

CONTENIDO DE METALES PESADOS EN LOS PECES EN EL PERÚ: UNA REVISIÓN SISTÉMICA

Heavy metal content in peruvian fish: a systemic review

Manuel Mamani Flores¹, Jessy Blas Alvarado², Sergio Izquierdo Villaverde³,
Gil Gonzales Cauper⁴, Maritza Andrade Saavedra⁵, Dina Pari Quispe⁶

RESUMEN

La contaminación por metales pesados en los ecosistemas acuáticos del Perú, derivada de actividades mineras, industriales y urbanas, representa un riesgo para la fauna y la salud humana. Los peces pueden bioacumular estos contaminantes, lo que afecta su seguridad para el consumo. Se investigaron estudios sobre la presencia de metales pesados en peces en Perú, realizando una búsqueda exhaustiva en bases de datos como Scopus, PubMed, ScienceDirect, Dialnet, Elsevier, SciELO y Google Scholar para identificar publicaciones entre 2018 y 2025. Se encontraron 120 artículos y 47 tesis, de los cuales 23 cumplieron con los criterios de inclusión: estudios que reportaron niveles de metales pesados en diferentes órganos de peces. Los estudios que no proporcionaron datos cuantitativos o no especificaron las especies de peces fueron excluidos. El proceso de selección siguió el método PRISMA, eliminando duplicados y revisando títulos y resúmenes para evaluar la relevancia. Los 23 estudios seleccionados fueron analizados en detalle y abarcaban diversas regiones del Perú: Costa, Sierra y Selva, incluyendo especies como la trucha arcoíris, lorna, lisa y boquichico. Los niveles de metales pesados varían significativamente entre especies y ubicaciones geográficas. En la Amazonía peruana, se encontraron concentraciones de metilmercurio, cadmio, plomo, cobre, mercurio y arsénico en diferentes peces. En la Sierra, se hallaron niveles elevados de plomo y cadmio en la trucha arcoíris, especialmente en ríos contaminados por actividades antropogénicas. En la Costa, especies como el bonito y la caballa presentaron altas concentraciones de mercurio, superando los límites permisibles establecidos por organizaciones internacionales. Estos resultados resaltan la importancia de monitorear y regular los niveles de metales pesados en peces para proteger la salud pública y la biodiversidad acuática.

Palabras clave: contaminación, metales, peces, Amazonía peruana.

ABSTRACT

Heavy metal contamination in Peruvian aquatic ecosystems from mining, industrial and urban activities threatens wildlife and human health. Fish can bioaccumulate these contaminants, making them unsafe for consumption. Studies on the presence of heavy metals in fish in Peru were investigated by conducting an exhaustive search in databases such as Scopus, PubMed, ScienceDirect, Dialnet, Elsevier, SciELO and Google Scholar to identify publications between 2018 and 2025. 120 articles and 47 theses were found, of which 23 met the inclusion criteria: studies reporting heavy metal levels in different fish organs. Studies that did not provide quantitative data or did not specify the fish species were excluded. The selection process followed the PRISMA method, eliminating duplicates and reviewing titles and abstracts to assess relevance. The 23 selected studies were analysed in detail and covered different regions of Peru: Coast, Sierra and Jungle, and included species such as rainbow trout, lorna, mullet and boquichico. Concentrations of heavy metals varied significantly between species and geographical locations. In the Peruvian Amazon, concentrations of methylmercury, cadmium, lead, copper, mercury and arsenic were found in various fish. In the Sierra, elevated levels of lead and cadmium were found in rainbow trout, especially in rivers contaminated by anthropogenic activities. On the coast, species such as bonito and mackerel showed high levels of mercury, exceeding the limits set by international organisations. These results highlight the importance of monitoring and regulating heavy metal levels in fish to protect public health and aquatic biodiversity.

Keywords: contamination, metals, fish, Peruvian Amazonia.

¹ Docente Asesor de semillero, Semillero de Investigación Ecosistemas Amazónicos, Universidad Nacional de Ucayali, Perú.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0431-1813>. Manuel_mamani@unu.edu.pe

² Semillero de investigación Ecosistemas Amazónicos, Universidad Nacional de Ucayali, Perú. Jessy_blas@unu.edu.pe

³ Semillero de investigación Ecosistemas Amazónicos, Universidad Nacional de Ucayali, Perú. Sergio_izquierdo@unu.edu.pe

⁴ Semillero de Investigación Ecosistemas Amazónicos, Universidad Nacional de Ucayali, Perú. Gil_gonzales@unu.edu.pe

⁵ Maritza Andrade Saavedra. Universidad Nacional de Ucayali. Perú. Maritza_andrade@unu.edu.pe

⁶ Docente, Coasesora de semillero, Semillero de investigación Ecosistemas Amazónicos, Universidad Nacional de Ucayali, Perú.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1493-9209>. Dina_pari@unu.edu.pe

INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental es un problema global, y los metales pesados representan una de sus principales preocupaciones, destacándose el arsénico, cadmio, mercurio y plomo (Tomailla y Lannacone, 2018). La presencia de estos metales y metaloides en el agua, los suelos y el aire constituye un problema grave que afecta tanto la seguridad alimentaria como la salud pública a nivel global y local (Reyes et al., 2016), evidenciando la existencia de fuentes de contaminación de origen antropogénico (Armiñana et al., 2024).

A pesar de los esfuerzos de la Organización Mundial de la Salud por implementar programas y estrategias para prevenir la intoxicación por metales pesados (Arriaga et al., 2024), estos continúan generando efectos nocivos irreparables en la salud humana y animal, como el desarrollo de cáncer y trastornos teratogénicos. En altas concentraciones, estos metales alteran los procesos bioquímicos y fisiológicos, provocando diversas patologías. Por ello, es crucial proteger el ambiente de estos “enemigos silenciosos” y reducir su presencia en la industria, minería y sector agropecuario (Londoño et al., 2016).

La contaminación por metales pesados es una preocupación constante para múltiples organizaciones debido a su persistencia y capacidad de bioacumulación (González y Murga, 2020). Metales como el mercurio, arsénico, plomo y cadmio, representan una amenaza significativa para la salud humana, los animales y los ecosistemas (Franco-Fuentes et al., 2023; Mancilla-Villa et al., 2023; Oliva et al., 2023; Robles, 2024).

Por otro lado, los peces constituyen una fuente fundamental de nutrientes en la dieta familiar; sin embargo, la contaminación ambiental de origen antropogénico compromete su inocuidad, especialmente debido a la presencia de metales pesados (Masco et al., 2022). Sustancias como el mercurio (Hg), plomo (Pb), cadmio (Cd) y arsénico (As) son contaminantes de gran preocupación por su toxicidad y persistencia en el medio ambiente (Villanueva et al., 2023). El consumo de pescado contaminado con estos metales está afectando la seguridad alimentaria y la salud pública (Lugo y Cadavid, 2020), ya que los peces, al ser organismos acuáticos, pueden acumularlo a través del agua y la cadena trófica (bioacumulación). Esta situación representa un riesgo para la biodiversidad y la salud

humana debido a las diversas actividades antropogénicas, como la minería de pequeña y gran escala, que se expande con un número creciente de operadores en distintas regiones del Perú y el mundo.

