

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE
LA SALUD**

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

TESIS:

**ACUMULACIÓN DE MERCURIO, CADMIO Y PLOMO EN EL MÚSCULO DE
LA TILAPIA (OREOCHROMIS NILOTICUS) DE LA REPRESA GALLITO
CIEGO Y EVALUACIÓN DE RIESGO PARA LA SALUD**

Para optar el Grado Académico de

MAESTRO EN CIENCIAS

MENCIÓN: SALUD OCUPACIONAL Y AMBIENTAL

Presentada por:

ELIZABETH ROCIO TERRONES TERAN

Asesora:

Dra. CONSUELO BELANIA PLASENCIA ALVARADO

Cajamarca, Perú

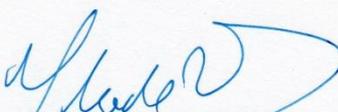
2025

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador:
Elizabeth Rocio Terrones Teran
DNI: 46202559
Escuela Profesional/Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias de la Salud. Programa de Maestría en Ciencias, Mención : Salud Ocupacional y Ambiental.
2. Asesora:
Dra. Consuelo Plasencia Alvarado
3. Grado académico o título profesional
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
4. Tipo de Investigación:
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación:
Acumulación de mercurio, cadmio y plomo en el músculo de la tilapia (*oreochromis niloticus*) de la represa gallito ciego y evaluación de riesgo para la salud
6. Fecha de evaluación: 23/07/2025
7. Software antiplagio: TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: **12%**
9. Código Documento: 3117:475777688
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 26/09/2025

Firma y/o Sello
Emisor Constancia



.....
Dra. Consuelo Plasencia Alvarado
DNI: 26717688

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023

COPYRIGHT © 2025 by
ELIZABETH ROCIO TERRONES TERAN
Todos los Derechos Reservados



PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las *9.00 am* horas del día 24 de junio de dos mil veinticinco, reunidos en el Aula 1Q-206 de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por la **Dra. SARA ELIZABETH PALACIOS SÁNCHEZ**, **Dr. NILTON EDUARDO DEZA ARROYO**, **Dr. LUIS ALBERTO AZABACHE CORONADO**, y en calidad de Asesora la **Dra. CONSUELO BELANIA PLASENCIA ALVARADO**. Actuando de conformidad con el Reglamento Interno de la Escuela de Posgrado y la Directiva para la Sustentación de Proyectos de Tesis, Seminarios de Tesis, Sustentación de Tesis y Actualización de Marco Teórico de los Programas de Maestría y Doctorado, se dio inicio a la Sustentación de la Tesis titulada: **ACUMULACIÓN DE MERCURIO, CADMIO Y PLOMO EN EL MÚSCULO DE LA TILAPIA (OREOCHROMIS NILOTICUS) DE LA REPRESA GALLITO CIEGO Y EVALUACIÓN DE RIESGO PARA LA SALUD**; presentada por la **Bachiller en INGENIERÍA AMBIENTAL, ELIZABETH ROCIO TERRONES TERAN**.

Realizada la exposición de la Tesis y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó... *Aprobada*... con la calificación de *17 (Excelente)*... la mencionada Tesis; en tal virtud, la **Bachiller en INGENIERÍA AMBIENTAL, ELIZABETH ROCIO TERRONES TERAN**, está apta para recibir en ceremonia especial el Diploma que la acredita como **MAESTRO EN CIENCIAS**, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias de la Salud, con Mención en **SALUD OCUPACIONAL Y AMBIENTAL**.

Siendo las *11:00* horas del mismo día, se dio por concluido el acto.

.....
Dra. Consuelo Belania Plasencia Alvarado
Asesora

.....
Dra. Sara Elizabeth Palacios Sánchez
Jurado Evaluador

.....
Dr. Nilton Eduardo Deza Arroyo
Jurado Evaluador

.....
Dr. Luis Alberto Azabache Coronado
Jurado Evaluador

DEDICATORIA

A mi madre, por ser mi guía y la voz que siempre me anima a seguir adelante.

A mi esposo, mi compañero de vida, quien me apoya incondicionalmente en cada sueño y desafío.

