligence on E-marketing. *International Journal of Trend in Scientific Research and Development*, 7(1). <https://www.ijtsrd.com/papers/ijtsrd53850.pdf>

- Sangeetha, & Kumaran. (2023). Sentiment analysis of Amazon user reviews using a hybrid approach. *Measurement Sensing*, 27(100790), 100790. <https://doi.org/10.1016/j.measen.2023.100790>
- Sinnasamy, T., & Sjaif, N. (2022). Sentiment analysis using term-based method for customers' reviews in Amazon product. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 13(7). <https://doi.org/10.14569/ijacsa.2022.0130780>
- Taherdoost, H., & Madanchian, M. (2023). Artificial intelligence and sentiment analysis: A review in competitive research. *Computers*, 12(2), 37. <https://www.mdpi.com/2073-431X/12/2/37>
- Yannis, A., Charalampos, M., & Thomas, E. (2018). *The World of Open Data: Concepts, Methods, Tools and Experiences*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-90850-2>
- Zhao, H., Liu, Z., Yao, X., & Yang, Q. (2021). A machine learning-based sentiment analysis of online product reviews with a novel term weighting and feature selection approach. *Information Processing & Management*, 58(5), 102656. <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2021.102656>



# Ingeniería económica circular desde su tecnologización

## Circular economic engineering through technologization

Recibido: junio 06 de 2024 | Revisado: junio 10 de 2024 | Aceptado: junio 15 de 2024

GEOMANIS ARGOTA PÉREZ<sup>1</sup>  
GEORGE ARGOTA PÉREZ<sup>1</sup>

### RESUMEN

La tecnologización de la ingeniería en economía circular enfrenta barreras en adopción y capacitación, generando desigualdades sociales. El objetivo del estudio fue describir la ingeniería económica circular desde su tecnologización. Se realizó una revisión exhaustiva de la literatura científica para identificar y evaluar la relevancia de indicadores clave que fueron: I) innovación tecnológica y sostenibilidad, II) economía circular, III) indicadores socioeconómicos y ambientales, IV) modelo tecnológico de la economía circular, V) desafíos en países en desarrollo, VI) rol de la ingeniería en la economía circular y VII) implicaciones sociales de la economía circular. Los resultados destacan la evaluación de la innovación tecnológica para la sostenibilidad; transición hacia un modelo económico circular; impactos positivos socioeconómicos y ambientales; reducción de costos y oportunidades económicas; barreras tecnológicas en países en desarrollo; papel crucial de la ingeniería en sistemas circulares; implicaciones sociales como la creación de empleo y la inclusión social. Se concluye que la economía circular, impulsada por la innovación tecnológica, promueve la optimización de procesos, la eficiencia en el uso de recursos y soluciones sostenibles; sin embargo, persisten barreras en la adopción tecnológica y la capacitación, señalando la necesidad de adaptar modelos tecnológicos y desarrollar competencias sociales para una transición efectiva hacia la sostenibilidad.

**Palabras clave:** colaboración intersectorial – desarrollo sostenible – economía circular – innovación tecnológica – ingeniería sostenible

### ABSTRACT

The technologization of circular economy engineering faces barriers in adoption and training, generating social inequalities. The aim of the study was to describe circular economic engineering from its technologization. A comprehensive review of the scientific literature was conducted to identify and evaluate the relevance of key indicators, which were: I) technological innovation and sustainability, II) circular economy, III) socio-economic and environmental indicators, IV) technological model of circular economy, V) challenges in developing countries, VI) role of engineering in circular economy, and VII) social implications of circular economy. The results highlight the assessment of technological innovation for sustainability; transition towards a circular economic model; positive socio-economic and environmental impacts; cost reduction and economic opportunities; technological barriers in developing countries; crucial role of engineering in circular systems; social implications such as job creation and social inclusion. It is concluded that circular economy, driven by technological innovation, promotes process optimization, resource efficiency, and sustainable solutions; however, barriers in technological adoption and training persist, indicating the need to adapt technological models and develop social competencies for an effective transition towards sustainability.

<sup>1</sup> Centro de Investigación Avanzada y Formación Superior en Educación, Salud y Medio Ambiente. Ica -Perú

Autor de correspondencia:  
geomanis.argota@gmail.com

**Keywords:** circular economy – cross-sector collaboration – sustainable development – sustainable engineering – technological innovation

© Los autores. Este artículo es publicado por la Revista Campus de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de San Martín de Porres. Este artículo se distribuye en los términos de la Licencia Creative Commons Atribución No-Comercial – Compartir-Igual 4.0 Internacional (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite el uso no comercial, distribución y reproducción en cualquier medio siempre que la obra original sea debidamente citada. Para uso comercial contactar a: [revistacampus@usmp.pe](mailto:revistacampus@usmp.pe).

<https://doi.org/10.24265/campus.2024.v29n37.09>

## Introducción

Desde una perspectiva teórica, la economía circular (EC) se fundamenta en la reconcepción de los sistemas económicos y productivos, buscando minimizar la extracción de recursos, reducir los residuos y fomentar la reutilización y regeneración de productos y materiales. Este enfoque se contrapone al tradicional modelo lineal de producción y consumo, que se caracteriza por la extracción de recursos, la producción, el consumo y la eliminación de residuos. La EC se basa en principios de sostenibilidad ambiental, económica y social, promoviendo la transición hacia un sistema más resiliente y equitativo. La integración de la innovación tecnológica y la ingeniería en la EC busca optimizar los procesos productivos, mejorar la eficiencia en el uso de recursos y facilitar la implementación de prácticas circulares. Esta integración teórica apunta a la creación de sistemas más eficientes, resilientes y sostenibles que puedan responder de manera efectiva a los desafíos ambientales y sociales actuales (Chiappetta et al., 2020; Sassanelli & Terzi, 2022).

Asimismo, desde una perspectiva práctica, la economía circular se traduce en acciones concretas y tangibles que buscan transformar los sistemas productivos y de consumo actuales. Esto implica la implementación de prácticas como el reciclaje, la reutilización y la regeneración de productos y materiales, así como el diseño de productos duraderos, reparables y reciclables. La innovación tecnológica desempeña un papel crucial en la implementación de la economía circular, permitiendo el desarrollo de nuevas tecnologías y soluciones que faciliten la transición hacia un modelo más circular (Rauter et al., 2019).