Dado este contexto, es fundamental implementar un monitoreo y la detección de contaminantes en el agua, la fauna y la flora, permitiendo la elaboración de mapas de concentración de elementos y el desarrollo de planes de acción orientados a su mitigación y remediación (Reyes et al., 2016).

En el Perú, la minería, tanto formal como informal, se desarrolla en diversas regiones, provocando un deterioro ambiental significativo. Muchos de los residuos mineros terminan en cuerpos de agua, como ocurre en la región Puno, donde el impacto negativo en los ecosistemas son cada vez mayor, afectando la salud de las comunidades cercanas (Novoa et al., 2022). Un caso emblemático es la contaminación por relaves mineros en el lago Titicaca, que ha generado daños y degradación en los recursos hidrobiológicos, afectando especies nativas de peces como *Orestias ispi* y *Orestias agassii*, las cuales forman parte de la alimentación local (Arbulu y Sánchez, 2022).

De manera similar, en región Áncash, se ha identificado que la laguna Pajuscocha acumuló una carga masiva de zinc de 5.1 toneladas entre 2016 y 2021. Este elemento químico se está sedimentando y representa un riesgo potencial para la fauna y flora del ecosistema, además de afectar el uso de recurso hídrico por parte de las poblaciones de los centros poblados de Carhuayoc, Carash, Pacash, Huancha y San Marcos (Uriarte et al., 2022). Otras regiones como Ayacucho, Cajamarca, Cusco, Huancavelica, Tacna, Lima, Ucayali, San Martín (Tarapoto), Madre de Dios y Huánuco enfrentan un riesgo similar asociado al consumo de pescado, proveniente de zonas contaminadas con metales pesados.

Las investigaciones sobre metales pesados están proporcionando información valiosa para la población. No obstante, en el Perú aún existen vacíos en el conocimiento sobre los factores que inciden en la exposición a estos metales a través de la alimentación (Morales et al., 2022). Además, se ha identificado la presencia de metales pesados, en el polvo urbano, lo que constituyen otra fuente de contaminación ambiental en áreas urbanas. El aumento de estos contaminantes se atribuye al proceso de urbanización y representa una preocupación creciente debido a los graves efectos que puede tener en la salud humana (Santoyo et al., 2024).

Por ello, esta revisión sistemática tiene como objetivo evaluar la presencia y los niveles de metales pesados en las diversas especies de peces consumidos en las diferentes regiones del Perú, utilizando la metodología PRISMA.

METODOLOGÍA

Estrategia de búsqueda

Se realizó una búsqueda exhaustiva en bases de datos científicos como Scopus, PubMed, ScienceDirect, Dialnet, Elsevier, SciELO y Google Scholar para identificar estudios relevantes publicados entre el 2018 y 2025. Las palabras claves utilizadas fueron: metales pesados, contaminación de metales pesados, bioacumulación y toxicidad, peces. Se encontraron 120 artículos y 47 tesis, de los cuales 23 cumplieron con la inclusión de estudios realizados en diferentes regiones del Perú.

Criterios de inclusión y exclusión

Los estudios fueron seleccionados en base a los siguientes criterios:

- Estudios que reporten niveles de metales pesados en peces en diferentes órganos (músculo, huesos, branquias, hígado, cabeza).
- Publicaciones en inglés, español o portugués.
- Estudios realizados en peces procedentes de aguas saladas y aguas dulces.

Tabla 1. Presencia de metales pesados en músculo de los principales peces consumidos en la Amazonía peruana (Ucayali, Huánuco, Tarapoto y Madre de Dios).

Especie	MeHg	Cd	Pb	Cu	Hg	As
<i>Pterygoplichthys pardalis</i>	0.06*	1.59**	5.08**	2.41**	-	-
<i>Prochilodus nigricans</i>	0.09*	1.11**	0.61**	2.43**	< 0.5****	-
<i>Pseudoplatystoma punctifer</i>	0.11*	-	-	-	-	-
<i>Calophysus macropterus</i>	0.19*	-	-	-	-	-
<i>Anodus enlongatus</i>	-	-	-	2.67**	-	-
<i>Siluriformes</i>	-	0.995***	1.89***	-	0.004***	1.535***
<i>Oreochromis niloticus</i>	-	0.785***	1.92***	-	0.004***	1.105***
<i>Hypostomus sp</i>	-	-	-	-	< 0.5****	-
<i>Potamorhina altamazonica</i>	-	-	-	-	< 0.5****	-
<i>Steindachnerina spp</i>	-	-	-	-	< 0.5****	-
<i>Leporinus friderici</i>	-	-	-	-	< 0.5***	-
<i>Triportheus spp</i>	-	-	-	-	< 0.5***	-
<i>Hoplias malabaricus</i>	-	-	-	-	> 0.5***	-
<i>Acestrorhynchus falcatus</i>	-	-	-	-	> 0.5***	-
<i>Serrasalmus spp</i>	-	-	-	-	> 0.5***	-
<i>Chaetostoma sp</i>	-	1.59**	5.09**	2.41**	-	-
<i>Parodon buckleyi</i>	-	1.62**	-	2.78**	-	-

Fuente: Panduro et al. (2020), Rosales et al. (2019), García y Torres (2022) y Vega et al. (2018). *Ucayali (ug g⁻¹), **Huánuco (ppm), ***Tarapoto (mg kg⁻¹), **** Madre de Dios.

Se excluyeron los artículos y tesis que no proporcionaron datos cuantitativos sobre la concentración de metales pesados, aquellos que no especificaron las especies de peces estudiadas, aquellos que solo se basaron en el estudio de cuerpos de agua o sedimentos de donde provienen los peces.

Proceso de selección

El proceso de selección siguió las directrices del método PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). Se eliminaron duplicados y se revisaron los títulos y resúmenes para evaluar la relevancia. Finalmente 23 (artículos y tesis) cumplieron con los criterios de inclusión y fueron analizados en detalle.

Resultados

Niveles de metales pesados

De los 167 artículos y tesis identificados, 23 cumplieron con los criterios de inclusión. Los estudios se concentraron en la Costa, Sierra y Selva del Perú en los departamentos de Ancash, Ayacucho, Cajamarca, Cusco, Huancavelica, Puno, Tacna, Lima, Ucayali, San Martín (Tarapoto), Huánuco y Madre de Dios. Las especies de peces más estudiados fueron *Oncorhynchus mykiss* "Trucha arco iris", *Sciaena deliciosa* "Lorna", *Mugil cephalus* "Lisa", *Prochilodus nigricans* "Boquichico", asimismo, los estudios seleccionados revelan que los niveles de metales pesados varían significativamente entre las diferentes especies de peces y sus ubicaciones geográficas.

