



Peces de la laguna Ñapique: Un riesgo para el consumo humano por acumulación de metales pesados (Pb, Cd, Hg, Cu)

Fish from the Ñapique lagoon: A risk for human consumption due to heavy metal (Pb, Cd, Hg, Cu) accumulation

Adriana Paola Albán Mauricio^{1*}; Ronald Wilmer Marcial Ramos¹

1 Escuela Profesional de Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Piura. Urb. Miraflores S/N, Castilla, Piura, Perú.

* Autor corresponsal: adriana.albanm@gmail.com (A. P. Albán Mauricio).

ORCID de los autores:

A. P. Albán Mauricio: <https://orcid.org/0000-0001-9614-7741>

R. W. Marcial Ramos: <https://orcid.org/0000-0002-3836-1894>

RESUMEN

Se determinó la concentración de plomo (Pb), cadmio (Cd), mercurio (Hg) y cobre (Cu) en 10 especies de peces capturados por la pesca de subsistencia en la Laguna Ñapique, Piura, mediante espectrofotometría de absorción atómica. Los resultados evidencian un riesgo toxicológico severo. El 100% de las especies analizadas superó los límites máximos permisibles (LMP) para Pb, alcanzando niveles críticos en *Rhoadsia altipinna* (41,96 mg/kg). Asimismo, *Pterygoplichthys pardalis* presentó concentraciones alarmantes de Cd (3,23 mg/kg) y Cu (70,13 mg/kg). El Hg excedió el límite en *Trichomycterus piurae* (3,29 µg/kg). Esta elevada acumulación en peces de autoconsumo representa una amenaza directa a la salud pública. La ingesta continua de Pb y Hg puede causar graves déficits neurotóxicos, mientras que la exposición al Cd se asocia con disfunción renal crónica, poniendo en especial peligro a poblaciones vulnerables.

Palabras clave: Ictiofauna; redes de enmalle; consumo humano directo; bioacumulación; contaminación.

ABSTRACT

The concentration of lead (Pb), cadmium (Cd), mercury (Hg), and copper (Cu) was determined in 10 fish species caught in subsistence fisheries in the Ñapique Lagoon, Piura, using atomic absorption spectrophotometry. The results show a severe toxicological risk. 100% of the analyzed species exceeded the maximum permissible limits (MPL) for Pb, reaching critical levels in *Rhoadsia altipinna* (41.96 mg/kg). Likewise, *Pterygoplichthys pardalis* showed alarming concentrations of Cd (3.23 mg/kg) and Cu (70.13 mg/kg). Hg exceeded the limit in *Trichomycterus piurae* (3.29 µg/kg). This high accumulation in fish for self-consumption represents a direct threat to public health. Continuous intake of Pb and Hg can cause severe neurotoxic deficits, while Cd exposure is associated with chronic renal dysfunction, placing vulnerable populations at particular risk.

Keywords: Ichthyofauna; gillnets; direct human consumption; bioaccumulation; contamination.

Recibido: 13-12-2024.

Aceptado: 04-10-2025.



Esta obra está publicada bajo la licencia [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

INTRODUCCION

En la actualidad, la contaminación del agua constituye un problema alarmante tanto en los países desarrollados como en aquellos en vías de desarrollo. La contaminación de los recursos hídricos por metales pesados representa un problema crítico que afecta de forma negativa a los seres humanos, plantas y animales (Rezania et al., 2016). Las fuentes antropogénicas como los efluentes domiciliarios, actividades agrícolas, vertidos industriales y la minería constituyen las principales fuentes de contaminación que incorporan grandes cantidades de metales como arsénico, plomo, cromo, cadmio y zinc en medios acuáticos (Torres et al., 2023).

Los peces se han consolidado como bioindicadores especialmente valiosos de la calidad ambiental debido a su sensibilidad a diversos tipos de perturbaciones antrópicas, incluyendo la contaminación química, eutrofización, acidificación y modificación de hábitats (Habib et al., 2024). Estos organismos ocupan diversos niveles tróficos en las tramas alimentarias acuáticas e interactúan estrechamente con el agua y sedimentos, lo que los convierte en bioindicadores confiables de contaminación por metales pesados (Tenji et al., 2020).

Las comunidades de peces vienen siendo utilizadas ampliamente a nivel mundial mediante índices multimétricos como el Índice de Integridad Biótica (IBI) desarrollado por Karr (1981), el cual evalúa atributos ecológicos como la riqueza de especies, composición trófica, abundancia y presencia de anomalías para caracterizar y definir la calidad del agua en diversos ecosistemas acuáticos (Karr et al., 1986; Zhu et al., 2023).

Los metales pesados son aquellos elementos sin función biológica conocida, cuya presencia en determinadas cantidades en los seres vivos afecta las funciones vitales de los organismos. En este sentido, su biodisponibilidad, entendida como la capacidad para atravesar libremente la membrana celular de un organismo desde el medio, está relacionada de manera directa con su toxicidad potencial (Fichet et al., 1999). Los organismos concentran los metales en sus

tejidos mediante un proceso denominado bioacumulación, que implica el aumento progresivo de la cantidad de sustancia como consecuencia de que la velocidad de absorción supera la capacidad para eliminar dicha sustancia (Demir et al., 2024).

Los humedales costeros en Perú ocupan cerca del catorce por ciento del territorio nacional con más de seis millones y medio de hectáreas, siendo vitales para la biodiversidad, como reguladores del clima y el ciclo hidrológico, además de servir como fuentes de recursos para consumo directo (Gomez Vilca et al., 2023). El humedal de Ñapique, ubicado en Sechura, posee gran importancia social y económica para los habitantes de la zona debido a la pesca de subsistencia y extracción de crustáceos y moluscos (Apaza et al., 2017). La presencia, extensión y el régimen hídrico de los humedales de Sechura están estrechamente relacionados al comportamiento hidrológico del río Piura, cuyo régimen y desembocadura han variado a lo largo del tiempo (Apaza et al., 2005).