La ingeniería, por su parte, contribuye al diseño, implementación y gestión de sistemas y procesos que permitan la transición hacia un modelo económico más sostenible y circular. Los ingenieros trabajan en el diseño de procesos y productos sostenibles, la optimización de la eficiencia en el uso de recursos y la integración de tecnologías emergentes para mejorar la sostenibilidad de los sistemas productivos (Klemeš et al., 2023).

A pesar de los avances teóricos y prácticos en la integración de la innovación tecnológica y la ingeniería en la EC, persisten desafíos significativos en la adopción efectiva de prácticas circulares en los sistemas productivos y de consumo. Estos desafíos se reflejan en barreras tecnológicas, limitaciones en la formación y capacitación en habilidades circulares, y la falta de colaboración y enfoque integrado entre los diferentes actores y partes interesadas. Por lo tanto, cómo puede la integración efectiva de la innovación tecnológica y la ingeniería en la EC superar estos desafíos para promover una transición exitosa hacia un modelo económico más sostenible, resiliente y equitativo. El objetivo del estudio fue describir la ingeniería económica circular desde su tecnologización.

## Método

El estudio fue de tipo descriptivo y se desarrolló entre enero y abril de 2024. Se realizó una revisión exhaustiva de la literatura científica para identificar y evaluar la relevancia de indicadores clave en el contexto de la economía circular desde su tecnologización. Se analizó el impacto y las contribuciones específicas a la sostenibilidad y la implementación

de prácticas económicas circulares de los indicadores para una comprensión integral de los avances y desafíos en la aplicación de tecnologías que permitieran la promoción de la economía circular.

Los indicadores que se analizaron fueron: I) innovación tecnológica y sostenibilidad, II) economía circular, III) indicadores socioeconómicos y ambientales, IV) modelo tecnológico de la economía circular, V) desafíos en países en desarrollo, VI) rol de la ingeniería en la economía circular y VII) implicaciones sociales de la economía circular.

Aspectos éticos: Se garantizó la confidencialidad de los datos donde se cumplió con los estándares éticos de citación y uso adecuado del parafraseo para la información.

## Resultados

La Tabla 1 muestra siete indicadores y sus descripciones para la ingeniería económica circular desde su tecnologización. Primero,

se evaluó cómo la innovación tecnológica promueve la sostenibilidad a través de la creación y adaptación de tecnologías. Segundo, se consideró la transición de un modelo económico lineal a uno circular, enfocándose en la reutilización y reciclaje de recursos. Tercero, se analizaron los impactos socioeconómicos y ambientales positivos de la economía circular, optimizando procesos productivos y mejorando la eficiencia de recursos. Cuarto, se exploró cómo el modelo tecnológico de la economía circular puede reducir costos y generar oportunidades económicas. Quinto, se plantea que en los países en desarrollo, se identificaron barreras tecnológicas y de capacidad, subrayando la necesidad de enfoques colaborativos para superarlas. Sexto, se evaluó también el papel crucial de la ingeniería en el diseño y gestión de sistemas circulares mediante tecnologías emergentes. Séptimo, se investigaron las implicaciones sociales de la economía circular, incluyendo la creación de empleo, la inclusión social y la promoción de prácticas comerciales equitativas.

**Tabla 1**

*Indicadores y descripción en la ingeniería económica circular desde su tecnologización*

Indicadores	Descripción
Innovación tecnológica y sostenibilidad	La innovación tecnológica es un motor clave para la sostenibilidad, facilita la creación y adaptación de tecnologías para abordar desafíos de sostenibilidad
Economía circular	Enfoque que promueve la reutilización, regeneración y reciclaje de recursos. Optimiza procesos productivos y reduce impactos ambientales
Indicadores socioeconómicos y ambientales	La economía circular busca generar impactos positivos en el bienestar social, económico y ambiental. Optimiza procesos productivos y promueve la eficiencia de recursos
Modelo tecnológico de la economía circular	Promueve prácticas limpias y eficientes en el uso de recursos, reduce costos y genera oportunidades económicas y de empleo
Desafíos en países en desarrollo	La falta de acceso a tecnologías avanzadas y capacidades limita la implementación de la economía circular. La colaboración entre sectores es crucial para superar estos desafíos

Rol de la ingeniería en la economía circular

La ingeniería es crucial para diseñar y gestionar sistemas que faciliten la transición a un modelo circular. Utiliza tecnologías emergentes como IA e IoT para optimizar la gestión de recursos

Implicaciones sociales de la economía circular

La economía circular puede generar nuevos empleos, fomentar la formación en habilidades circulares y mejorar el acceso a productos sostenibles que promuevan la inclusión social y económica

### Discusión

La sostenibilidad se conceptualiza como un equilibrio dinámico entre el desarrollo económico, la equidad social y la integridad ambiental. Según investigaciones recientes, la innovación tecnológica se posiciona como un motor clave para avanzar hacia la sostenibilidad (Kristoffersen et al., 2020). Esta innovación implica no solo la creación de nuevas tecnologías, sino también la adaptación y aplicación creativa de tecnologías existentes para abordar los desafíos de sostenibilidad.

Factores como el sistema de producción de servicios (González et al., 2019), las tecnologías emergentes como blockchain, la Industria 4.0 (Patil et al., 2023), y la Industria 5.0 (Dwivedi et al., 2023) se identifican como impulsores clave de esta innovación tecnológica, contribuyendo a la optimización de los procesos productivos, la mejora de la eficiencia en el uso de recursos y la creación de soluciones sostenibles.

Sin embargo, a pesar de los avances tecnológicos, se identifica una brecha significativa en la preparación y adopción de estas innovaciones en diversos procesos y servicios. Esta situación subraya la necesidad imperativa de adaptar modelos tecnológicos y desarrollar capacidades y competencias sociales para garantizar una transición efectiva hacia la sostenibilidad. La adaptación de estos modelos

tecnológicos es esencial para asegurar que la innovación tecnológica se traduzca en mejoras tangibles en la sostenibilidad y no conduzca a desigualdades o exclusiones sociales (Sassanelli & Terzi, 2022; Lamperti et al., 2023).