A mi hijo, mi motor y motivo, cuya alegría y amor dan sentido a todo lo que hago, inspirándome a ser mejor cada día.

A todas las personas que siempre me han apoyado, brindándome su ayuda y confianza cuando más lo necesitaba.

AGRADECIMIENTO

A Dios, quien me ha dado la fortaleza, sabiduría y guía para enfrentar cada desafío en este camino. Sin su presencia constante, este logro no habría sido posible.

A la Universidad Nacional de Cajamarca y a la Escuela Académico Profesional de Ciencias de la Salud, por brindarme la formación académica y profesional que hoy me permite culminar esta etapa importante en mi vida.

A mi asesora, Dra. Consuelo Plasencia, por su invaluable orientación y paciencia, y a cada docente que compartió su conocimiento a lo largo de mi formación. Su dedicación ha sido fundamental para completar este proyecto.

A mi familia y seres queridos, quienes siempre han creído en mí y me han acompañado en cada paso, brindándome su apoyo incondicional y palabras de aliento en los momentos más importantes.

Finalmente, a mis amigos y colegas que, con su colaboración, ánimo y confianza me ayudaron a superar los obstáculos de esta etapa.

A todos ustedes, mi más sincero y profundo agradecimiento.

El futuro de la humanidad depende de la salud de nuestro planeta. —
Wangari Maathai

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
INDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.2. Justificación de la investigación.....	4
1.3. Delimitación de la investigación.....	5
1.4. Objetivos.....	6
CAPÍTULO II.....	7
MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Antecedentes de la investigación.....	7
2.2. Bases teóricas.....	17
2.3. Marco Conceptual.....	25
2.4. Definición de términos básicos.....	27
CAPITULO III.....	29
PLANTEAMIENTO DE LA (S) HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	29
3.1. Hipótesis.....	29
3.2. Variables.....	29
3.3. Operacionalización de las componentes de las hipótesis.....	30
CAPÍTULO IV.....	31
MARCO METODOLÓGICO.....	31
4.1. Ubicación geográfica.....	31
4.2. Diseño de la investigación.....	31
4.3. Métodos de investigación.....	32
4.4. Población, muestra, unidad de análisis y unidades de observación.....	33
4.5. Técnicas e instrumentos de recopilación de información.....	34
4.6. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información.....	42
4.8. Evaluación del riesgo para la salud humana.....	43
4.9. Matriz de consistencia metodológica.....	45

CAPÍTULO V	47
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	47
5.1. Resultados	47
5.2. Análisis, interpretación y discusión de resultados	52
RECOMENDACIONES.....	60
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61
ANEXOS	65
APÉNDICE	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Contenidos máximos permisibles de mercurio, plomo, cadmio y arsénico(mg/kg)	24
Tabla 2. Concentraciones de mercurio (Hg), cadmio (Cd) y plomo (Pb) en el tejido muscular de tilapias (<i>Oreochromis niloticus</i>) recolectadas en tres puntos de muestreo en el reservorio Gallito Ciego (expresado en $\mu\text{g/g}$)	48
Tabla 3. Análisis de varianza (ANOVA) para medir la relación entre de acumulación de mercurio, cadmio y plomo en el músculo de la tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>) de la represa Gallito Ciego y evaluación de riesgos para la salud.....	49
Tabla 4. Análisis de comparaciones múltiples entre diferencias de acumulación de mercurio, cadmio y plomo en el músculo de tilapia	50
Tabla 5. Post prueba para determinar la concentración de metales en el músculo de tilapia	51

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación del reservorio Gallito Ciego	32
Figura 2. Captura de tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>) en el reservorio Gallito Ciego	38
Figura 3. Pesaje de la tilapia en el reservorio Gallito Ciego	39
Figura 4. Medición de la longitud de la tilapia en diferentes puntos del reservorio Gallito Ciego	39
Figura 5. Rotulación de la tilapia en el reservorio Gallito Ciego	40
Figura 6. Colocación de la tilapia en el cooler en el reservorio Gallito Ciego	41

RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo determinar la concentración de mercurio, cadmio y plomo en el tejido muscular de tilapias (*Oreochromis niloticus*) del reservorio Gallito Ciego, ubicado en Tembladera, Cajamarca, durante el año 2024, y evaluar los posibles riesgos para la salud por su consumo. Se recolectaron 15 muestras en tres puntos estratégicos del reservorio. La investigación se desarrolló bajo un diseño no experimental, transversal y correlacional. Las muestras fueron analizadas en el laboratorio SGS Perú, utilizando espectrometría de absorción atómica para cadmio y plomo, y espectrometría con generación de vapor frío para mercurio. Los resultados mostraron concentraciones de mercurio entre 0,18 y 1,1 mg/kg; cadmio entre 0,013 y 0,024 mg/kg; y plomo entre 0,02 y 0,5 mg/kg. Si bien se registraron variaciones en las concentraciones, ninguno de los valores superó los límites máximos permisibles establecidos por la FAO/OMS ni por la Unión Europea. No obstante, se resalta la importancia de realizar un monitoreo continuo, considerando los efectos acumulativos de estos metales y el riesgo potencial para la salud de poblaciones vulnerables.

PALABRAS CLAVE: Mercurio, Cadmio, Plomo, Tilapia, Riesgos.

ABSTRACT

The aim of this study was to determine the concentration of mercury, cadmium, and lead in the muscle tissue of tilapias (*Oreochromis niloticus*) from the Gallito Ciego reservoir, located in Tembladera, Cajamarca, during 2024, and to evaluate the potential health risks associated with their consumption. Fifteen samples were collected from three strategic points of the reservoir. The research followed a non-experimental, cross-sectional, and correlational design. The samples were analyzed at SGS Peru laboratory using atomic absorption spectrometry for cadmium and lead, and cold vapor atomic absorption spectrometry for mercury. The results showed mercury concentrations ranging from 0.18 to 1.1 mg/kg; cadmium from 0.013 to 0.024 mg/kg; and lead from 0.02 to 0.5 mg/kg. Although variations in concentrations were observed, none of the values exceeded the maximum permissible limits established by FAO/WHO or the European Union. Nevertheless, the importance of continuous monitoring is emphasized, considering the cumulative effects of these metals and the potential health risks to vulnerable populations.

KEYWORDS: mercury, cadmium, lead, tilapia, risks.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

1.1.1. Contextualización

La contaminación de los ecosistemas acuáticos, causada por diversas actividades humanas como la agricultura, la industria y la gestión de residuos, es un problema crítico. Las áreas urbanas y sanitarias pueden contribuir significativamente a esta contaminación. Las prácticas inadecuadas, como la liberación de desechos industriales y la gestión deficiente de aguas residuales, introducen sustancias químicas y patógenos dañinos en los cuerpos de agua, amenazando la vida acuática y la biodiversidad. Es crucial mejorar las prácticas por otras no contaminantes y fortalecer los sistemas de gestión ambiental para proteger la salud de los ecosistemas acuáticos. (1)- (2).

A nivel mundial se registran problemas en la calidad de aguas de fuentes superficiales, como es el caso de la laguna Olmeca perteneciente al Sistema de lagunas interdunarias de la ciudad de Veracruz que ha generado una problemática ambiental asociada al vertimiento de metales pesados al medio acuático; los metales pesados resultan ser tóxicos incluso a bajas concentraciones (1). Así mismo en Colombia, el uso excesivo de productos químicos en actividades ilícitas es un grave problema ambiental. Los principales contaminantes son metales pesados como cadmio y mercurio, además de otros como cromo, níquel, plomo, estaño, titanio, zinc o plata, relacionados con industrias y prácticas agrícolas inadecuadas. Estos metales representan un riesgo significativo para el medio ambiente, que son difíciles acumularse en la cadena alimentaria, causando una contaminación

persistente y un aumento en su concentración a lo largo de esta cadena. (3). Según Flores (2) la mayor cantidad de metales pesados se bioacumulan en especies acuáticas, como ostiones, almejas, camarones y algunas especies de peces.