Los metales pesados pueden acumularse en diferentes órganos de los peces, como el músculo, las branquias, el hígado y los huesos, los cuales son consumidos por el ser humano. En Ucayali, el consumo promedio per cápita de pescado es de 2.532 kg/semana/persona, lo que equivale a aproximadamente 132 kg/persona/año. Sin embargo, los estudios han detectado la presencia de Metilmercurio (MeHg) en los músculos de los peces, aunque en niveles bajos. Según la referencia de la FAO/OMS, el consumo de los peces se clasificó como de peligrosidad media, mientras que, según USEPA, se considera de alta peligrosidad (Panduro et al., 2020). Además, se encontraron otros metales pesados como cadmio, plomo, cobre, mercurio y arsénico.

No obstante, la comparación entre estudios resulta compleja debido a la variabilidad en las unidades de medición que, utilizadas para reportar la concentración de metales pesados, expresados en partes por millón (ppm), miligramos por kilogramos (mg kg^{-1}) y microgramos por gramo (ug g^{-1}) (Tabla 1). Asimismo, se emplean diferentes normativas para establecer los límites permisibles, sin considerar los estándares del Organismo Nacional de Sanidad Pesquera (SANIPES), que regula los niveles máximos de contaminantes en productos hidrobiológicos como plomo, arsénico, cadmio y mercurio. Sin embargo, además de estos elementos se ha reportado la presencia de cobre en los músculos de los diversos peces analizados en la Amazonía. Se ha observado que los peces carnívoros presentan los niveles más altos de mercurio, los omnívoros muestran concentraciones intermedias, mientras que los herbívoros presentan las concentraciones más bajas en la región Madre de Dios (Vega et al., 2018).

En la región Huánuco, se calcula la acumulación de cadmio y cobre en los músculos e hígado de especies como boquichico (*Prochilodus nigricans*), carachama (*Chaetostoma* sp) y julilla (*Parodon buckleyi*), siendo el hígado, el órgano con mayor acumulación de estos metales pesados (Rosales et al., 2019). El mercurio (Hg) es un elemento altamente tóxico que representa una amenaza para la salud humana, principalmente en la cadena alimenticia a través del consumo de peces

con altas concentraciones de este metal. Esta situación afecta especialmente a la población ribereña de la región amazónica, donde el pescado es un alimento básico (Santos et al., 2023). Se ha identificado que las concentraciones de mercurio aumentan en los niveles tróficos más altos, alcanzando valores de $3.7 \mu\text{g g}^{-1}$ en los músculos de peces depredadores y $34.9 \mu\text{g g}^{-1}$ en el cabello humano (Martoredjo et al., 2024). Esto indica que la contaminación por mercurio en los peces del Amazonas está ampliamente extendida, afectando la mayoría de las cuencas fluviales (Paiva et al., 2023).

En la región andina, la trucha (*Oncorhynchus mykiss*) es la especie más estudiada y la más utilizada en la acuicultura, su producción intensiva representa una fuente de ingreso para muchas familias; sin embargo, diversas actividades antropogénicas han contaminado los cuerpos de agua donde se cría. Se ha registrado que las concentraciones de metales pesados en trucha del río Opamayo superan a las del río Sicra, con valores de arsénico (0.804 mg kg^{-1}), cadmio (0.086 mg kg^{-1}), cromo (0.227 mg kg^{-1}) y plomo (1.659 mg kg^{-1}). Según CODEX STAN 193-1995, que regula contaminantes y toxinas en alimentos y piensos, estos valores se encuentran en promedio por debajo de los límites máximos permisibles (Quispealaya et al., 2020).

En un análisis realizado en la provincia de Puno, se encontraron elementos esenciales en el músculo axial de las truchas, tales como Zinc ($1.00 \pm 0.95 \text{ mg kg}^{-1}$), Aluminio ($2.03 \pm 0.23 \text{ mg kg}^{-1}$), Calcio ($513.33 \pm 112.40 \text{ mg kg}^{-1}$), Sodio ($1733.33 \pm 152.75 \text{ mg kg}^{-1}$), Magnesio ($496.00 \pm 35.12 \text{ mg kg}^{-1}$), Potasio ($11333.33 \pm 1154.70 \text{ mg kg}^{-1}$) y Manganeso ($0.07 \pm 0.02 \text{ mg kg}^{-1}$). Estos valores se consideran aptos para el consumo humano, ya que no superan los límites máximos permisibles establecidos para estos elementos (Chui et al., 2021).

Sin embargo, en un análisis de metales pesados en diversas regiones del país Pasco, Huancavelica, Áncash, Puno, Cuzco, Ayacucho, Cajamarca, se encontraron concentraciones elevadas de plomo en Huancavelica y Áncash (Tabla 2), lo que representa un riesgo significativo para la salud pública.

Tabla 2. Presencia de metales pesados (mg kg^{-1}) en el músculo de *Oncorhynchus mykiss*, en diferentes regiones de la sierra del Perú.

Metales pesados	Pasco	Huancavelica	Ancash	Puno	Cuzco	Ayacucho	Cajamarca
Aluminio	0.046	-	-	2.030	-	-	-
Arsénico	< 0.005	0.804	-	-	< 0.005	0.21700	0.007
Calcio	-	-	-	513.330	-	-	-
Cadmio	< 0.004	0.086	0.001	A < 0.022	< 0.010	0.00002	0.002
Cobre	1.12	-	-	0.038	-	0.00140	-
Cromo	-	0.227	-	-	-	-	-
Hierro	0.013	-	-	0.260	-	-	-
Magnesio	-	-	-	496.000	-	-	-
Manganoso	0.008	-	-	0.068	-	-	-
Mercurio	< 0.0002	-	0.344	A < 0.008	0.009	0.00008	-
Níquel	-	-	-	-	-	0.00223	-
Plomo	0.001	1.659	1.826	0.051	< 0.050	0.00050	0.031
Potasio	-	-	-	11 333.33	-	-	-
Sodio	-	-	-	1 733.33	-	-	-
Zinc	0.009	-	-	15.00	-	0.00810	-

Fuente: Bertolotti y Noé (2018), Murga y González (2020), Quispealaya et al. (2020), Chui et al. (2021), Estrada y Machuca (2021), Masco et al. (2022), De la Cruz (2024).

Además, se detectaron concentraciones de mercurio (< 0.024) y plomo (< 0.052) en los tejidos de las especies endémicas del lago Titicaca como *Orestias agassii* y *Orestias ispi*. Estos valores están muy por debajo de los niveles establecidos por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) en mg kg^{-1} de peso seco (Arbulu

y Sánchez, 2022) y también son inferiores a los límites máximos permisibles reportados por SANIPES. Por otro lado, la presencia de metales pesados en los cuerpos de agua como el plomo afecta la reproducción, alteraciones sanguíneas y neurológicas en peces e invertebrados acuáticos, con impactos a largo plazo (Sánchez-Araujo et al., 2021).