Desde una perspectiva teórica, la mitigación de la huella ecológica se concibe como la reducción del impacto ambiental negativo de las actividades humanas en el medio ambiente, siendo uno de los desafíos más urgentes y prioritarios en la agenda global de sostenibilidad, en vista de la creciente preocupación por el cambio climático, la pérdida de biodiversidad y otros problemas ambientales asociados (Nayak et al., 2019). En este contexto, la Economía Circular (EC) se presenta como un enfoque innovador y transformador que busca reconfigurar los sistemas económicos y de producción actuales, promoviendo la reutilización, regeneración y reciclaje de recursos en contraposición al tradicional modelo lineal de producción y consumo, basado en la extracción, producción, consumo y eliminación de recursos (Matlin et al., 2020; Papamichael et al., 2023). Este enfoque no solo permite aprovechar oportunidades durante la transformación de las fabricaciones, sino que también proporciona respuestas eficientes y sostenibles ante el cambio climático y otros desafíos ambientales.

Es crucial reconocer que la tecnología desempeña un papel crucial como motor

de innovación en los modelos de EC (Issaoui et al., 2022). La innovación tecnológica facilita la transición hacia prácticas más sostenibles y circulares, optimizando los procesos productivos, mejorando la eficiencia en el uso de recursos y promoviendo la implementación de soluciones innovadoras y sostenibles. En este sentido, la EC permite optimizar los procesos productivos, reducir la generación de residuos y promover la eficiencia en el uso de recursos, lo que se traduce en beneficios tangibles como la reducción de costos, la minimización del impacto ambiental y la creación de oportunidades económicas y de empleo (Matlin et al., 2020; Papamichael et al., 2023). Por lo tanto, la tecnología desempeña un papel fundamental en la implementación de la economía circular, facilitando la innovación y el desarrollo de soluciones tecnológicas y prácticas que permitan una transición efectiva hacia un modelo más circular y sostenible (Issaoui et al., 2022).

La economía circular se concibe como un enfoque que se fundamenta en indicadores socioeconómicos y ambientales orientados hacia una sostenibilidad integral (Alhawari et al., 2021). En este contexto, la EC no se limita únicamente a la optimización de los procesos de producción y consumo; más bien, busca generar impactos positivos en el bienestar social, económico y ambiental. Por lo tanto, los sistemas circulares deben trascender la mera incorporación de flujos limitados de reciclaje y reutilización, reconociendo el valor económico desde una perspectiva social y ambientalmente responsable (Pieroni et al., 2019; Alarcón et al., 2020). Esto implica que la EC promueve un enfoque holístico que considera las interconexiones entre

la economía, la sociedad y el medio ambiente, buscando generar beneficios equitativos y sostenibles para todos los actores involucrados.

El diseño de procesos, productos y servicios se presenta como un pilar fundamental en la búsqueda de la sostenibilidad en el contexto de la EC, implicando la reconfiguración y optimización de los sistemas productivos para minimizar el uso de recursos, reducir la generación de residuos y promover la eficiencia en el uso de recursos (Rauter et al., 2019). Asimismo, la implementación de sistemas y prácticas que permitan maximizar la reutilización, regeneración y reciclaje de recursos, y minimizar la generación de residuos y el impacto ambiental asociado, se traduce en beneficios tangibles como la reducción de costos, la optimización de los recursos y la creación de oportunidades económicas y de empleo (Hutchins et al., 2019; Alhawari et al., 2021).

En este contexto, la innovación tecnológica desempeña un papel crucial al facilitar la optimización de los procesos productivos, la mejora de la eficiencia en el uso de recursos y la implementación de soluciones sostenibles y circulares. Por lo tanto, el diseño de procesos, productos y servicios se presenta como un pilar fundamental en la búsqueda de la sostenibilidad en el contexto de la EC, implicando la innovación y la adopción de nuevas tecnologías y prácticas que permitan la reconfiguración de los sistemas productivos hacia modelos más sostenibles (Rauter et al., 2019).

El modelo tecnológico de la EC se concibe como un enfoque que se alinea estrechamente con los objetivos del

desarrollo sostenible, buscando integrar prácticas y tecnologías que contribuyan a la mejora de la sostenibilidad en diversos ámbitos, como el saneamiento, la promoción de energías limpias, la mejora de la productividad y el fomento de un consumo razonable (Schroeder et al., 2019).

En este contexto, el modelo tecnológico de la EC no solo promueve la visibilidad social a través de la competencia de los servicios (Biswas et al., 2019), sino que también prioriza la implementación de prácticas limpias en todo el proceso productivo (Dulia et al., 2021). Esto implica la optimización de los procesos de producción para minimizar el uso de recursos, reducir la generación de residuos y promover la eficiencia en el uso de recursos. Además, este modelo implica la adopción de tecnologías y prácticas que permitan optimizar los procesos de producción, promover la eficiencia en el uso de recursos y reducir el impacto ambiental. Como resultado, se traduce en beneficios tangibles como la reducción de costos, la optimización de los recursos y la creación de oportunidades económicas y de empleo (Schroeder et al., 2019).

Por lo tanto, el modelo tecnológico de la EC promueve la visibilidad social mediante la competencia de los servicios (Biswas et al., 2019), lo que implica que las empresas y organizaciones que adoptan prácticas y tecnologías circulares pueden diferenciarse en el mercado, obteniendo ventajas competitivas y mejorando su reputación y percepción social.

Desde una perspectiva teórica, la economía circular se presenta como una oportunidad única para los países en vías de desarrollo, ofreciendo la posibilidad de aplicar tecnologías sofisticadas y rentables

que permitan una gestión transformable de residuos y promuevan la inclusión social y económica (Serrano et al., 2021). Esta oportunidad implica que la EC puede proporcionar soluciones innovadoras y efectivas para abordar los desafíos asociados con la gestión de residuos, la promoción de la inclusión social y económica, y el desarrollo sostenible en estos contextos.

Sin embargo, las barreras tecnológicas y la falta de capacidades pueden obstaculizar la sostenibilidad de la EC en estos contextos (Ding et al., 2019). Esto significa que la falta de acceso a tecnologías avanzadas, la limitada capacidad técnica y la falta de conocimientos y habilidades pueden limitar la capacidad de los países en vías de desarrollo para implementar y mantener prácticas circulares y sostenibles de manera efectiva.