En la región de Ariari, Meta, Colombia, la agricultura se realiza de manera intensiva, dedicando cerca del 87 % del territorio del municipio de Fuente de Oro a actividades agrícolas. Esta práctica se caracteriza por la escasa rotación de cultivos y el uso frecuente y elevado de fertilizantes. Estas condiciones pueden incrementar la contaminación ambiental debido a la acumulación de productos químicos en el suelo y el agua, lo que afecta la calidad del ecosistema local (4). Así mismo, Marti et al (5) En la región de Mendoza, Argentina, se han identificado trazas de plomo y cadmio en fertilizantes de uso habitual, según un estudio que evaluó 44 muestras de productos agrícolas. Esta situación genera inquietudes sobre la seguridad de los alimentos y el medio ambiente, dado el potencial riesgo para la salud humana y la integridad de los ecosistemas agrícolas. Es necesario abordar este problema con prontitud.

La contaminación por metales pesados en el Perú es un grave problema que plantea riesgos para la salud humana y el medio ambiente. La acumulación de estos metales en la cadena alimentaria es preocupante debido a su persistencia. Es crucial evaluar el contenido de metales en los alimentos, ya que algunos son necesarios para el desarrollo normal, mientras que otros pueden ser dañinos incluso en pequeñas cantidades. Abordar esta situación requiere regulaciones precisas para controlar y mitigar la contaminación y proteger la salud pública y el equilibrio ambiental (6)- (7).

La contaminación por metales pesados es un desafío crítico en los entornos

acuáticos actuales. La acumulación de plomo, cadmio y zinc en los tejidos de peces y crustáceos indica un riesgo para la salud de la fauna acuática y la seguridad alimentaria de las comunidades locales que dependen de la pesca. La intervención humana en el sedimento, con niveles que superan los límites permitidos, agrava los impactos ambientales. Es urgente implementar medidas de gestión ambiental sustentable para preservar el ecosistema y proteger la salud pública (8)- (9).

La detección de mercurio, cadmio y plomo en los tejidos musculares de tilapia en el reservorio Gallito Ciego podría estar relacionada con diversas posibles fuentes de contaminación en su cuenca. La proximidad de actividades mineras, descargas industriales o el empleo de pesticidas en la agricultura podrían contribuir a la presencia de estos metales en el agua. La calidad del agua en la represa, se consideró factores como el pH, la temperatura y la turbidez, puede afectar la movilidad y absorción de estos contaminantes por parte de los organismos acuáticos. Un análisis completo de la calidad del agua, los sedimentos y las prácticas locales resulta crucial para comprender la introducción y la acumulación de estos metales en los tejidos de la tilapia. Este enfoque integral facilitará la identificación de medidas preventivas y estrategias de gestión destinadas a reducir los impactos ambientales y preservar la salud de la vida acuática.

1.1.2. Descripción del problema.

El problema abordado en esta investigación se centró en la acumulación de metales pesados, específicamente mercurio, cadmio y plomo, en los músculos de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) en el reservorio Gallito Ciego. Este problema plantea inquietudes tanto a nivel ambiental como de salud pública, dada la prevalencia de la tilapia como fuente alimentaria en muchas

comunidades. La presencia de estos metales en el tejido muscular de la tilapia puede tener diversas fuentes, incluida la contaminación del agua en la represa. La evaluación de riesgos para la salud busca comprender los efectos que podría generar el consumo de esta especie contaminada, proporcionando datos esenciales para la toma de decisiones en salud y gestión ambiental en la región del reservorio Gallito Ciego. Este estudio resalta la necesidad de comprender y abordar los impactos potenciales que la acumulación de metales pesados en la cadena alimentaria podría representar tanto para el ecosistema acuático como para la salud de las personas.

1.1.3. Formulación del problema

¿Cómo es la concentración de mercurio, cadmio y plomo en el músculo de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) del reservorio Gallito Ciego y cuál es el riesgo para la salud?