Tabla 3. Contenido de metales pesados en músculo e hígado de las principales especies de peces de consumo de la costa peruana.

Especies	Hg	As	Cd	Cu	Mn	Se	Zn	Pb
<i>Sarda chilensis chilensis</i>	1.264*	-	-	-	-	-	-	-
<i>Scomber japonicus</i>	0.639*	-	-	-	-	-	-	-
<i>Mugil cephalus</i>	0.875*	-	0.73***	2.44***	-	-	-	0.61***
<i>Sciaena deliciosa</i>	0.750*	-	1.62***	2.78***	-	-	-	4.05***
<i>Isurus oxyrinchus</i>	0.889*	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cheilodactylus variegatus</i>	-	2.94**	4.82**	5.646**	0.97**	3.81**	50.75**	-
<i>Odontesthes regia regia</i>	-	-	1.59***	2.14***	-	-	-	5.09***

Fuente: Ninaja y Ortiz (2020), Quintana (2021). *ppm (Tacna), ** mg kg^{-1} (Lima), *** ug g^{-1} (Lima).

En la costa, la especie más estudiada fue la Lorna (*Sciaena deliciosa*), en cuyo músculo se detectaron cadmio, plomo y cobre (Quintana, 2021). En Tacna, se reportó una concentración promedio de mercurio de 0.883 ± 0.104 ppm. La especie bonito (*Sarda chilensis chilensis*) presentó una concentración promedio de mercurio más elevada, con 1.264 ± 0.115 ppm, mientras que la caballa (*Scomber japonicus*) registró la concentración más baja con un promedio de 0.639 ± 0.226 ppm (IC 95 % 0.057–1.221). Al comparar estos valores con los Límites Máximos Permisibles establecidos por la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) y el Organismo Nacional de Sanidad Pesquera del Perú, se observó que el

43.30 % de las muestras superó el umbral de 1.0 ppm. Asimismo, según los límites máximos permisibles de 0.5 ppm establecidos por la Organización Mundial de la Salud y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos el 73.30 % de las muestras excedió este límite, representando un riesgo significativo para la salud (Ninaja y Ortiz, 2020).

Sin embargo, no solo los peces pueden contener metales pesados, sino también los moluscos. En la especie *Donax abesulus*, se detectaron niveles de cobre, plomo y cadmio en el litoral de Lambayeque, aunque en concentraciones inferiores a los límites máximos permisibles (Manay et al., 2020).

En general, el cadmio y el plomo son los metales que con mayor frecuencia superan las normativas establecidas por la OMS. No obstante, también generan preocupación otros metales que no suelen ser regulados por esta organización, como el mercurio, aluminio, el arsénico, el cromo y el níquel (Tejada-Purizaca et al., 2024).

Factores influentes

Los metales pesados son liberados continuamente en la biosfera tanto por procesos naturales, como por meteorización de rocas, como por actividades humanas, entre ellas la minería (Domínguez et al., 2023), que impacta en las aguas superficiales y sedimentos de diversas cuencas (Brousett-Minaya et al., 2021; Llanos et al., 2024). Otras fuentes de contaminación incluyen la combustión de combustibles fósiles, vertimiento de aguas residuales y el uso de productos químicos agrícolas, los cuales afectan ríos, lagos y lagunas (Gomez y Mamani, 2022). Como consecuencia, la presencia de metales pesados como mercurio (Hg), plomo (Pb), arsénico (As), cadmio (Cd), cobre (Cu), cromo (Cr) representa un grave riesgo para la salud humana y animal.

Factores ambientales como el cambio climático, efecto invernadero, la deforestación y la pérdida de recursos naturales han agravado la amenaza de estos metales en los ecosistemas (Londoño et al., 2016). Por lo tanto, la variabilidad en la concentración de ciertos elementos químicos está estrechamente relacionada con la minería aurífera artesanal y a gran escala, cuya principal consecuencia es la liberación de plomo (Chui et al., 2021) y mercurio al medio ambiente. Este último, al transformarse en metilmercurio (CH_3Hg), es bioacumulado por los peces (Higueras et al., 2018), especialmente por especies herbívoras en mayor proporción que las carnívoras (Chen et al., 2024) y su acumulación está directamente afectado por el cambio climático (Laske et al., 2023).

Existen diversos factores que determinan la presencia de metales pesados en el ambiente como la contaminación del aire, el agua y los suelos, los cuales son regulados en gran medida. Sin embargo, un aspecto menos controlado es el polvo urbano, que carece de normativas específicas para metales pesados como Pb, Cu y Zn. Las partículas menores a 10 micrómetros, pueden ser inhaladas con facilidad, representando un peligro para la salud. Por ello, es crucial regular su concentración y promover medidas de limpieza adecuadas, ya que pueden ingresar al

organismo por dos vías principales: 1) ingesta e 2) inhalación. La exposición prolongada a estos contaminantes pueden provocar enfermedades graves, como, cardiovasculares, hipertensión, daños pulmonares e incluso cáncer (Santoyo et al., 2024).

El riesgo de contaminación por mercurio depende de diversos incluyendo su carga ambiental, procesos de metilación, bioacumulación y biomagnificación (Bartz et al., 2023). Entre las principales fuentes de exposición humana a metales pesados se encuentra el consumo de agua y pescado contaminados, minería informal, uso de amalgamas dentales, entre otros (Aguilar, 2022).

Los niveles de mercurio en el tejido muscular de los peces están influenciados por múltiples variables como sus hábitos alimentarios, longitud total, peso total estimado, nivel trófico, temperatura del agua, pH. Estos factores explican más del 60 % de la variabilidad en su acumulación (Bernal-Alviz et al., 2025) siendo más elevados en peces pelágicos que en especies bentónicos (Yurkowski et al., 2023).

Implicancias para la salud pública

La contaminación de alimentos por metales pesados sigue siendo un problema de salud pública, ya que estos elementos provienen de desechos domésticos, agrícolas e industriales (Chui et al., 2021). Al llegar a cuerpos de agua como mares, ríos, lagos y lagunas, representan un peligro para la vida acuática, afectando especies como *Daphnia magna* y *Paracheirodon innesi* en la Amazonía peruana (Méniz-Oshiro y Iannacone, 2022).

Los peces pueden almacenar y bioacumular mercurio (Hg) en su cuerpo a lo largo de su vida (Romero, 2024). Sin embargo, su consumo representa un riesgo para la salud humana, especialmente para aquellas poblaciones que dependen de ellos como fuente de alimento, incluso en concentraciones relativamente bajas, el mercurio es altamente tóxico, ya que el organismo humano no puede metabolizarlo ni excretarlo eficientemente (Stafi et al., 2024). Los niños suelen contaminarse principalmente por ingestión, mientras que los adultos pueden estar expuestos por contacto dérmico. Además, el riesgo de desarrollar enfermedades cancerígenas, es más alto en adultos que en niños (Castro-Gonzales et al., 2024; Mohamadi y Saeedi, 2024).