Por lo tanto, es fundamental adoptar un enfoque colaborativo e inclusivo entre las partes sociales para superar estos desafíos. La colaboración entre el sector tecnológico, los ingenieros, los responsables políticos y la sociedad en general será clave para promover un modelo económico más circular, inclusivo y sostenible (Gunarathne et al., 2019; Radelyuk et al., 2021). Esta colaboración y trabajo conjunto entre diferentes actores y partes interesadas son fundamentales para superar las barreras y desafíos asociados con la implementación de la EC en los países en vías de desarrollo.

La ingeniería desempeña un papel crucial en la implementación y optimización de sistemas circulares en el contexto de la economía circular. Los ingenieros están encargados de diseñar, implementar y gestionar sistemas y

tecnologías que faciliten la transición hacia un modelo económico más sostenible y circular. Esto implica que la ingeniería es esencial para desarrollar soluciones innovadoras y efectivas que aborden los desafíos asociados con la gestión de recursos y la reducción del impacto ambiental. El diseño de procesos y productos sostenibles es fundamental para maximizar la eficiencia de los recursos, minimizar los residuos y reducir el impacto ambiental (Klemeš et al., 2023). Así, los ingenieros desempeñan un papel crucial en la creación de soluciones que permitan utilizar los recursos de manera más eficiente y minimizar el desperdicio en los procesos productivos.

Además, la ingeniería de sistemas y la integración de tecnologías emergentes, como la Inteligencia Artificial (IA) y el Internet de las Cosas (IoT), pueden optimizar la gestión de recursos, mejorar la trazabilidad de los productos y facilitar la implementación de prácticas circulares (Kio et al., 2022). Esto implica que los ingenieros deben adoptar y aplicar tecnologías innovadoras que posibiliten una gestión más eficiente y sostenible de los recursos en los sistemas circulares.

La economía circular se concibe como un enfoque integral que trasciende las consideraciones ambientales y económicas, abordando también importantes implicaciones sociales. La transición hacia un modelo circular implica una transformación profunda de los sistemas de producción y consumo, orientada a reconfigurarlos para que sean más sostenibles y eficientes en el uso de los recursos. Esta transformación no solo tiene el potencial de reducir el impacto ambiental negativo y mejorar la eficiencia económica, sino que también

puede generar nuevos empleos en sectores relacionados con la gestión de residuos, la remanufactura, el reciclaje y la reparación, entre otros (Hutchins et al., 2019).

Adicionalmente, la transición hacia un modelo circular puede fomentar la formación y capacitación en habilidades circulares, dotando a las personas de las competencias necesarias para participar activamente en la economía circular. La EC puede contribuir a la inclusión social y económica al ofrecer oportunidades de empleo inclusivas, mejorar el acceso a productos y servicios sostenibles y promover prácticas comerciales más justas y equitativas (Pieroni et al., 2019; Alarcón et al., 2020).

En este contexto, la EC se presenta como un enfoque holístico que busca generar beneficios sociales, económicos y ambientales de manera equitativa y sostenible. Tal transformación tiene el potencial de generar nuevos empleos en sectores relacionados con la gestión de residuos, la remanufactura, el reciclaje y la reparación, entre otros (Grzymala, 2023). De manera complementaria, la transición hacia un modelo circular puede promover la formación y capacitación en habilidades circulares, proporcionando a las personas las competencias necesarias para participar activamente en la economía circular. Asimismo, la EC puede contribuir a la inclusión social y económica al ofrecer oportunidades de empleo inclusivas, mejorar el acceso a productos y servicios sostenibles y promover prácticas comerciales más justas y equitativas (Kristoffersen et al., 2020). La implementación de la EC se traduce en la generación de beneficios tangibles que mejoran el bienestar social y económico de las comunidades, promoviendo una

mayor inclusión y equidad en la sociedad (Padilla et al., 2021).

Una limitación potencial de este estudio radica en la generalización de los resultados obtenidos a partir de un número limitado de casos de estudio y regiones geográficas específicas. Aunque los hallazgos sugieren un impacto positivo de las tecnologías emergentes en la economía circular, es importante reconocer que las condiciones locales, políticas y socioeconómicas pueden variar significativamente, afectando la implementación y los resultados prácticos. Por ejemplo, las barreras regulatorias y la

disponibilidad de recursos pueden influir en la adopción de estas tecnologías en diferentes contextos.

## Conclusiones

La economía circular, impulsada por la innovación tecnológica, promueve la optimización de procesos, la eficiencia en el uso de recursos y soluciones sostenibles. Sin embargo, persisten barreras en la adopción tecnológica y la capacitación, señalando la necesidad de adaptar modelos tecnológicos y desarrollar competencias sociales para una transición efectiva hacia la sostenibilidad.

## Referencias

- Alarcón, F., Cortés, P.P., Pérez, P.D., & Sanchis, R. (2020). Sustainability vs. circular economy from a disposition decision perspective: A proposal of a methodology and an applied example in SMEs. *Sustainability*; 12, 1-26. <https://doi.org/10.3390/su122310109>
- Alhawari, O., Awan, U., Bhutta, K.S.B, & Ülkü, M.A. (2021). Insights from circular economy literature: A review of extant definitions and unravelling paths to future research. *Sustainability*; 13(2), 859. <https://doi.org/10.3390/su13020859>
- Biswas, R.K., Kabir, E., & Khan, H.T. (2019). Causes of urban migration in Bangladesh: evidence from the urban health survey. *Journal Population Research and Policy Review*; 38(4), 593-614. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11113-019-09532-3>
- Chiappetta, J., Charbel, J., Fiorini, P.C., Ndubisi, N.O., Queiroz, M.M., & Piato, E.L. (2020). Digitally-enabled sustainable supply chains in the 21st century: A review and a research agenda. *Science of The Total Environment*, 725, 138177. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138177>
- Ding, X., Zhou, C., Zhong, W., & Tang, P. (2019). Addressing uncertainty of environmental governance in environmentally sensitive areas in developing countries: a precisestrike and spatial-targeting adaptive governance framework. *Sustainability*; 11(16), 4510. <https://doi.org/10.3390/su11164510>
- Dulia, E.F., Ali, S.M., Garshasbi, M., & Kabir, G. (2021). Admitting risks towards circular economy practices and strategies: an empirical test from supply chain perspective.