1.2. Justificación de la investigación.

1.2.1. Justificación científica.

El análisis de la concentración de mercurio, cadmio y plomo en el tejido muscular de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) del reservorio Gallito Ciego es de gran importancia científica, ya que estos metales pesados tienen efectos perjudiciales bien documentados en los organismos acuáticos y pueden representar riesgos significativos para la salud humana a través de la cadena alimentaria. La tilapia, debido a su rápida tasa de reproducción, podría estar expuesta a una acumulación de contaminantes, lo que incrementa la preocupación sobre los efectos potenciales en las poblaciones de este pez, especialmente en sus estadios juveniles, que son más susceptibles a la contaminación. Debido a que comprender la relación entre la exposición ambiental y la acumulación de metales pesados en los tejidos musculares de la tilapia es esencial para gestionar de manera sustentable los recursos

acuáticos y desarrollar políticas ambientales y de salud pública que garanticen la seguridad alimentaria y protejan la salud humana.

1.2.2. Justificación teórica-práctica

Desde un enfoque teórico-práctico, el estudio contribuye al avance del conocimiento en los campos de la ecología acuática y la toxicología ambiental. Al analizar la acumulación de metales pesados en la tilapia del reservorio Gallito Ciego, se podrán discernir patrones y factores que inciden en dicho proceso. Asimismo, la evaluación de riesgos para la salud brinda información práctica, posibilitando la aplicación de medidas de gestión y atenuación. Esta aproximación integradora amalgama la teoría científica con aplicaciones concretas, facilitando la adopción de estrategias efectivas para la preservación de la biodiversidad acuática y la salvaguarda de la salud humana.

1.2.3. Justificación institucional y personal.

En el ámbito institucional, este estudio está en sintonía con los objetivos de preservación ambiental y seguridad alimentaria delineados por diversas entidades tanto a nivel nacional como internacional. Contribuir a la consecución de estos propósitos reforzó la reputación y el compromiso social de la institución que participa en la investigación. Desde una perspectiva personal, esta indagación ofreció una ocasión propicia para el progreso académico y profesional, brindando al investigador la oportunidad de desarrollar competencias avanzadas en métodos de muestreo, análisis de laboratorio y evaluación de riesgos. Además, la generación de conocimientos significativos aportó a la construcción de una base sólida para investigaciones y proyectos futuros.

1.3. Delimitación de la investigación

La investigación se centra exclusivamente en examinar la acumulación de

mercurio, cadmio y plomo en el tejido muscular de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) que habitan en el reservorio Gallito Ciego. Asimismo, la delimitación temporal se circunscribe en el 2024. El estudio se orienta a la especie mencionada y al análisis de los metales pesados en el tejido muscular. Además, se establece un enfoque específico en los métodos analíticos empleados y se enfoca específicamente en la evaluación de riesgos para la salud asociados con el consumo de esta especie de tilapia.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Determinar la concentración de mercurio, cadmio y plomo en el músculo de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) del reservorio Gallito Ciego y su relación con los riesgos para la salud.

1.4.2. Objetivos específicos

Determinar la concentración de mercurio (Hg), plomo (Pb) y cadmio (Cd) en los tejidos musculares de la tilapia del reservorio Gallito Ciego en el año 2024.

Evaluar los riesgos para la salud con el consumo del músculo de tilapia del reservorio Gallito Ciego

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Akila et al (10), estudiaron la Acumulación de metales pesados en especies de peces seleccionadas del lago Pulicat, India, y la evaluación de riesgos para la salud. El objetivo fue determinar la acumulación de metales pesados en especies de peces seleccionadas. El método utilizado consiste en recoger una muestra de agua en una botella y conservarla con dos o tres gotas de ácido nítrico. Se recogió sedimentos de las profundidades del lago mediante muestreo y se almacenó en bolsas selladas, mientras que los pescadores recogieron las muestras de pescado como *Lutjanus fulviflamma*, *Chanos*. Teniendo resultado, los valores medios de Cu y Cr fueron de 123,1 µg/g y 90,1 µg/g, respectivamente. Sin embargo, en muestras de pescado fue de 0,5 µg/g, 25,5 µg/g, 19,0 µg/g y 23,6 µg/g, mientras que la concentración en muestras de animales varió de 1,19 µg/g a 23,1 µg/g en el hígado con mayor acumulación. Las altas concentraciones de Cu en varios órganos pueden tener ciertos efectos tóxicos para la salud y medio ambiente.