La exposición a metales pesados se produce a través del consumo de pescado, que, si bien es una fuente

valiosa de nutrientes puede contener niveles peligrosos de mercurio (Naija y Yalcin, 2023). Este problema es prioridad de salud pública, ya que la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) ha señalado que la ingesta de mercurio está relacionada con daños progresivos en el sistema nervioso central, procesos degenerativos y alteraciones en el sistema motor, así como, pérdida de capacidad auditiva, alteraciones en el paladar, afecciones en el campo visual, disturbios sensoriales, ataxia, temblores (Guapi et al., 2022) y afecciones pulmonares, renales y cardiovasculares, además de daño cerebral (Bertolotti y Noé, 2018; Naija y Yalcin, 2023; Ninaja y Ortiz, 2020; Ortega-Moctezuma et al., 2023; Schiavo et al., 2024). Por ello, se recomienda evitar el consumo de pescados con niveles elevados de metilmercurio (Yáñez-Jácome et al., 2023).

Los ecosistemas marinos están sometidos a una constante presión debido a la actividad humana, lo que ha llevado a la presencia de elementos nocivos para la salud ambiental y humana. La bioacumulación de metales pesados como arsénico, cadmio, cobre, molibdeno, mercurio, níquel, plomo, selenio y zinc se ha asociado con el desarrollo de diversas enfermedades (Fupuy et al., 2023).

Las especies ícticas, pueden acumular estos metales en el músculo, tejido hepático y el hígado, lo que puede generar problemas fisiológicos (Gomez y Mamani, 2022). Asimismo la exposición a metales pesados en actividades agrícolas y el uso de químicos tales como el malatión, metoxurón, paraquat, glifosato y organofosforados, han demostrado tener un efecto negativo en la salud del hombre (Ortega-Moctezuma et al., 2023).

El plomo, en particular, es altamente tóxico y su absorción por vía oral en adultos es cercana al 10 % mientras que en niños puede aumentar hasta el 50 %. Una vez en el organismo se distribuye en el riñón, hígado, encéfalo y huesos, donde se acumula durante décadas, interfiriendo con la función del calcio, síntesis de hemoglobina y provocando daño neurológico. Los efectos agudos incluyen parestesia, dolor y debilidad muscular, anemia grave y hemoglobinuria (Estrada e Machuca, 2021). Por ello, es esencial investigar en profundidad los efectos del plomo, cadmio y arsénico a nivel molecular, fisiológico, y neurológico para establecer concentraciones seguras (Figueroa et al., 2024).

Los metales pesados pueden ser bioacumulados por los seres humanos a través de diversas vías como la inhalación de partículas de plomo o la ingestión de alimentos contaminados, lo que provoca su almacenamiento en órganos, huesos y dientes. Los efectos de su toxicidad varían según la edad, en particular, el mercurio en su forma metilmercurio, es altamente tóxico y afecta el sistema nervioso y cardiovascular, además de estar relacionado con el cáncer. La exposición crónica al arsénico inorgánico provoca arsenicosis que se manifiesta con problemas respiratorios, cardiovasculares, gastrointestinales y cáncer. Por otro lado, el cadmio se acumula principalmente en el hígado y riñón, causando daños irreversibles incluso bajas concentraciones, con una vida media en el riñón es hasta 30 años (Reyes et al., 2016).

Los resultados de esta revisión sistemática resaltan la importancia de evaluar continuamente los niveles de metales pesados en peces y la implementación de estrategias efectivas para mitigar la contaminación. Es esencial promover prácticas pesqueras y acuáticas sostenibles y mejorar la regulación ambiental para proteger la salud humana como la biodiversidad acuática. Por las diversas actividades que realiza el hombre como la contaminación por relaves mineros que está presente en el lago Titicaca, esto ocasiona daños y degradación de los recursos hidrobiológicos, como las especies de peces nativos *Orestias ispi* y *Orestias agassii*, que habitan en este ecosistema lítico, y que son de consumo humano directo de la población de Puno, Perú. Estos organismos se consideran buenos bioindicadores de la contaminación por metales pesados, aunque están presentes en varios niveles tróficos y tienen el potencial de bioacumular y biomagnificar metales (Arbulu y Sánchez, 2022; Masco et al., 2022) en las últimas décadas, los estudios de metales pesados se han incrementado en las dos debido a la contaminación generada por la concentración de minerales en la zona altoandina (Estrada y Machuca, 2021). Asimismo, la contaminación del medio hídrico con "minerales pesados se ha convertido en un problema mundial muy grave y de preocupación científica, porque los metales no son biodegradables y la mayoría de ellos tienen efectos secundarios en los organismos, causando enfermedades (García y Torres, 2022) y en el Perú es un problema común a lo largo de la costa, sierra y selva donde se expone la población humana siendo los más vulnerables los niños y los adultos.

Por ello, es importante la integración de la estética en el monitoreo ambiental que no solo permite una comprensión más completa de la salud del ecosistema, sino que también promueve la conservación ética y la restauración de su belleza natural, reconociendo la interdependencia entre el bienestar humano y el medio ambiente (Argota-Pérez et al., 2024).

CONCLUSIONES

El contenido de metales pesados en peces es una preocupación ambiental y de salud pública significativa. Esta revisión, utilizando el método PRISMA, proporciona una visión comprensiva de los niveles de metales pesados en diversas especies de peces y destaca la necesidad de acciones preventivas y correctivas. Los metales encontrados en las diversas especies fueron aluminio (Al), arsénico (As), calcio (Ca), cadmio (Cd), cobre (Cu), cromo (Cr), hierro (Fe), magnesio (Mg), manganeso (Mn), mercurio (Hg), metilmercurio (MeHg), níquel (Ni), plomo (Pb), potasio (K), sodio (Na) y zinc (Zn); siendo el más frecuente en las diferentes especies estudiadas en los departamentos de Pasco, Huancavelica, Ancash, Puno, Cuzco, Ayacucho, Cajamarca, Lima, Tacna, y Ucayali, es el plomo y el cadmio. La especie más estudiada en Perú sobre metales pesados fue la trucha arcoíris *Oncorhynchus mykiss*. Finalmente, cabe desataracar que existen muchos ecosistemas afectados con metales pesados por las diversas actividades que realiza el hombre, sin embargo, no se encuentran reportes de peces estudiados, por lo tanto, es necesario realizar este tipo de estudios en diferentes regiones, como en la amazonia para generar reportes y permitirá tomar decisiones acertadas.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional de Ucayali por la financiación para la realización del presente manuscrito sobre metales pesados en peces en el Perú.