- Journal Cleaner Production*; 317, 128420. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128420>
- Dwivedi, A., Agrawal, D.A., Jha, A., & Mathiyazhagan, K. (2023). Studying the interactions among Industry 5.0 and circular supply chain: Towards attaining sustainable development. *Computers & Industrial Engineering*; 176, 108927. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108927>
- González, C.C.A., Romero, D., Rossi, M., Luglietti, R., & Johansson, B. (2019). Circular lean product-service systems design: A literature review, framework proposal and case studies. *Procedia CIRP*, 83, 419-424. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.109>
- Grzymala, Z. (2023). Circular economy as a sustainable development marketing tool. In: I. Gigauri, M. Palazzo, & M. Ferri (Eds.), Handbook of research on achieving sustainable development goals with Sustainable marketing. *IGI Global*, 288-302. <https://doi.org/10.4018/978-1-6684-8681-8.ch015>
- Gunarathne, A.D.N., Tennakoon, T.P.Y.C., & Weragoda, J.R. (2019). Challenges and opportunities for the recycling industry in developing countries: the case of Sri Lanka. *Journal of Material Cycles and Waste Management*; 21(1), 181-190. <http://dx.doi.org/10.1007/s10163-018-0782-x>
- Hutchins, M.J., Richter, J.S., Henry, M.L., & Sutherland, J.W. (2019). Development of indicators for the social dimension of sustainability in a U.S. business context. *Journal of Cleaner Production*; 212, 687-697. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.199>
- Issaoui, M., Jellali, S., Zorpas, A.A., & Dutournie, P. (2022). Membrane technology for sustainable water resources management: Challenges and future projections. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 25, 100590. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2021.100590>
- Kio, P.N., Anumba, C.J., & Ali, A.K. (2022). Circular economy trends – potential role of emerging technologies. *Environmental Earth Sciences*, 1101, 062005. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1101/6/062005>
- Klemeš, J.J., Foley, A., You, F., Aviso, K., Su, R., & Bokhari, A. (2023). Sustainable energy integration within the circular economy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 177, 113143. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.113143>
- Kristoffersen, E., Blomsma, F., Mikalef, P., & Li, J. (2020). The smart circular economy: A digital-enabled circular strategies framework for manufacturing companies. *Journal of Business Research*, 120, 241-261. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.07.044>
- Lamperti, S., Cavallo, A., & Sassanelli, C. (2023). Digital servitization and business model innovation in SMEs:

- A model to escape from market disruption. *IEEE Transactions on Engineering Management*; 99, 1-15. <http://dx.doi.org/10.1109/TEM.2022.3233132>
- Matlin, S.A., Mehta, G., Hopf, H., Krief, A., Keßler, L., & Kümmerer, K. (2020). Material circularity and the role of the chemical sciences as a key enabler of a sustainable post-trash age. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 17, 100312. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2020.100312>
- Nayak, R., Akbari, M., & Maleki, F.M. (2019). Recent sustainable trends in Vietnam's fashion supply chain. *Journal of Cleaner Production*; 25, 291-303. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.239>
- Padilla, R.A., do Carmo, B.B.T., Arcese, G., & Merveille, N. (2021). Social circular economy indicators: Consumption Selection through fuzzy delphi method. *Sustainable Production and*; 26, 101-110. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.09.015>
- Papamichael, I., Voukkali, I., Loizia, P., Pappas, G., & Zorpas, A.A. (2023). Existing tools used in the framework of environmental performance. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*; 32, 101026. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2023.101026>
- Patil, A., Dwivedi, A., & Moktadir, A. (2023). Big data-Industry 4.0 readiness factors for sustainable supply chain management: Towards circularity. *Computers & Industrial Engineering*; 178, 109109. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109109>
- Pieroni, M.P.; McAloone, T., & Pigosso, D.A.C. (2019). Business model innovation for circular economy and sustainability: A review of approaches. *Journal of Cleaner Production*; 215, 198-216. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.036>
- Radelyuk, I., Tussupova, K., Klemes, J.J., & Persson, K.M. (2021). Oil refinery and water pollution in the context of sustainable development: developing and developed countries. *Journal Cleaning Production*; 302, 126987. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126987>
- Rauter, R., Globocnik, D., Vorbach, E.P., & Baumgartner, R.J. (2018). Open innovation and its effects on economic and sustainability innovation performance. *Journal of Innovation & Knowledge*; 4, 226-233. <https://doi.org/10.1016/j.jik.2018.03.004>
- Sassanelli, C., & Terzi, S. (2022). The D-BEST reference model: A flexible and sustainable support for the digital transformation of small and medium enterprises. *Global Journal of Flexible Systems Management*; 23(2), 1-26. <http://dx.doi.org/10.1007/s40171-022-00307-y>
- Schroeder, P., Anggraeni, K., & Weber, U. (2019). The relevance of circular economy practices to the sustainable development goals.

*Journal Industrial Ecological*; 23(1), 77-95. <https://doi.org/10.1111/jiec.12732>

Serrano, T., Aparcana, S., Bakhtiari, F., & Laurent, A. (2021). Contribution of circular economy strategies to

climate change mitigation: generic assessment methodology with focus on developing countries. *Journal of Industrial Ecology*; 25(6), 1382-1397. <https://doi.org/10.1111/jiec.13178>



# Low-cost IoT and computer vision-based on aquaculture monitoring system

## Sistema de monitoreo basado en I o T y visión por computadora de bajo costo para acuicultura

Recibido: junio 04 de 2024 | Revisado: junio 12 de 2024 | Aceptado: junio 18 de 2024

EIRIKU YAMAO<sup>1</sup>

### ABSTRACT

Securing a reliable source of food for the ever-growing population is one of the big challenges for humanity. Demand for aquatic foods will continue to grow and production process in aquaculture needs improvement. A low-cost Internet of Things based system for monitoring hatching and growth of Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) is designed and implemented in a rural area in Peru. Three-layer architecture with sensors and underwater camera based on raspberry pi, Wi-Fi and satellite connection to Internet sends data to cloud services for storage and analysis. The system reduced drastically the manual and time-consuming monitoring tasks related to traditional aquaculture and the data collected will be used to establish optimal growth conditions parameters and future growth predictions.