Willans et al (11) analizaron la Bioacumulación y riesgos para la salud humana de elementos potencialmente tóxicos en especies de peces del sudeste de la Provincia Mineral de Carajás, Brasil. El propósito de este estudio fue evaluar los efectos de las actividades humanas en las concentraciones de elementos potenciales tóxicos (PTE) en peces de la provincia mineral de Carajás, en el sureste de Brasil. Se realizaron análisis de calidad del agua, sedimentos y cinco especies de peces en 14

ubicaciones. Los resultados indicaron un enriquecimiento de PTE en los sedimentos de los ríos Parauapebas y Gelado, así como concentraciones superiores a los límites legales de hierro, manganeso, cromo y plomo en el agua y los peces. Se identificó riesgos ecológicos significativos del níquel y riesgos para la salud humana relacionados con el plomo en todas las especies de peces, además de riesgos asociados al molibdeno en una especie específica (*Leporinus trifasciatus*). Estos hallazgos subrayan la urgencia de implementar medidas de monitoreo y control ambiental para abordar la contaminación y mitigar los riesgos tanto para el ecosistema como para la salud humana.

Effah et al (12) realizaron un estudio en Evaluación de riesgos para la salud humana derivados de metales pesados en tres especies de peces dominantes del río Ankobra, Ghana. El estudio tuvo como objetivo evaluar la contaminación por metales pesados en peces del río Ankobra en la Región Occidental de Ghana, centrando el análisis en tres especies comunes. Se utilizó técnicas de espectrofotometría de absorción atómica para medir varios metales, y se encontraron concentraciones más altas de manganeso, zinc y mercurio en las branquias en comparación con los músculos, superando los límites de la OMS. Aunque se registraron niveles elevados de algunos metales, al evaluar el riesgo para la salud asociado al consumo diario de pescado por las comunidades locales, se concluyó que el riesgo estimado para todos los metales pesados estaba considerablemente por debajo del índice vinculado con la incidencia de cáncer.

Abebe et al (13) realizaron un estudio en Bioacumulación y factor de

acumulación de biota-sedimentos de metales y metaloides en peces comestibles: una revisión sistemática en aguas superficiales de Etiopía. Teniendo como objetivo evaluar la acumulación de metales en aguas de Etiopía y sus riesgos ecológicos y para la salud. Se analizó 902 documentos desde 2005, identificando peces consumibles como *Oreochromis niloticus*. Los sedimentos mostraron concentraciones más altas que el agua, con peces carnívoros destacando. La BSAF para selenio en todas las especies indicó bioacumulación, y *Oreochromis niloticus* actuó como bioconcentrador de arsénico y selenio. Se detectaron concentraciones elevadas de Cu, Cd, Pb y Ni en el Ni en el agua, superando directrices de calidad ambiental. En los sedimentos, Cu, Pb, Ni, Zn y Cr excedieron valores tolerables, señalando riesgo para organismos acuáticos. Aunque no se asociaron enfermedades al consumo, residentes locales podrían enfrentar riesgos para la salud en ecosistemas de agua dulce.

Khan et al (14) analizaron la contaminación por metales pesados en órganos vitales de peces y aves migratorias que se encuentran en ecosistemas de agua dulce. Cuyo objetivo fue cuantificar las concentraciones de Cu, Cd, Cr y Pb en peces, tejidos de aves y agua. Se analizaron seis especies de peces y cinco especies de aves migratorias, así como muestras de agua del embalse. Los resultados, obtenidos mediante absorción atómica después de la digestión química de las muestras, revelaron concentraciones promedio más altas de metales pesados en el agua en comparación con los valores medios en peces y aves. La secuencia de daño observado en peces y aves debido a los metales pesados fue $Cd > Cu > Cr > Pb$. Estos hallazgos resaltan la necesidad de una mayor conciencia sobre los riesgos asociados con la contaminación por metales pesados en los ecosistemas de agua dulce, subrayando la importancia de abordar este problema para preservar la

vida marina y la calidad del suministro de agua dulce.