BIBLIOGRAFÍA

Aguilar, EJ. 2022. Determinación de mercurio en peces de consumo directo y su relación con la salud de gestantes atendidas en el centro de Salud Metropolitano - Ilave, marzo 2022 (en línea). Disponible en <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/10773>

Arbulu, Y; Sánchez, G. 2022. Plomo, mercurio y cobre en el hígado y músculo de *Orestias ispi* y *Orestias agassii* del lago Titicaca (Perú) 2018 (en línea). Rebiol 42(1):3-10. Disponible en <https://doi.org/10.17268/rebiol.2022.42.01.01>

- Argota-Pérez, G; José-Lannacone; Rodríguez-Santiago, M. 2024. Valor estético desde una perspectiva filosófica en el biomonitoring ambiental de la contaminación por metales pesados en ecosistemas acuáticos (en línea). Biotempo 21(1):87-93. Disponible en <https://doi.org/10.31381/biotempo.v21i1.6445>
- Armiñana, R; Morales, L; Padilla, A; Quintero, O. 2024. Bioacumulación de metales pesados en los músculos de *Clarias gariepinus* y su incidencia en la salud humana (en línea). ULEAM Bahía Magazine (UBM) 5(8):10-17. Disponible en <https://doi.org/10.56124/ubm.v5i8.0001>
- Arriaga, AP; Caudillo, P; Salazar, J; Torres, ED; Lares, J de J; Delgado, D. 2024. Intoxicación con metales pesados: una revisión de la literatura (en línea). Ciencia y Frontera 2:16-28. Disponible en <https://doi.org/https://doi.org/10.61865/j.cyfsl.2024.cec.v-5a48>
- Bartz, KK; Hannam, MP; Wilson, TL; Lepak, RF; Ogorek, JM; Young, DB; Eagles-Smith, CA; Krabbenhoft, DP. 2023. Understanding drivers of mercury in lake trout (*Salvelinus namaycush*), a top-predator fish in southwest Alaska's parklands (en línea). Environmental Pollution, 330:121678. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121678>
- Bernal-Alviz, J; Córdoba-Tovar, L; Pastrana-Durango, D; Molina-Polo, C; Buelvas-Soto, J; Cruz-Esquivel, Á; Marrugo-Negrete, J; Díez, S. 2025. Influence of environmental and biological factors on mercury accumulation in fish from the Atrato River Basin, Colombia (en línea). Environmental Pollution, 366 (October 2024). Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.125345>
- Bertolotti, F; Noé, N. 2018. Concentración de plomo, mercurio y cadmio en músculo de peces y muestras de agua procedentes del Río Santa, Ancash – Perú (en línea). Salud y Tecnología Veterinaria 6(1):35. Disponible en <https://doi.org/https://doi.org/10.20453/stv.v6i1.3376>
- Brousett-Minaya, MA; Chirinos-Marroquín, M; Biamont-Rojas, I. 2021. Impacto de la Minería en Aguas Superficiales de la Región Puno-Perú (en línea). Fides Et Ratio, 21:187. Disponible en http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&id=S2071-081X2021000100011&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Castro-Gonzales, N; Calderón-Sánchez, F; Pérez-Marroquín, G. 2024. Análisis espacial de metales pesados en suelos agrícolas de la subcuenca Atoyac-Zahuapan y riesgos de salud pública (en línea). Agricultura, Sociedad y Desarrollo, 21(1):84-99. Disponible en <https://doi.org/10.22231/asyd.v21i1.1593>
- Chen, Y; Zheng, L; Chen, X; Hu, J; Li, C; Zhang, L; Cheng, H. 2024. Distribution of mercury and methylmercury in aquacultured fish in special waters formed by coal mining subsidence (en línea). Ecotoxicology and Environmental Safety, 280:116546. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116546>
- Chui, HN; Belizaro, G; Huaquito, E; Sardon, DL; Calatayud, AP; Huanca, BR. 2021. Elementos químicos esenciales en la trucha Arco Iris, *Oncorhynchus Mykiss*, en sitios

- productivos en dos provincias del noroeste del lago Titicaca, Perú (en línea). Revista Boliviana de Química 38(2):56-61. Disponible en <https://doi.org/10.34098/2078-3949.38.2.1>
- Chui, HN; Roque, B; Huaquisto, E; Sardón, DL; Belizario, G; Calatayud, AP. 2021. Heavy metals in intensive farmed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) from northwestern Titicaca Lake (en línea). Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú 32(3):1-10. Disponible en <https://doi.org/10.15381/RIVEP.V32I3.20398>
- De la Cruz Palomino, F. 2024. Metales pesados en agua y truchas de las estaciones pesqueras del río Apacheta, Ayacucho. Tayacaja 7(1):53-59. Disponible en <https://revistas.unat.edu.pe/index.php/RevTaya/article/view/224>
- Domínguez, A; Mora, Y; Betancourt, JE; Fong, O; Cala, DL. 2023. Hallazgos tisulares en peces adultos de *Gambusia punctata* (Poey 1854) crecidos bajo influencia minera (en línea). Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú 34(2):e25097. Disponible en <https://doi.org/10.15381/rivep.v34I2.25097>
- Estrada, GE; Machuca, I. 2021. Determinación de concentración de metales pesados en trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*) y el riesgo para el consumo humano en la provincia de San Miguel – Cajamarca (en línea). Universidad Privada del Norte. Universidad Privada del Norte. Disponible en <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/4730681>
- Figueroa, MF; Martín, AR; Encinas, KK. 2024. Efectos tóxicos y comparación de las NOM de metales pesados en agua con normas internacionales (en línea). Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinaria, 8(1):5088–5104. Disponible en https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i1.9847
- Franco-Fuentes, E; Moity, N; Ramírez-González, J; Andrade-Vera, S; Hardisson, A; Paz, S; Rubio, C; Martín, V; Gutiérrez, ÁJ. 2023. Mercury in fish tissues from the Galapagos marine reserve: Toxic risk and health implications (en línea). Journal of Food Composition and Analysis, 115(October 2022). Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104969>
- Fupuy, JA; Alvitres, V; Chaname, J. 2023. Metales pesados en sedimentos y su bioacumulación en *Donax sp* y *Olivella columellaris* del intermareal arenoso de playas del distrito San José - Lambayeque, julio 2021 – abril (en línea). Ciencia y Sociedad 3(6):41-51. Disponible en <https://revistas2.unprg.edu.pe/ojs/index.php/CURSO/article/view/586>
- García, H; Torres, P. 2022. Niveles de contaminación en peces por metales pesados debido al vertimiento de aguas residuales en el río Shilcayo, Tarapoto 2022 (en línea). Universidad César Vallejo. Disponible en <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/112737>
- Gomez, BL; Mamani, MM. 2022. Estudio del nivel de contaminación por metales pesados (Pb, Cu, Ar, Cd y Fe) en la columna de agua de las zonas marino costeras de Ilo, Perú. Universidad Nacional de Moquegua.
- González, O; Murga, LR. 2020. Evaluación de metales pesados en ríos y truchas *Oncorhynchus mykiss* de la región Pasco, Perú (en línea). Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad 3(2):32-48. Disponible en <https://doi.org/10.46380/rias.v3i2.93>
- Guapi, G; Guerron, V; Moreno, V. 2022. Valoración del riesgo para la salud por consumir bocachico y dama con metales pesados (en línea). Pentaciencias 4(3):272-288. Disponible en <https://editorialalema.org/index.php/pentaciencias/article/view/189>
- Higueras, P; Esbri, JM; García, E. 2018. La geología es noticia, Cinabrio fuente del único metal pesado líquido (en línea). Enseñanzas de Las Ciencias de La Tierra, 26(3):382-383. Disponible en <https://www.raco.cat/index.php/ECT/article/view/343209/434354>
- Laske, SM; Burke, SM; Carey, MP; Swanson, HK; Zimmerman, CE. 2023. Investigating effects of climate-induced changes in water temperature and diet on mercury concentrations in an Arctic freshwater forage fish (en línea). Environmental Research, 218(October 2022), 114851. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114851>
- Llanos, M; Muñiz, AA; Muñiz, MH; Vílchez, GL; Cotrina, GG. 2024. Contaminación por metales pesados de microcuenca del río Alto Huallaga y suelos agrícolas (en línea). Revista Alfa 8(22):41-48. Disponible en <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v8i22.246>
- Londoño, LF; Londoño, PT; Muñoz, FG. 2016. Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal (en línea). Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, 14(2):145-153. Disponible en http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612016000200017&lng=en&nrm=iso&tlang=es
- Lugo, WP; Cadavid, E. 2020. Revisión documental como estrategia para identificar contaminantes químicos del pescado bocachico (*Prochilodus magdalenae*) que influyen en la salud de los consumidores en el municipio de Monteira Cordoba. Educación en Ciencia y Memorias VII Congreso Nacional de Investigación en Educación en Ciencias Tecnología. Asociación Colombiana para la Investigación en Educación en Ciencia y Tecnología, 11.
- Manay, R; Fupuy-Chung, J; Iglesias-Osores, S; Chanamé-Céspedes, J. 2020. Bioacumulación de metales pesados en *Donax obesulus* del litoral de Lambayeque, Perú (en línea). Preprint 25(1):1-14. Disponible en <https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.828>
- Mancilla-Villa, OR; Gómez-Villaseñor, L; Palomera-García, C; Hernández-Vargas, O; Guevara-Gutiérrez, RD; Ortega-Escobar, HM; Flores-Magdaleno, H; Can-Chulim, Á; Sánchez-Bernal, EI; Avelar-Roblero, JU; Cruz-Crespo, E. 2023. Metales pesados en agua y macroinvertebrados de la cuenca del río Ayuquila-Armería (Méjico) y sus afluentes (en línea). Revista Terra Latinoamericana, 41:e1603. Disponible en <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1603>