**Keywords:** Aquaculture, Internet of Things, Computer Vision, Underwater Image Recognition

### RESUMEN

Asegurar una fuente segura de alimentos para la población mundial en constante crecimiento es uno de los grandes retos de la humanidad. La demanda de los alimentos acuáticos continuará aumentando en los próximos años y los procesos de producción requieren mejoras. Un sistema de bajo costo basado en internet de las cosas para monitorear el crecimiento de alevines de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) fue diseñado e implementado en una zona rural de Perú. Una arquitectura de tres capas con sensores y una cámara submarina, conexión Wi-Fi e internet satelital, permiten enviar datos hacia servicios en nube para su almacenamiento y posterior análisis. El sistema redujo drásticamente el tiempo de ejecución de las tareas de monitoreo y la data recolectada servirá para establecer los parámetros de las condiciones óptimas de crecimiento y su predicción en el futuro.

**Palabras clave:** Acuicultura, Internet de las cosas, visión por computadora, Reconocimiento de imágenes bajo el agua

<sup>1</sup> Universidad de San Martín de Porres, La Molina, Lima - Perú

Autor de correspondencia:  
eyamao@usmp.pe

© Los autores. Este artículo es publicado por la Revista Campus de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de San Martín de Porres. Este artículo se distribuye en los términos de la Licencia Creative Commons Atribución No-Comercial – Compartir-Igual 4.0 Internacional (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite el uso no comercial, distribución y reproducción en cualquier medio siempre que la obra original sea debidamente citada. Para uso comercial contactar a: [revistacampus@usmp.pe](mailto:revistacampus@usmp.pe).

<https://doi.org/10.24265/campus.2024.v29n37.10>

## Introduction

Advances in Information Technology, Artificial Intelligence and Data Science drive forward technological improvements and automatization of aquaculture processes such as water quality control, feed optimization, biomass monitoring and growth control (Gladju et al., 2022).

Modern aquaculture technologically supported by Internet of Things (IoT) is intensive, productive and automated via smart sensors and smart camera systems that monitor all aspects of production for a smart and sustainable aquaculture with intelligent prediction, early warning and forecasting, and precision feeding (Maksimovic, 2018).

Challenges associated with the implementation of IoT are: Sensors accuracy drop due to permanent contact with water, lack of reliable network/internet connection, lack of reliable electrical connections, energy consumption optimization, data inaccuracy, lack of policies to ease adoption and high cost of IoT systems (Rastegari et al., 2023).

Conventional fish detection by catching and taking samples requires more energy, cost and time (Asri et al., 2022). Manual data collection leads to human errors and missing values. A smart data acquisition system can automate the real time sampling process to support decision making in aquaculture. Combining smart camera devices with ML and DL algorithms has been used for biomass estimation, species classification, gender detection and quality inspection (Biazi & Marques, 2023).

Image processing techniques have been used in many fields to automate or

enhance manual tasks. In aquaculture, image processing is used for classification, counting, size and weight measurement, disease detection, determine freshness (Awalludin et al., 2020). Recent studies focus on improving image processing in low-light or turbid water conditions (Yuan et al., 2022). Properly configured systems can produce accurate estimates of population mean length with a mean error in the order of 1% (Risholm et al., 2022).

The findings and challenges of computer vision models for fish detection in aquaculture are that the data acquisition is critical. Many studies have conducted their testing using open-source dataset or in an ideal/controlled condition but in real-life conditions surface reflection, poor lighting conditions, sudden changes in illumination (E.g. a cloud passing by) and such is usually not considered in public open-source datasets (Yang et al., 2021)

In less developed countries, adoption of these new technologies has been slow due to the cost of system implementation and technically skilled manpower (Gladju et al., 2022). To improve the aquaculture and fishery sector, to satisfy the increasing demand for food, low-cost, low-energy, widespread and easy-to-use IoT equipment is required (Maksimovic, 2018). This paper presents the experiences of developing and implementing a low-cost smart aquaculture system in a production environment in Peru.

## Methodology

The fish farm is located in an off the grid, rural area in the mountain area in southern Peru. The facility is located next

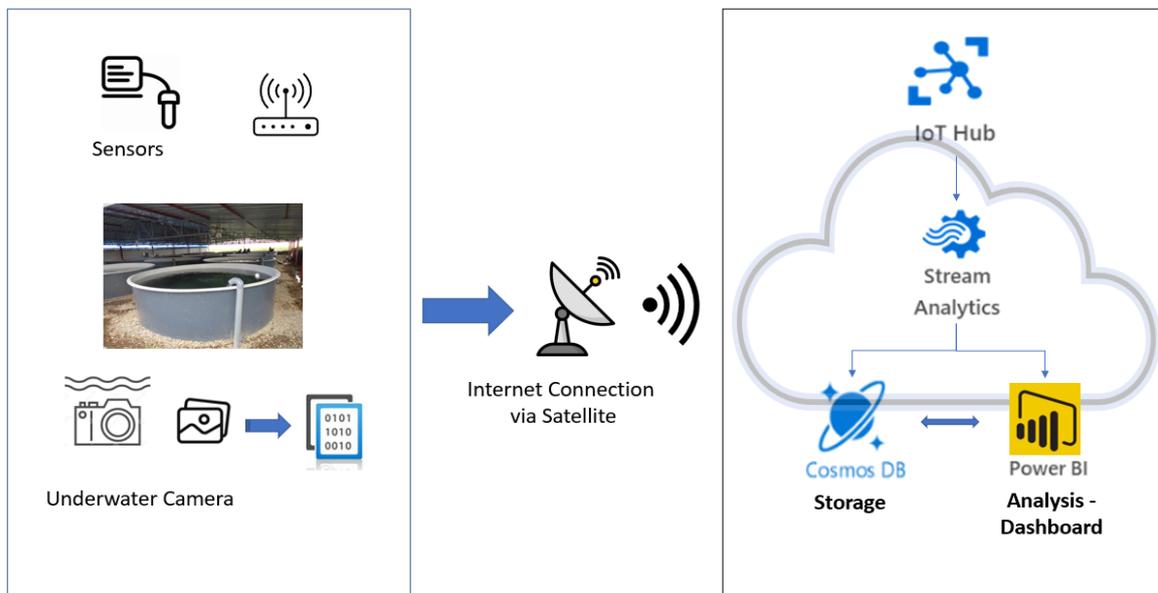
to a natural water spring that is directed towards the fish tanks. Hatching and growth monitoring of rainbow trout - *Oncorhynchus mykiss* is the primary task on this site. The Key challenges include the lack of electricity and internet access. Solar panels and a satellite dish have been installed to overcome this.