Zaghloul et al (15) analizaron un estudio de Bioacumulación y evaluación de riesgos para la salud de metales pesados en diferentes especies de peces comestibles de la ciudad de Hurghada, Mar Rojo, Egipto. Cuyo objetivo fue estudiar y evaluar los riesgos para la salud derivados del consumo de cinco especies de peces comerciales en Hurghada, Egipto, durante el invierno y verano de 2020, utilizando espectrofotometría de absorción atómica. Aunque se detectaron concentraciones de metales pesados en músculos, branquias e hígado, los niveles se mantuvieron dentro de los límites establecidos por la OMS, la FAO/OMS y la UE. Las concentraciones de Cd, Pb, Mn, Zn, Cu, Fe y Ni en el músculo estuvieron dentro de rangos aceptables. Aunque el consumo de estas especies estuvo por debajo de las ingestas diarias tolerables, se identificaron riesgos potenciales para la salud en niños con un consumo elevado. En resumen, se concluyó que el consumo de pescado del Mar Rojo es seguro, resaltando la importancia de la conciencia del consumidor sobre posibles riesgos asociados con el consumo excesivo, especialmente en niños.

Ahmad et al (16) evaluaron la Bioacumulación y Evaluación del Riesgo para la Salud de Metales Pesados en Distintas Especies de Peces de la Isla de Hainan, China. Se llevó a cabo un estudio en la Isla de Hainan, China, para evaluar las concentraciones de doce metales pesados en diferentes tejidos de cinco especies de peces. La metodología incluyó la recolección de muestras de hígado, riñón, branquias, músculos, piel y huesos, seguida de análisis de laboratorio para determinar las concentraciones de Fe, Cu, Zn, Cr, Mn, Se, Ni, As, Hg, Cd, Pb y Co. Los resultados mostraron un orden jerárquico en las concentraciones de metales, con un énfasis en los metales

biológicamente esenciales. El análisis también reveló correlaciones significativas entre los pares de metales. Además, se calculó el índice de riesgo THQ, identificando riesgos no carcinogénicos para la salud humana asociados con Cr, Cd y As. La integración de concentraciones siguió un orden específico en peces bentónicos, demersales y pelágicos. En conclusión, se recomienda realizar monitoreos regulares del agua y los peces para detectar metales pesados, implementando medidas específicas para proteger el ecosistema acuático y la salud humana.

Mukherjee et al (17) estimaron un estudio en Patrón de bioacumulación de metales pesados en tejidos de peces y riesgos asociados para la salud en la población humana. Cuyo objetivo El estudio fue evaluar la carga de Pb, Cd, Cr, Cu y Zn en tejidos de cinco especies de peces del bajo Ganges. Se encontraron concentraciones más bajas de metales en los músculos, y los patrones de acumulación variaron entre regiones y tejidos. El Cociente de Peligros Teóricos (THQ) para todos los metales en las especies de peces estuvo por debajo de 1, indicando un bajo riesgo para la salud humana por consumo indirecto. Los niveles de Ingesta Diaria Estimada (EDI) también estuvieron por debajo de los límites permitidos, sugiriendo un menor riesgo para la salud. Aunque las dosis actuales pueden no representar un riesgo significativo, se destaca la importancia de considerar la seguridad completa y evaluar posibles riesgos con dosis más altas. En conclusión, la presencia de metales en los tejidos de peces no parece ser un riesgo significativo para la salud humana a las concentraciones actuales.

Finoto et al (18) abordaron un estudio sobre Bioacumulación de metales en peces capturados en la sección superior del río Araguari (bioma amazónico) y evaluación del riesgo para la salud humana derivado de su consumo. El propósito del estudio fue evaluar el río Araguari en 2018, se utilizó las