Se ha demostrado que la bioacumulación de metales pesados en peces bentónicos de ecosistemas similares representa un riesgo significativo para la salud humana, particularmente en poblaciones que dependen de estos recursos para su alimentación (Rosales et al., 2020).

Actualmente, la región Piura atraviesa por una situación preocupante con respecto a la contaminación del agua por metales, los cuales provienen de desechos industriales, descarga de productos de uso agrícola, entre otras fuentes antrópicas. Por esta razón, existe la necesidad urgente de conocer si se está afectando a los peces de la laguna Ñapique, que son utilizados para consumo por parte de la población aledaña, lo que puede estar perjudicando la salud de estas comunidades.

Por este motivo, el presente trabajo determinó la concentración de metales pesados (Pb, Cd, Hg y Cu) en especies ícticas de la laguna Ñapique, con el objetivo de evaluar los riesgos para la salud pública de las comunidades que dependen de esta pesquería de subsistencia.

MATERIAL Y METODOS

La laguna Ñapique ($5^{\circ}25'30''$ L.S.- $80^{\circ}34'50''$ L.O.), está ubicada en el distrito Cristo nos Valga, provincia de Sechura, a una hora y cuarenta y cinco minutos de la ciudad de Piura, norte del Perú. En la zona de descarga de los balsilleros se tomó la ubicación con el GPS GARMIN MAP 64 S. Las muestras fueron colectadas mensualmente de julio a octubre 2023. Las faenas las realizaron los pescadores en balsillas (Figura A1, Anexo),

empleando redes de enmallé, con abertura de malla de $2\frac{1}{2}''$, $2\frac{3}{4}''$ y $3''$ con una altura de 2 o 3 metros, que fueron izadas generalmente en horas de la mañana. Se adquirieron los individuos de la pesca del día, mediante un muestreo por conveniencia se calificó a los individuos según los criterios físicos-organolépticos (piel, ojos, branquias, mucosidad y olor) de acuerdo con la Norma Técnica 700.002 (SANIPES, 2010).

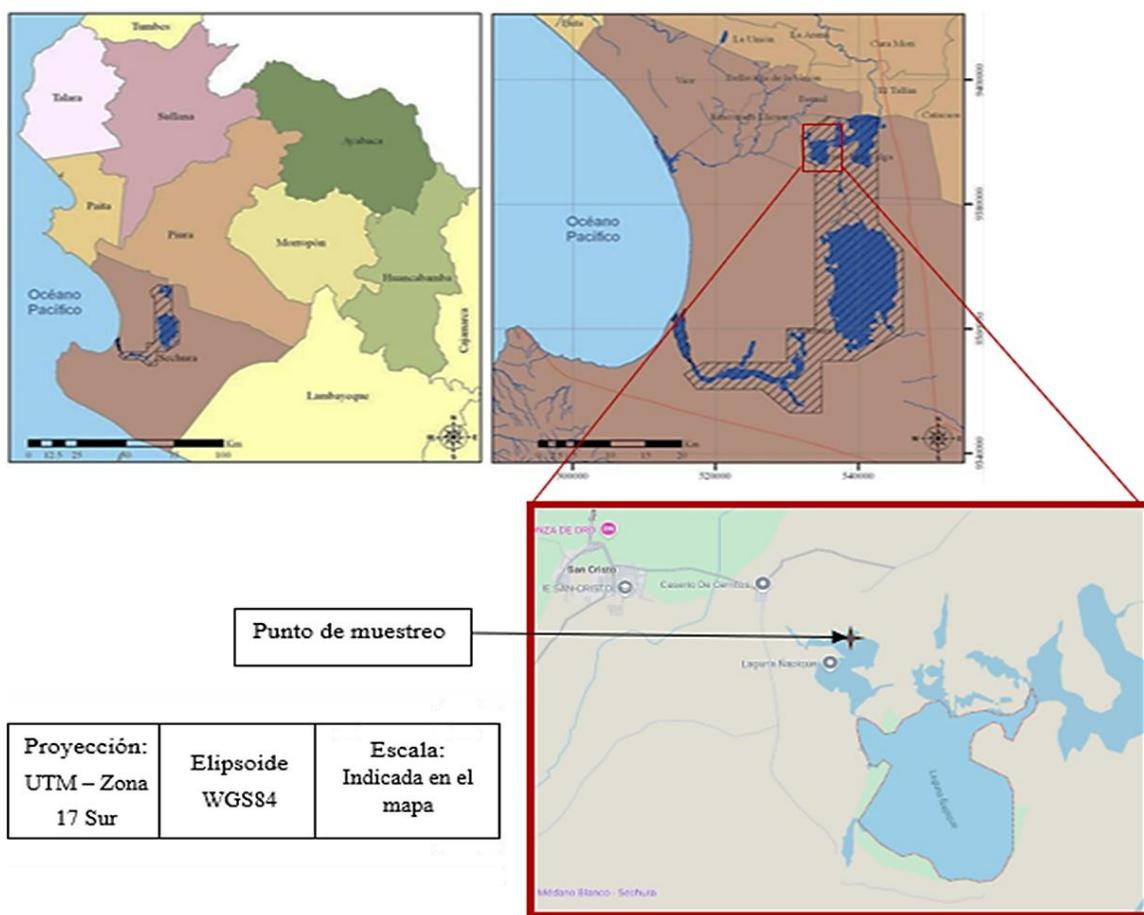


Figura 1. Ubicación geográfica de la laguna Ñapique, distrito Cristo nos Valga, provincia de Sechura.