- Martoredo, I; Calvão, LB; Evangelista, JC; Lobato, AB; De Almenida, A; Sousa, CJ; Cesar, A. 2024. Trends in mercury contamination distribution among human and Animal Populations in the Amazon Region (en línea). *Toxics* 12(204):1-28. Disponible en <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/toxics12030204>
- Masco, ML; Callo, Y; Loaiza, A; Cantero, AN; Surco, J. 2022. Evaluación de la concentración de metales pesados (Pb, Hg, Cd) y As en pescados expendidos en los mercados de la ciudad del Cusco, Perú (en línea). *Q'Eña*, 12(2):29-34. Disponible en <https://doi.org/10.51343/rq.v12i2.975>
- Méniz-Oshiro, E; Lannacone, J. 2022. Ecotoxic Effects of Heavy Metals on *Daphnia magna* and *Paracheirodon innesi* in an Amazonian Peruvian River (en línea). *Acta Biológica Colombiana* 28(3):492-505. Disponible en <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/actabiol>
- Mohamadi, S; Saeedi, M. 2024. Review and assessment of mercury contamination and risk in sediment and food chain near a chlor-alkali plant (en línea). *Emerging Contaminants*, 10(4). Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2024.100384>
- Morales, E; Bustos, M. del P; Pinglo, F; Cueva, E; Díaz, E. 2022. Estudios recientes de metales pesados en peces: Una revisión bibliográfica con énfasis en Perú (en línea). Recent studies of heavy metals in fish: A literature review with emphasis on Peru Estudos recentes sobre metais pesados em peixes: Uma revisão bibliográfica. 3(1):10-19. Disponible en <https://revista.unibagua.edu.pe/index.php/dekamuagropec/article/view/68/43>
- Murga, LR; González, O. 2020. Evaluación de metales pesados en ríos y truchas *Oncorhynchus mykiss* de la región Pasco, Perú (en línea). *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad* 3(2):32-48. Disponible en <https://doi.org/10.46380/rias.v3i2.93>
- Naija, A; Yalcin, HC. 2023. Evaluation of cadmium and mercury on cardiovascular and neurological systems: Effects on humans and fish (en línea). *Toxicology Reports*, 10(April):498–508. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2023.04.009>
- Ninaja, PN; Ortiz, R. 2020. Niveles de mercurio en los pescados de mayor consumo en los mercados de Tacna exceden límites permitidos por entidades regulatorias (en línea). *Revista Médica Basadrina*, 14(1):27-32. Disponible en <https://doi.org/10.33326/26176068.2020.1.922>
- Novoa, HH; Arizaca, A; Huisa, F. 2022. Efectos en los ecosistemas por presencia de metales pesados en la actividad minera de pequeña escala en Puno (en línea). *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 24(3):182-189. Disponible en <https://doi.org/10.18271/ria.2022.361>
- Oliva, BE; Muñoz-Wug, M; Chaulón-Velez, G; Mazariegos-Ortíz, C; Xajil-Sabán, M; Santos-Ruiz, F; Quevedo-López, G; Pérez-Sabino, F. 2023. Metales en tejido muscular de peces y camarones de la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, Guatemala (en línea).
- Ciencia, Tecnología y Salud 10(2):116-133. Disponible en <https://doi.org/10.36829/63cts.v10i2.1357>
- Ortega-Moctezuma, O; Zárate-Pérez, J; Alba-Alba, CM; Jiménez-Hernández, M; Ramírez-Girón, N. 2023. Enfermedad renal crónica asociada a la exposición a metales pesados y productos agroquímicos en Latinoamérica (en línea). *Enfermería Nefrológica* 26(2):120-131. Disponible en <https://doi.org/10.37551/s2254-28842023012>
- Paiva, E; Barbosa, M; Barbosa de Freitas, JA; Pinheiro, M. da C. 2023. Contaminação por mercúrio em peixes na Amazônia brasileira Mercury contamination in fish in the brazilian Amazon Contaminación por mercurio en peces en la Amazonia brasileña (en línea). *Acervo Saúde* 24(8):1-10. Disponible en <https://doi.org/10.25248/REAS.e15348.2024>
- Panduro, G; Rengifo, GC; Barreto, JL; Arbaiza-Peña, ÁK; Lannacone, J; Alvariño, L; Crnobrna, B. 2020. Bioaccumulation of mercury in fish and risk of ingestion in an indigenous community in the Peruvian Amazonia (en línea). *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 31(3):1–15. Disponible en <https://doi.org/10.15381/RIVEP.V31I3.18177>
- Quintana, SA. 2021. Niveles de As, Cd, Cu, Mn, Se y Zn en el tejido muscular y hepático del *Cheilodactylus variegatus* Valenciennes, 1833 "Pintadilla" en la zona costera de Lima, Perú (en línea). *Revista de La Sociedad Química Del Perú* 87(2):137-148. Disponible en <https://doi.org/10.37761/rsqp.v87i2.337>
- Quispealaya, L; Acharte, ML; Enriquez, A; Asto, MJ. 2020. Contamination With Heavy Metals in Sediments and Trout in the Opamayo and Sicra Rivers, Huancavelica – Perú (en línea). *Revista de Investigacion Cientifica Siglo XXI* 1(1):68–78. Disponible en <https://doi.org/https://doi.org/10.54943/rcsxxi.v1i1.12>
- Reyes, Y; Vergara, I; Torres, O; Díaz, M; González, E. 2016. Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria (en línea). *Ingeniería, Investigación y Desarrollo* 16(2):66-77. Disponible en <https://doi.org/10.1007/BF02796157>
- Robles, M. 2024. Seguridad alimentaria: Riesgo asociados metales pesados sobre la salud humana (en línea). *Journal of American Health* 7(2):1-19. Disponible en <https://www.jah-journal.com/index.php/jah/article/view/204/402>
- Romero, I. 2024. Dime qué comes y te diré qué bioacumulas (en línea). *Revista Digital Universitaria*, 25(4):1-10. Disponible en <https://doi.org/http://doi.org/10.2201/ceide.1607679e.2024.25.4.7>
- Rosales, E; Cotrina, M; Valdivieso, G; Sales, F; García, E; Ordoñez, ES. 2019. Bioacumulación de metales pesados en tres especies de peces bentónicos del río Monzón, región Huánuco (en línea). *Rebiol* 40(1):69-78. Disponible en <https://doi.org/10.17268/rebiol.2020.40.01.08>
- Sánchez-Araujo, VG; Chávez-Araujo, ER; Palomino-Pastrana, PA; Alvarez-Ticllasaca, A. 2021. Presencia de