The diagram of the system architecture is shown in Figure 1. It uses a three-layer structure: perception layer, networking layer, and application layer (Kumar & Mallick, 2018). The perception layer includes the sensors, underwater camera, and a PC for temporal data storage. Salmonid are subject to problems of reduced growth, reduced condition factor and nephrocalcinosis when they are exposed to high concentration of dissolved

carbon dioxide (Biazi & Marques, 2023), sensors collect data such as Dissolved Oxygen, pH, temperature, salinity, and others.

The Underwater camera is shown in Figure 2. It is based on a Raspberry Pi with the Pi camera and a high-grade camera lens all inside a water-proof casing. The camera is mounted on a frame which secures the passage of fish samples at the same distance. Data collected is also sent to a local PC that works as temporal data storage to prevent data loss due to network instability. Networking layer includes Wi-Fi and internet connection via satellite. Cloud layer includes cloud platform services for data storage and processing.

**Figure 1**  
*System Architecture*



**Figure 2**  
*Underwater camera*

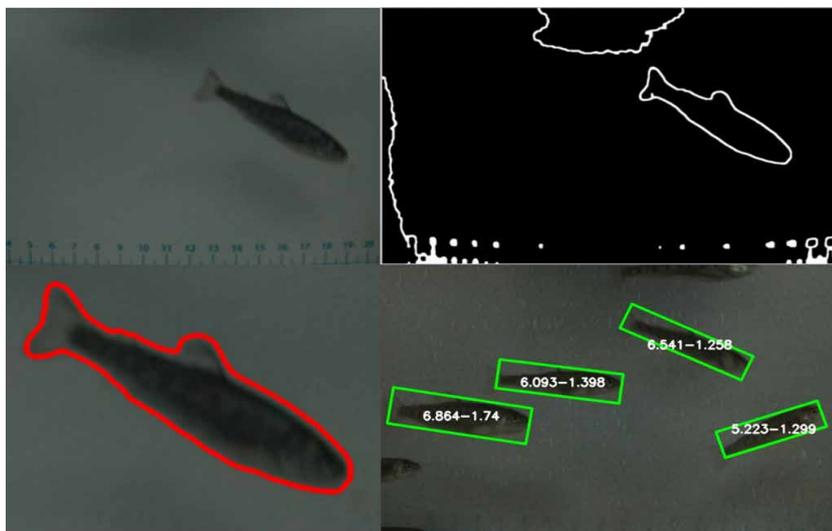


## DATA PIPELINE

The pipeline uses the following steps. First, the image taken by the camera goes through image preprocessing to improve contrast and brightness, to reduce noise generated by sunlight or shade, given that the fish tanks are located outdoors. Second, the fish segmentation part applies canny edge detection and Otsu thresholding which erodes and dilates the

images until finding the contours of each fish present in the image. Next, estimation of length is made by calculating the Pixel per Metric Ratio from a calibration image taken first with a ruler in the background. This establishes the total length of the image and its equivalent in pixels. The length and height of the contour are converted to cm using this ratio. The steps taken and intermediate results are as seen in Figure 3

**Figure 3**  
*Image processing*



Finally, weight is calculated using the formula:

$$W = (p^2 * L) / 800$$

Where  $W$  is the weight,  $p$  is the perimeter,  $L$  is the length and 800 is the curvature coefficient, which depends on the species. For rainbow trout, the value is between 700 and 900. The formula is based on measures in the American system (weight in pounds and length in inches) it has been converted to the international system used in Peru (weight in grams and length in centimeters).

Once the weight is calculated, it can be used to calculate other values, such as Fulton's condition factor ( $K$ ) to measure the growth condition of the trout using the formula:

$$K = 100 * \frac{W}{L^3}$$

$W$  is the weight calculated in the previous step and  $L$  is the measured length. The formula represents in a value close to 1 the conditions in which the fish is growing. A value of  $K$  close or equal to 1 indicates a normal or OK condition; value can go to 1.2 or 1.5 in a very well-grown fish at the higher end and values of 0.8 or lower for suboptimal conditions.

## Results and Discussion

Traditional aquaculture is laborious, with intensive manual tasks to monitor and care for the optimal growth conditions of fish. The IoT system implemented in this paper has dramatically reduced the time and personnel required for such tasks. Also, data availability was an issue given that the production center is in a rural area. All data is now stored in a cloud platform which is constantly updated. Decision makers

can now dashboards from anywhere in the world, facilitating their tasks.

Underwater camera system removes the need for manual sampling and measuring of fish growth, which is usually an invasive, time-consuming, and inaccurate task (Li et al., 2020). Image segmentation techniques for computer vision can correctly identify and measure most fish samples present in an image with a small percentage of errors (less than 5%) due to two or more fishes appearing close to each other and shadows with enough contrast from the background. Stability in underwater condition is hard to achieve (Biazi & Marques, 2023). Multiple image preprocessing techniques exist but none is optimized for the constantly changing conditions of underwater images, such as water turbidness, increased brightness from sunlight, shadows created by clouds, objects, people, and many others. Improve image detection in non-optimal water conditions (Yuan et al., 2022) is important for ease of use and mass adaptation of underwater cameras in aquaculture.

## Conclusion and future work

Aquatic food consumption will continue to grow towards 2030, with most of them expected to be from aquaculture and open sea harvest. Modernization and optimization of aquaculture processes must be a priority for industry and government entities alike (Biazi & Marques, 2023). A proper monitoring system for growth and behavior of fish improves productivity and profitability, and also reduces risk of failure, spinal deformity and mortality rate (Li et al., 2022).

The implementation of the IoT system allows data collection from the

sensors and camera to create models of growth parameters, establish the optimal conditions and propose prediction models in the future.

Aspects not considered for this paper are long-term reliability and maintenance

costs due to time restrictions and use of Deep Learning models due to hardware restrictions. Usage of a DL framework to automate feature extraction process of underwater images (Li et al., 2022) is proposed as future improvement.