Se anotó el puntaje obtenido y se seleccionó una muestra total de 205 peces, los que se trasportaron enteros en un cooler de 15 litros con 6 litros de gelpack.

Una vez instalados en el laboratorio de Ecología de la Escuela de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de Piura, se limpiaron las muestras y se colocaron en bandejas plásticas, luego se empleó la "Lista de los peces de aguas continentales del Perú" (Ortega et al., 2012) y clave para peces de agua dulce (Taphorn y Lilyestrom, 1984) con las que se determinaron las especies. Los ejemplares rotulados respectivamente con sus nombres y con la cámara digital Sony mirrorless IICE-7C fueron fotografiados.

Para la preparación de las muestras frescas se pesó con una balanza gramera digital CAMRY EK9620K con sensibilidad de 0,01 gramos, una vez tarada se colocó a cada uno de los individuos y se tomó nota de su peso, seguidamente sobre un ictiómetro KH-PISCIS se ubicaron los ejemplares y se registraron sus tallas. A continuación, con un cuchillo de acero inoxidable se diseccionó, obteniéndose los filetes sin piel. En la balanza se colocó los trozos de filete hasta que se obtuvo un compósito de

200 g de muestra y se guardaron en una bolsa ziploc de 31 x 27 cm debidamente rotuladas y se congelaron a -2 °C.

Se trabajaron las muestras a través del método de calcinación, por lo que se pesaron 200,0 g de tejido húmedo en una balanza analítica UXILAI SCIENTIFIC (sensibilidad: 0,001 g, USA). El material fue seccionado en partes pequeñas sobre una placa de vidrio Kyntel y sometido a secado en estufa Ecocell modelo 22-Ecoline (Alemania) a 70 °C durante 6 horas. Posteriormente, el material fue transferido a crisoles de porcelana (60 mL) y se continuó el secado a 130 °C por 4 horas.

De 2 a 5 g del material seco molido en mortero de porcelana fueron calcinados en mufla Biobase modelo MC5-12-VMC a 400 °C durante 12 horas. Las cenizas enfriadas en desecador Tecnal modelo BDB010 470×370×510 mm, fueron disueltas con 5 mL de HNO₃ (1:1) y evaporadas lentamente en plancha calefactora hasta casi sequedad. El residuo fue nuevamente calcinado a 400 °C por 1 hora para obtener cenizas limpias. Las cenizas fueron disueltas con ácido nítrico al 1,0% (v/v), transferidas a fiolas Kyntel de 25 mL, filtradas con papel filtro y aforadas con ácido nítrico al 1,0%.

Las concentraciones de plomo (Pb), cadmio (Cd), cobre (Cu) y mercurio (Hg) fueron cuantificadas mediante espectrofotómetro de absorción atómica a la llama ice 3400 AAS [Perkin Elmer Corporation, USA]. Se continuó con el protocolo operacional: Las conexiones de solventes fueron colocadas en los frascos correspondientes en la parte trasera del equipo. Se seleccionó el método a la llama y se configuró la secuencia de análisis detallando el número de

muestras, nombres y diluciones. Para cada elemento analizado se seleccionaron los parámetros de calibración, estableciendo las unidades de concentración y las concentraciones de los estándares. Se instaló la lámpara específica para cada elemento y se configuró la posición óptica del equipo. Las lecturas fueron visualizadas inmediatamente en pantalla y cuantificadas según las curvas de calibración correspondientes a cada metal.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se analizaron muestras de músculo adquiridos de las zonas de descarga de los balsilleros que operan en la laguna Ñapique (Tabla 1).

Tabla 1

Especies de peces extraídas por la pesca de subsistencia en la Laguna Ñapique (Figura 2 y 3)

Familia	Especie	Nombre común
Characidae	<i>Eretmobrycon peruanus</i>	blanquito
	<i>Rhoadsia altipinna</i>	sardina
	<i>Brycon atrocaudatus</i>	cascafe
Eleotridae	<i>Dormitator latifrons</i>	monengue
Mugilidae	<i>Mugil cephalus</i>	lisa
Trichomycteridae	<i>Trichomycterus piurae</i>	life
Cichlidae	<i>Parachromis managuensis</i>	guapote
	<i>Oreochromis niloticus</i>	tilapia
Loricariidae	<i>Pterygoplichthys pardalis</i>	carachama
Heptapteridae	<i>Pimelodella yuncensis</i>	picalón

En la laguna Ñapique la mayoría de las personas adquieren pescado por compra directa en las casas de los balsilleros, desconociendo que estos peces están acumulando en su organismo algún tipo de contaminante como los metales pesados. Gammons et al. (2002) mencionan que el músculo de los peces es la porción del animal que típicamente se consume, por ello que el estudio realizado se centró en evaluar la concentración de metales pesados en esta parte de los peces.

Para *D. latifrons* el plomo se obtuvo 23,32 mg/kg (Figura 4), que sobrepasa el límite máximo permisible con respecto a lo establecido por SANIPES que es de 0,30 mg/kg, de acuerdo Botello & Villanueva (2004) estaría relacionado por su hábito detritívoro, ya que es un pez bentónico, por lo que entonces su proximidad con el fondo y la ingesta de grandes cantidades de detritus y sedimento pueden incrementar las concentraciones de metales tóxicos adquiridos por bioacumulación y biomagnificación.



Figura 2. I *Eretmobrycon peruanus* (blanquito) II *Rhoadsia altipinna* (sardina) III *Dormitator latifrons* (monengue) IV *Brycon atrocaudatus* (cascafe).