- metales pesados del río Ichu en zonas adyacentes al distrito de Huancavelica, Perú (en línea). Polo Del Conocimiento 6(5):3-13. Disponible en <https://doi.org/10.23857/pc.v6i5.2627>
- Santos, TA; Silva, RK; Rosa, LR; Silva da Veiga, MAM. 2023. The effect of selenium co-ingestion on mercury bioaccessibility in contaminated fish of the Amazon region (en línea). Environmental Advances, 14:1-7. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2023.100450>
- Santoyo, M; Tenorio, MG; Juárez, LI. 2024. Enemigos invisibles: Los metales pesados en el polvo de las calles y sus riesgos a la salud humana (en línea). RD-ICUAP, 10(24):236–242. Disponible en <https://doi.org/10.32399/icuap.rdic.2448-5829.2024.28.1280>
- Schiavo, B; Morton-Bermea, O; Meza-Figueroa, D; Arredondo-Palacios, TE. 2024. El mercurio como contaminante: fuentes, vías de exposición y efectos en la salud (en línea). Epistemus. Ciencia, Tecnología y Salud 18(36):e3604306. Disponible en <https://doi.org/10.36790/epistemus.v19i36.306>
- Stafi, S; Comby, I; Oliveira, A da R; dos Santos, DA; Schütz, KJ; Queiroz, MA da S; de Souza, MS; Marques, SLM; Bitencourt, KMS; Araújo, MO. 2024. Impacto de la exposición a metales pesados en la progresión del cáncer renal (en línea). ARACÉ 6(2):3751-3766. Disponible en <https://doi.org/10.56238/arev6n2-197>
- Tejada-Purizaca, TR; García-Chevesich, PA; Ticona-Quea, J; Martínez, G; Martínez, K; Morales-Paredes, L; Romero-Mariscal, G; Arenazas-Rodríguez, A; Vanzin, G; Sharp, JO; McCray, JE. 2024. Heavy Metal Bioaccumulation in Peruvian Food and Medicinal Products (en línea). Foods 13(5):762. Disponible en <https://doi.org/10.3390/foods13050762>
- Tomailla, J; Lannacone, J. 2018. Toxicidad letal y subletal del arsénico, cadmio, mercurio y plomo sobre el pez *Paracheirodon innesi* neon tetra (Characidae) (en línea). Toxicología 35(2):95-115. Disponible en <https://rev.aetox.es/wp/wp-content/uploads/2018/12/Revista-de-Toxicología-35.2-17-27.pdf>
- Uriarte, AS; Rivera, EJ; Cuadros, SM. 2022. Determinación de la carga mísica de zinc en la laguna Pajuscocha, Ancash, Perú (en línea). Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinaria 6(4):4675–4687. Disponible en https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i4.2969
- Vega, C; Araujo, J; Román, F; Fernandez, L. 2018. Mercurio en peces de pozas mineras en Madre de Dios, Perú (en línea). In Centro de Innovación Amazónica (Issue August). Disponible en <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21534.97609>
- Villanueva, TL; Belizario, G; Chui, H; Perez, K. 2023. Evaluación de la concentración de metales pesados en aguas superficiales del río Chacapalca para fines de riego (en línea). Revista Boliviana de Química 40(3):89-96. Disponible en <https://doi.org/10.34098/2078-3949.40.4.1>
- Yáñez-Jácome, GS; Romero-Estévez, D; Vélez-Terreros, PY; Navarrete, H. 2023. Total mercury and fatty acids content in selected fish marketed in Quito – Ecuador. A benefit-risk assessment (en línea). Toxicology Reports 10(April):647-658. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2023.05.009>
- Yurkowski, DJ; McCulloch, E; Ogloff, WR; Johnson, KF; Amiraux, R; Basu, N; Elliott, KH; Fisk, AT; Ferguson, SH; Harris, LN; Hedges, KJ; Jacobs, K; Loewen, TN; Matthews, CJD; Mundy, CJ; Niemi, A; Rosenberg, B; Watt, CA; McKinney, MA. 2023. Mercury accumulation, biomagnification, and relationships to $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{34}\text{S}$ of fishes and marine mammals in a coastal Arctic marine food web (en línea). In Marine Pollution Bulletin (193). Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115233>

Artículo recibido en: 10 de agosto del 2024

Aceptado en: 11 de abril del 2025