## References

- Asri, S. D., Jaya, I., Buono, A., & Wijaya, S. H. (2022). Fish Detection in Seagrass Ecosystem using Masked-Otsu in HSV Color Space. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 13(12). <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2022.0131253>
- Awalludin, E. A., Arsad, T. N. T., & Wan Yusof, W. N. J. H. (2020). A Review on Image Processing Techniques for Fisheries Application. *Journal of Physics: Conference Series*, 1529(5), 052031. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1529/5/052031>
- Biazi, V., & Marques, C. (2023). Industry 4.0-based smart systems in aquaculture: A comprehensive review. *Aquacultural Engineering*, 102360. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2023.102360>
- Gladju, J., Kamalam, B. S., & Kanagaraj, A. (2022). Applications of data mining and machine learning framework in aquaculture and fisheries: A review. *Smart Agricultural Technology*, 2, 100061. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100061>
- Kumar, N. M., & Mallick, P. K. (2018). The Internet of Things: Insights into the building blocks, component interactions, and architecture layers. *Procedia Computer Science*, 132, 109–117. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.05.170>
- Li, D., Hao, Y., & Duan, Y. (2020). Nonintrusive methods for biomass estimation in aquaculture with emphasis on fish: A review. *Reviews in Aquaculture*, 12(3), 1390–1411. <https://doi.org/10.1111/raq.12388>
- Li, D., Wang, Q., Li, X., Niu, M., Wang, H., & Liu, C. (2022). Recent advances of machine vision technology in fish classification. *ICES Journal of Marine Science*, 79(2), 263–284. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsab264>
- Maksimovic, M. (2018). Greening the Future: Green Internet of Things (G-IoT) as a Key Technological Enabler of Sustainable Development. In N. Dey, A. E. Hassanien, C. Bhatt, A. S. Ashour, & S. C. Satapathy (Eds.), *Internet of Things and Big Data Analytics Toward Next-Generation*

- Intelligence* (pp. 283–313). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-60435-0\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-319-60435-0_12)
- Rastegari, H., Nadi, F., Lam, S. S., Ikhwanuddin, M., Kasan, N. A., Rahmat, R. F., & Mahari, W. A. W. (2023). Internet of Things in aquaculture: A review of the challenges and potential solutions based on current and future trends. *Smart Agricultural Technology*, 4, 100187. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100187>
- Risholm, P., Mohammed, A., Kirkhus, T., Clausen, S., Vasilyev, L., Folkedal, O., Johnsen, Ø., Haugholt, K. H., & Thielemann, J. (2022). Automatic length estimation of free-swimming fish using an underwater 3D range-gated camera. *Aquacultural Engineering*, 97, 102227. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2022.102227>
- Yang, L., Liu, Y., Yu, H., Fang, X., Song, L., Li, D., & Chen, Y. (2021). Computer Vision Models in Intelligent Aquaculture with Emphasis on Fish Detection and Behavior Analysis: A Review. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 28(4), 2785–2816. <https://doi.org/10.1007/s11831-020-09486-2>
- Yuan, X., Guo, L., Luo, C., Zhou, X., & Yu, C. (2022). A Survey of Target Detection and Recognition Methods in Underwater Turbid Areas. *Applied Sciences*, 12(10), 4898. <https://doi.org/10.3390/app12104898>



# CAMPUS

## Indexaciones



## Repositorios Institucionales



## Plataforma



## Redes Sociales



Efecto agudo y crónico de los metales pesados sobre anuros (Amphibia) .....	15	Modelación geoespacial para la caracterización agro-ecología-económica para el desarrollo de los cultivos de agroexportación, unidad hidrográfica Piura, Perú .....	113
CRISTIAN AGUILAR PRINCIPE ATENEA COLLAZOS AQUINO ROBERT HUAYAMA DE LA CRUZ DEICY ORE ESCALANTE CAROLINE MONRROY ELIAS JORGE SANCHEZ RIVERA YUMAR SALAS CAMACHO JOSÉ IANNAcone		NIELL WILSON RIVAS MEZA NÉSTOR MONTALVO ARQUIÑIGO ISSAAK RAFAEL VÁSQUEZ ROMERO	
ChatGPT como herramienta estratégica de aprendizaje de un curso de pregrado de desarrollo de aplicaciones multiplataforma orientado a la Web .....	45	Efectos ecotoxicológicos del plomo (Pb) sobre la familia Anatidae: Una revisión sistemática .....	129
EIRIKU YAMAO NORMA LEÓN LESCANO YOSSEF ASDRUJAL HJAR MACEDO FRED LUIS DUARTE JACOME		DIEGO BOCANEGRA OLAVARRIA CONNIE CESPEDES CACERES KARLA FERNÁNDEZ SÁNCHEZ RONALDO GALDO LAVADO WILBER TICUÑA BLAS JOSÉ IANNAcone	
Ingeniería tecnológica de alimentación para el rendimiento de peso total de cuyes, Tacna-Perú .....	59	Aplicación de la minería de datos en el marketing usando el análisis de sentimientos de los clientes e-commerce .....	167
INÉS MARITZA AGUILAR CONDORI EDWIN ISMAEL PALZA CHAMBE NOEMÍ ANA MARÍA CONDOR LAZO IRENE VILMA LIMACHE ORTIZ GEORGE ARGOTA PÉREZ		IVAN PETRLIK AZABACHE JOSÉ COVEÑAS LALUPU WILFREDO CARRANZA BARRENA LUZ TORRES-TALAVERANO	
Efectos tóxicos agudos y crónicos de los hidrocarburos sobre crustáceos de las familias palaemonidae y hyalellidae: revisión sistemática .....	69	Ingeniería económica circular desde su tecnologización .....	195
J. VALERIA YON LEIVA ADAN MARINA ALESSANDRA LAURENTE JIMENA RUBY ROJAS PALACIOS KIARA MAURTUA MARÍA GRACIELA ÁLVAREZ PIERO ZEVALLOS JOSÉ IANNAcone		GEOMANIS ARGOTA PÉREZ GEORGE ARGOTA PÉREZ	
Calidad de agua del humedal laguna del Tragadero de la provincia de Jauja - Junín .....	91	Low-cost I o T and computer vision-based on aquaculture monitoring system .....	207
EMILIA MISARI-CHUQUIPOMA RAÚL D. CÓNDOR BEDOYA JULIÁN CCASANI ALLENDE RAFAEL CLETO CHUQUICONDOR VILLAFUERTE		EIRIKU YAMAO	