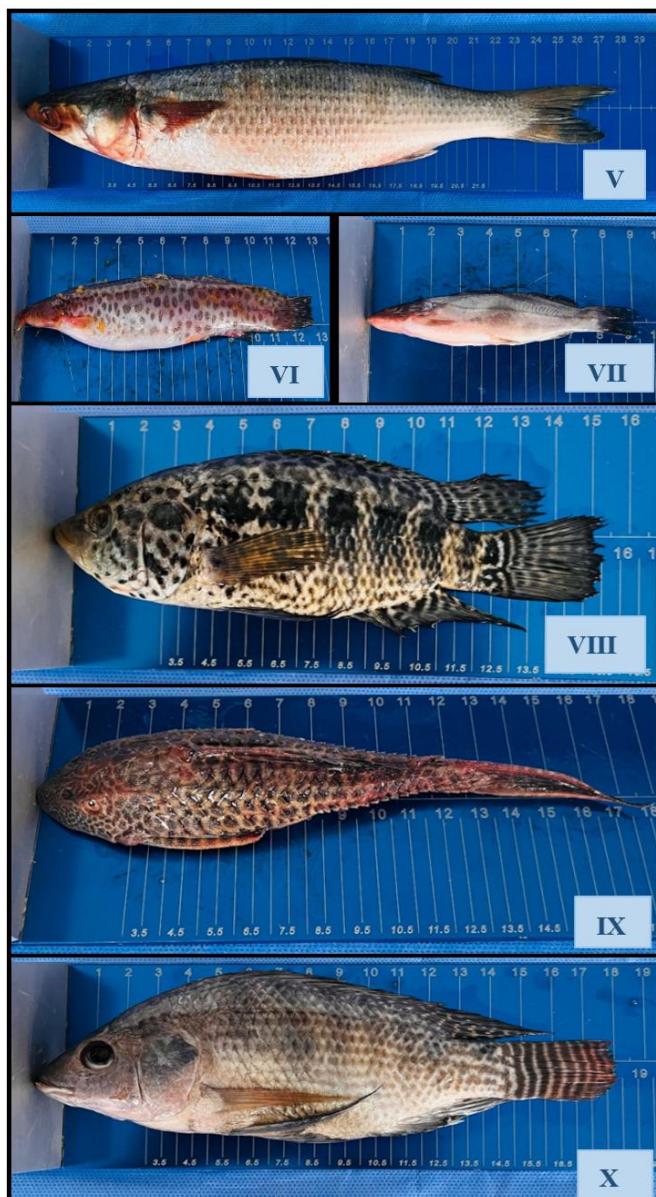


Figura 3. V *Mugil cephalus* (lisa). VI *Trichomycterus piurae* (life). VII *Pimelodella yuncensis* (picalón). VIII *Parachromis managuensis* (guapote). IX *Pterygoplichthys pardalis* (carachama). X *Oreochromis niloticus* (tilapia).

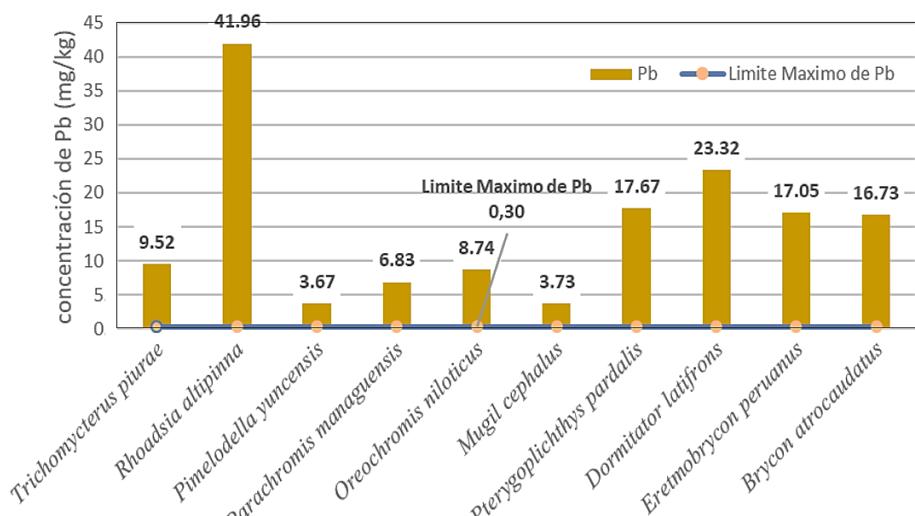


Figura 4. Plomo (Pb) en especies de peces capturados por la pesca de subsistencia en la Laguna Ñapique y su relación con el límite máximo permisible de 0,30 mg/kg.

En lo que respecta a *Pterygoplichthys pardalis* también excede el límite máximo permisible con 17,67 mg/kg para plomo (Figura 4), a pesar de que es una especie que no posee mucha musculatura, es muy apreciada por los pobladores quienes la consumen en caldo. Los loricarios son peces iliofagos que se alimentan de materia orgánica particulada y microrganismos como protozoarios, hongos y bacterias, que habitan en los fondos de las lagunas y ríos, en lugares de sustratos blandos, compuesto por barro y detritos (García et al., 2018). En relación con ello en el río Grijalva, Rodríguez et al. (2019) obtuvieron para *P. pardalis* 9,3 mg/kg superando el límite máximo permisible establecido por las NOM (Norma Oficial Mexicana), razón por la que sugieren tomar medidas en las que se efectúe un seguimiento amplio, considerando matrices ambientales que abarquen lo más cercano posible a la cadena trófica, así se podrá descartar si existe algún riesgo a los consumidores de esta especie.

La cantidad de plomo para *Brycon atrocaudatus* (16,73 mg/kg), *Eretmobrycon peruanus* (17,05 mg/kg), *Parachromis managuensis* (6,83 mg/kg), *Pimelodella yuncensis* (3,67 mg/kg), *Rhoadsia altipinna* (41,96 mg/kg) y *Trichomycterus piurae* (9,52 mg/kg) estuvieron por encima de los límites máximos permisibles establecidos por SANIPES. Bosch et al. (2016) señalan que la acumulación del plomo causa problemas neurológicos, alteraciones hematológicas, insuficiencia renal, hipertensión, disfunción hepática y cáncer, además, se ha reportado que en humanos produce a largo plazo reducción del coeficiente intelectual, dificultad de aprendizaje, retardo del crecimiento, dificultad de audición, entre otros. En Ñapique, *M. cephalus* obtuvo 3,73 mg/kg como resultado para plomo, por lo que Fazzio (2021) señala que esta especie es usada como bioindicador de calidad de agua, ya que la presencia de la misma no sólo se da en aguas salobres sino también en aguas continentales.

En *Oreochromis niloticus* el plomo fue de 8,74 mg/kg, excediendo el límite máximo permisible, Escobar et al. (2018), registro en músculo 9,61 mg/kg; Vergara y Rodríguez (2015) encontraron valores de 7,23 mg/kg, por lo que atribuyen la presencia del metal a su hábito alimenticio (omnívoro) y a una presencia latente de los contaminantes en el ecosistema.

Maldonado et al. (2015) para *Pterygoplichthys pardalis* obtuvieron 27,94 mg/kg de cobre superando ampliamente el límite máximo permisible, lo que es preocupante ya que este pez invasivo es muy frecuente en diferentes cuencas y cuya carne presenta un alto valor nutricional, del mismo modo se encontró la concentración de 70,13 mg/kg en cobre para la especie en los muestreos realizados en Ñapique (Figura 5).

Oreochromis niloticus para cobre se reportó 47,16 mg/kg superando ampliamente el límite máximo permisible establecido de 10 mg/kg. Márquez et al. (2008) detectaron las concentraciones para la misma especie en un rango de 1,3 - 3,2 mg/kg, Rodríguez et al. (2012) señalan que *O. niloticus* es uno de los peces de agua dulce, que además de su importancia en el mundo de la acuicultura, por distribuirse y adaptarse en varias regiones, también sirven como bioindicadores por ser susceptibles a la bioacumulación de los contaminantes metálicos.

Rodríguez et al. (2012) las concentraciones de Cadmio no rebasan los límites establecidos en la normativa mexicana que es de 0,02 mg/kg para *D. latifrons*, sin embargo, las concentraciones detectadas en sedimento de la zona de estudio superaron los límites permisibles, lo que indicó que se estaría iniciando el proceso de contaminación, de igual forma en Ñapique para la especie se obtuvo como resultado 0,12 mg/kg (Figura 6), excediendo el límite máximo permisible que es de 0,05 mg/kg que sería una clara señal de la contaminación ya existente en la laguna.

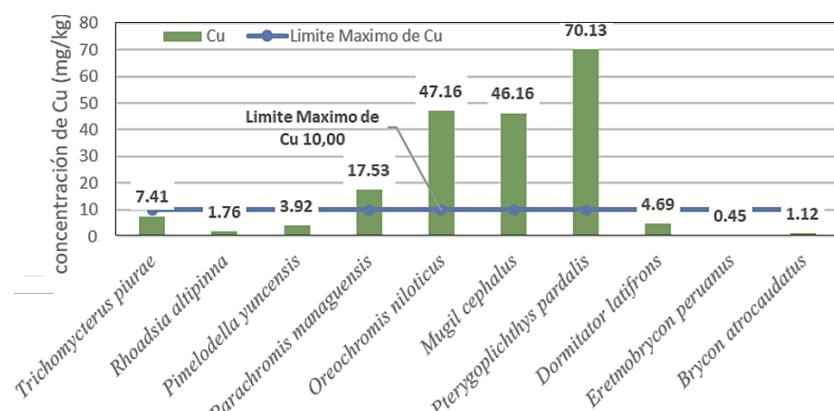


Figura 5. Cobre (Cu) en especies de peces capturados por la pesca de subsistencia en la laguna Ñapique en relación con el límite máximo permisible de 10,0 mg/kg.

Para Bertolotti & Noe (2018), las concentraciones de mercurio en *Trichomycterus piurae* fueron de 0,344 ug/kg en Catac, 0,433 ug/kg en Taricá y 0,284 ug/kg en Palmira; asimismo, Estrada & Cervantes (2021) reportaron 0,002 ug/kg en San Lorenzo y 0,001 ug/kg en Pampacuyoc, todos los valores se encontraron dentro de los límites máximos permisibles. En cambio, en Ñapique *Trichomycterus piurae* sobrepasó significativamente el límite máximo permitido con un valor de 3,29 ug/kg (Figura 7), esta notable discrepancia en los resultados se debe a diferentes fuentes de contaminación en los cuerpos de agua, teniendo en cuenta que Ñapique recibe aportes del río Piura y este a su vez de efluentes domésticos, industriales y otros. La recolección y análisis de muestras de aguas (época de estiaje, transición y avenida) se realizó en 12 puntos de monitoreo de la cuenca del río Piura, de acuerdo con el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Cuerpos Naturales de Agua Superficial,

establecido a través de la Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA. En la zona alta y media de la Cuenca del Río Piura se ha identificado la presencia de metales pesados tales como cobre, cadmio, mercurio, aluminio y arsénico cuyos valores exceden los estándares de calidad de agua – ECA, debido a la naturaleza de la zona (geoquímica de la cuenca Piura) y a los vestigios del pasivo ambiental de la mina CIA Turmalina, en la provincia de Huanca-bamba (Autoridad Nacional del Agua, 2019). Finalmente, de acuerdo a los resultados obtenidos todas las especies tienen al menos un metal que excede el límite máximo permisible, se espera que estos valores permitan, primero establecer el rol de los peces como bioindicadores de contaminación por metales pesados y segundo, a partir de la ruta de su consumo poner en alerta a autoridades a fin de implementar medidas de prevención y protección de las poblaciones que consumen estos recursos en el área de influencia de la laguna Ñapique.

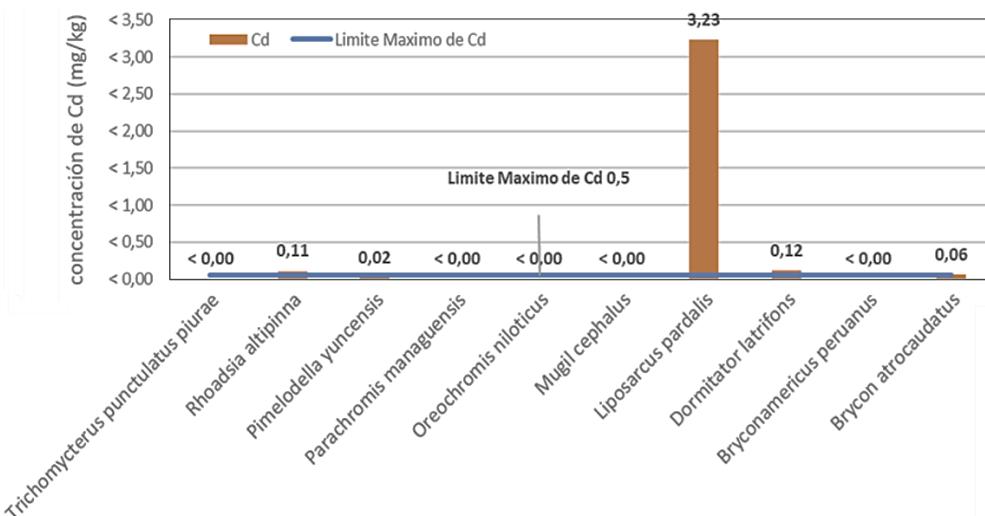


Figura 6. Cadmio (Cd) en especies de peces capturados por la pesca de subsistencia en la laguna Ñapique en relación con el límite máximo permisible de 0,5 mg/kg.

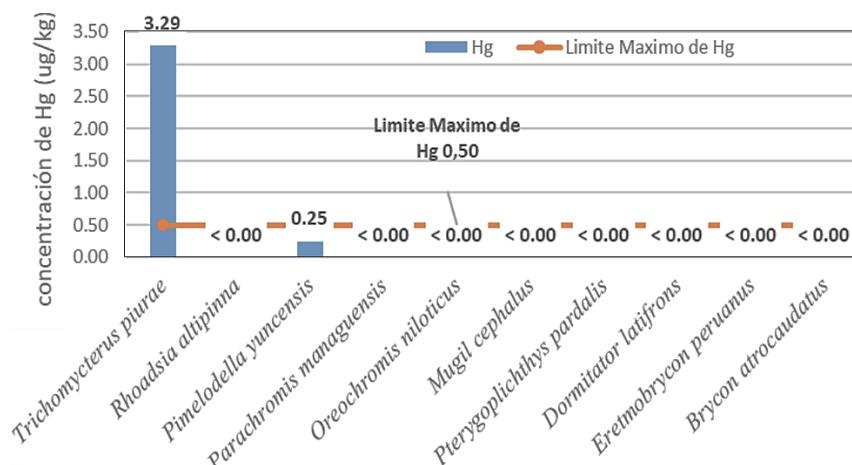


Figura 7. Mercurio (Hg) en especies de peces capturados por la pesca de subsistencia en la laguna Ñapique en relación con el límite máximo permisible de 0,50 ug/kg.

CONCLUSIONES

Las especies extraídas por la pesca de subsistencia en la Laguna Ñapique son, *Eretmobrycon peruanus*, *Dormitator latifrons*, *Rhoadsia altipinna*, *Brycon atrocaudatus*, *Mugil cephalus*, *Trichomycterus piurae*, *Parachromis managuensis*, *Pterygoplichthys pardalis*, *Pimelodella yuncensis*, *Oreochromis niloticus*.

Los niveles de plomo para peces fueron: *Brycon atrocaudatus* (16,73 mg/kg); *Eretmobrycon peruanus* (17,05 mg/kg); *Dormitator latifrons* (23,32 mg/kg); *Pterygoplichthys pardalis* (17,67 mg/kg); *Mugil cephalus* (3,73 mg/kg); *Oreochromis niloticus* (8,74 mg/kg); *Parachromis managuensis* (6,83 mg/kg); *Pimelodella yuncensis* (3,67 mg/kg); *Rhoadsia altipinna* (41,96 mg/kg) y *Trichomycterus piurae* (9,52 mg/kg), todas las especies exceden el límite máximo permisible.

Los niveles de cadmio fueron: *Brycon atrocaudatus* (0,06 mg/kg); *Pimelodella yuncensis* (0,02 mg/kg); *Dormitator latifrons* (0,12 mg/kg); *Pterygoplichthys pardalis* (3,23 mg/kg); *Rhoadsia altipinna* (0,11 mg/kg), las últimas tres especies superaron el límite máximo permisible.

Los valores de cobre fueron: *Parachromis managuensis* fue de (17,53 mg/kg); *Oreochromis niloticus* (47,16 mg/kg); *Mugil cephalus* (46,16 mg/kg); *Pterygoplichthys pardalis* (70,13 mg/kg); *Brycon atrocaudatus* (1,12 mg/kg);

Eretmobrycon peruanus (0,45 mg/kg); *Dormitator latifrons* (4,69 mg/kg); *Pimelodella yuncensis* (3,92 mg/kg); *Rhoadsia altipinna* (1,76 mg/kg) y *Trichomycterus piurae* (9,52 mg/kg), las cuatro primeras especies rebasaban el límite máximo permisible.

Los niveles de mercurio para las especies fueron: *Trichomycterus piurae* (3,29 ug/kg) que sobrepasó el límite máximo permisible y *Pimelodella yuncensis* (0,25 ug/kg).

Los niveles de contaminación detectados evidencian la necesidad de implementar estudios de monitoreo temporal que evalúen la acumulación de metales pesados en función de variables estacionales y fuentes antropogénicas. Se recomienda investigar los mecanismos de bioacumulación y biomagnificación a lo largo de la cadena trófica, determinando el factor de bioconcentración (BCF) en relación con las concentraciones en agua y sedimento. Resulta prioritario realizar evaluaciones de riesgo para la salud humana considerando los patrones de consumo de las comunidades que dependen de la pesca de subsistencia, particularmente en poblaciones vulnerables.

Finalmente, se sugiere evaluar estrategias de fitorremediación o biorremediación como alternativas de mitigación, considerando la importancia socioeconómica y ecológica de la Laguna Ñapique para la región.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Anadón, A., Muñoz, M., & Ortiz, J. (1984). Acumulación tisular de zinc, plomo, cobre, hierro y cromo en truchas de río (*Salmon trutta fario*). INIA. Acción ecotoxicológica.
- Apaza, D., Ramírez, M., Aponte, H., & Charape-Ravelo, M. (2017). Caracterización ecológica del humedal Ñapique, Sechura-Piura, Perú. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/3535394/Libro%20Reino%20Desierto%20comp.pdf.pdf>
- Apaza, M., Seminario, G., Tovar, C., & Martínez, P. (2005). Expedición de la cuenca baja del río Piura. Asociación Perú Verde y Comité Holandés de la UICN.
- Gomez Vilca, A. J., Aponte, H., & Gonzales, S. (2023). ¿Cómo proteger los humedales costeros peruanos? Una respuesta a partir de un modelo conceptual de sus impulsores de cambio. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 52(2), 125-142. <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2023.52.2.1218>
- Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2019). Monitoreo de la calidad del agua superficial en cuenca de Piura evidencia contaminación por descargas de relaves mineros y aguas residuales. ANA.
- 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. *Salud Tecnológica*, 6(1). <https://doi.org/10.20453/stv.v6i1.3376>
- Chapman, D. (1996). Water quality assessments: A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring. World Health Organization.
- <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/533/conceptos.pdf>
- Chui, H., Roque, B., Huaquisto, E., Sadron, D., Belizario, G., & Calatayud, A. (2021). Metales pesados en truchas arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) de crianza intensiva de la zona noroeste del lago Titicaca. *Investigaciones Veterinarias del Perú*, 32(3). <https://doi.org/10.15381/rivep.v32i3.20398>
- Demir, T., Mutlu, E., & Gültepe, N. (2024). Bioaccumulation of heavy metals in Capoeta tinca fish and health risk assessment. *Revista Científica FCV-LUZ*, 34(2), 1-10. <https://doi.org/10.52973/rccfv-e34345>
- Djinovic, J., Dragica, N., Vranic, D., Stefanovic, S., Milijasevic, M., Babic, J., & Jancovic, S. (2015). Distribution of mercury in three marine fish species. *Procedia Food Science*, 5, 65-68. <https://doi.org/10.1016/j.profoo.2015.09.016>
- Donat, J., & Dryden, C. (2001). Metals and heavy metals in marine environments. In *Encyclopedia of Ocean Sciences*. Academic Press.
- El-Moselhy, K., Othman, A., El-Azem, H., & El-Metwally, M. (2014). Bioaccumulation of heavy metals in some tissues of fish in the Red Sea, Egypt. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 40(1), 1-9.
- Estrada, G., & Cervantes, M. (2021). Determinación de la concentración de metales pesados en la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) y el riesgo para el consumo humano en la provincia de San Miguel – Cajamarca.
- Fazzio, G. (2021). Determinación de la concentración de metales pesados en la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) y el riesgo para el consumo humano en la

- provincia de San Miguel - Cajamarca. Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, Cajamarca.
- Fichet, D., Boucher, G., Radenac, G., & Miramand, P. (1999). Concentration and mobilisation of Cd, Cu, Pb and Zn by meiofauna populations living in harbour sediment: their role in the heavy metal flux from sediment to food web. *Science of the Total Environment*, 243–244, 263-272. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(99\)00401-5](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(99)00401-5)
- Food and Agriculture Organization. (1995). Codex Alimentarius: Norma general para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos. <https://www.fao.org/faohq-who-codexalimentarius/>
- Fu, J., Zhao, C., Luo, Y., Liu, C., Kyzas, G., Luo, L., ... Hailiang, Z. (2014). Heavy metals in surface sediments of the Jialu River, China: Their relations to environmental factors. *Journal of Hazardous Materials*, 270, 102-109. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.01.044>
- Gammons, C., Slotton, D., Gerbrandt, B., Weight, W., Young, C., McNearney, R., ... Tapia, H. (2006). Mercury concentrations of fish, river water, and sediment in the Río Ramis-Lake Titicaca watershed. *Science of the Total Environment*, 368, 637-648. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.09.076>
- García, C., Sánchez, H., Flores, M., Mejía, J., Angulo, C., Castro, D., Estivals, G., García, A., Vargas, G., Nolorbe, C., Nuñez, J., Mariac, C., Duponchelle, F., & Renne, J. (2018). Peces de consumo de la Amazonía Peruana. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP).
- García, C., Sánchez, H., Flores, M., Mejía, J., Angulo, C., Castro, D., Estivals, G., García, A., Vargas, G., Nolorbe, C., Nuñez, J., Mariac, C., Duponchelle, F., & Renne, J. (2018). Peces de consumo de la Amazonía Peruana. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP).
- Kolf, M., Guénin, A., & López, M. (2007). Micromamíferos y metales pesados: Biomonitorización del medio ambiente. Observatorio Medioambiental.
- Maldonado, E., López, U., Salinas, R., González, N., Cuenca, C., & Jiménez, V. (2015). Contenido de metales pesados en músculo de pez diablo (*Pterygoplichthys pardalis*). *Revista Iberoamericana de Ciencias*, enero, 2015.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2001). Directrices para la recopilación sistemática de datos relativos a la pesca de captura (Documento Técnico de Pesca N.º 382). <http://www.fao.org/docrep/005/X2465S/x2465s0g.htm>
- Ortega, H., Hidalgo, M., Trevejo, G., Cortijo, A., Correa, E., Meza, V., & Espino, J. (s.f.). Lista anotada de los peces de aguas continentales del Perú: Estado actual del conocimiento, distribución, usos y aspectos de conservación. Universidad Mayor de San Marcos / Ministerio del Ambiente / Museo de Historia Natural. ASHKA E.I.R.L.
- Prat, N., Ríos, B., Acosta, R., Rierad, M., & Devall, A. (2009). Los macroinvertebrados como indicadores de calidad de las aguas. Chapter (20) in Book: Dominguez E. & Fernandez H. 2009. Macroinvertebrados Bentónicos Sudamericanos - Sistemática y Biología - Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina. 654 pp.
- Rezanía, S., Taib, M., Din, M., Dahalan, A., & Kamyab, H. (2016). Comprehensive review on phytotechnology: Heavy metals removal by diverse aquatic plants species from wastewater. *Journal of Hazardous Materials*, 318, 587-599. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.07.053>
- Rosales, G., Cerrón, K., Meza, R., & Trujillo, L. (2020). Bioacumulación de metales pesados en tres especies de peces bentónicos del río Monzón, región Huánuco. *REBIOL*, 40(1), 69-78. <https://doi.org/10.17268/rebiol.2020.40.01.08>
- Spiess, A. (2010). Determinación de elementos traza (Pb, Cd, Cu, Cr, Zn, Fe y As) en trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) mediante espectrofotometría de absorción atómica en la X y XIV Región de Chile [Tesis]. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias, Escuela de Química y Farmacia.
- Tabilo, E. (2003). El beneficio de los humedales en la región neotropical. Centro Neotropical de Entrenamiento en Humedales (CNEH).
- Tenji, D., Chala, B., & Anteneh, W. (2020). Fish as bioindicators of heavy metal pollution in aquatic ecosystems: A review. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 55(12), 1365-1378. <https://doi.org/10.1080/10934529.2020.1811146>
- Torres, J., García, R., & Mendoza, P. (2023). Metales pesados en ecosistemas acuáticos: Fuentes, efectos y bioacumulación. *Revista de Ciencias Ambientales*, 57(2), 234-256. <https://doi.org/10.15359/rca.57-2.11>
- Yi, Y., & Zhang, S. (2012). The relationships between fish heavy metal concentrations and fish size in the upper and middle reach of the Yangtze River. *Procedia Environmental Sciences*, 13, 1699-1707. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2012.01.163>
- Zhu, D., Yang, Z., Chen, X., Jin, Y., & Li, D. (2023). Development of a biotic integrity index based on long-term fish assemblage changes after dam construction in China. *Frontiers in Environmental Science*, 11, Artículo 1103801. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1103801>

Anexo

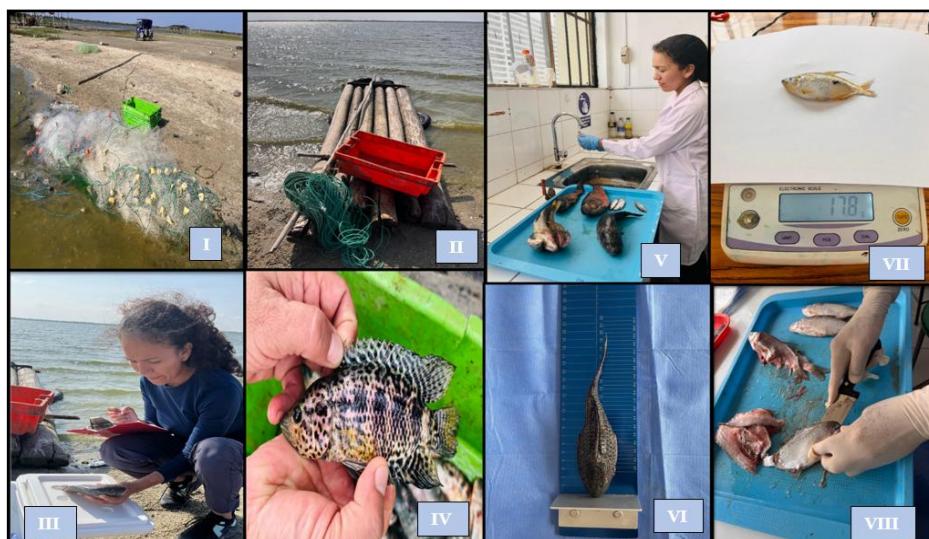


Figura A1. Arte de pesca utilizados (I). Balsilla (II). Evaluación de muestras (III). Evaluación físico-organoléptica (IV). Lavado de muestras en campo (V). Determinación de peso y talla de muestras (VI) Y (VII). Obtención de filetes (VIII).