técnicas como espectrometría de absorción atómica y de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente. Se aplicaron enfoques de riesgo como el cociente de riesgo (RQ) y el índice de riesgo (RI) para evaluar riesgos individuales y de mezclas en muestras de músculo de pescado. Los resultados analizados mostraron niveles elevados de cadmio y plomo, superando límites legales en Brasil, lo que implica un riesgo alto para la salud humana según el índice de riesgo. Además, la ingesta diaria estimada de mercurio en estas especies excedió la dosis segura, sugiriendo riesgos potenciales asociados con su consumo. En conclusión, el estudio combinó técnicas analíticas y evaluación de riesgos para entender la presencia de metales tóxicos en peces y sus implicaciones para la salud humana.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Aguirre (19) realizó un trabajo sobre la contaminación ambiental por mercurio y la salud fisiológica y psicológica del poblador de Huepetuhe–Madre de Dios-2019. El propósito del estudio fue investigar el impacto de la contaminación ambiental en la salud de los habitantes. Se encuestó a una muestra de 200 pobladores utilizando un cuestionario compuesto por 30 preguntas. La fiabilidad del instrumento se evaluó mediante el coeficiente de Alfa de Cronbach, que fue de 0.808 para la contaminación por mercurio y 0.862 para la salud fisiológica y psicológica. Además, se analizaron las concentraciones de mercurio en muestras de pescado fresco de cinco especies populares, utilizando espectroscopía de emisión atómica, encontrando que todas las muestras estaban contaminadas y dos de ellas excedían los límites máximos permitidos por la OMS de 0.5 mg/kg. Se observó una relación significativa entre la contaminación por mercurio y los efectos adversos en la salud de los habitantes, lo que subraya la importancia de abordar este problema para proteger la salud pública en la zona.

Rosales et al (20) Bioacumulación de metales pesados en tres especies de peces bentónicos del río Monzón, región Huánuco, Este estudio tuvo como objetivo analizar las concentraciones de cadmio, plomo y cobre en tres especies de peces. Se recolectaron 12 ejemplares por especie en tres ubicaciones del río Monzón y se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica. Los resultados revelaron que, en las tres especies, la mayor acumulación de los tres metales se registró en el hígado. En cuanto al músculo, se observaron concentraciones promedio de cadmio de 1,62 ppm en julilla, 1,59 ppm en carachama y 0,73 ppm en boquichico. Además, se detectaron concentraciones promedio de plomo de 5,09 ppm en

carachama y 0,61 ppm en boquichico, mientras que no se identificó plomo en julilla. Asimismo, se encontraron concentraciones promedio de cobre de 2,78 ppm en julilla, 2,44 ppm en boquichico y 2,41 ppm en carachama que la bioacumulación se produce en el en el hígado, y julilla exhibe las concentraciones más elevadas de cadmio y cobre en el músculo.

Custodio et al (21) realizaron una Evaluación de la contaminación por metales tóxicos, distribución y riesgos en los sedimentos de lagunas utilizadas para la piscicultura en la región central de Perú. El estudio fue evaluar contaminación por metales tóxicos en las lagunas central de Perú, donde se reveló una secuencia descendente de metales: $Zn > V > Ni > Cu > Pb > As > Cr > Co > Cd > Sb$. Los índices de contaminación (Cf e Igeo) indicaron niveles bajos para Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Sb, V y Zn, con moderada contaminación para Cd. El índice de carga de contaminación (PLI), variando de 0,3856 a 0,5622, señaló una contaminación no apreciable, respaldado por el grado modificado de contaminación (mCd). Así mismo indicaron efectos no carcinogénicos despreciables. En adultos, el Riesgo Carcinogénico Total (TCR) para As, Cd, Cr, Ni y Pb fue insignificante ($< 1.00E-04$). En niños, los TCR mostraron un comportamiento similar, excepto para As. Dado que estas lagunas se utilizan para la producción de pescado, subraya la necesidad de un monitoreo continuo de metales tóxicos para proteger la salud de los ecosistemas y de la población.

Peñaloza et al (22) realizaron un estudio en Evaluación de riesgos para la salud humana por exposición a metales pesados a través de la ingesta dietética de trucha arco iris en el área de influencia de una instalación de fundición ubicada en Perú, su objetivo fue evaluar el riesgo para la salud humana derivado del consumo de trucha arco iris. Se empleó el método de

Monte Carlo para determinar el factor de bioconcentración, el factor de acumulación de biosedimentos y los riesgos asociados al consumo. Aunque las concentraciones de elementos ($Zn > Pb > Cu > As$) en el músculo de la trucha no superaron los límites máximos, el agua excedió significativamente los niveles máximos para Pb y As en diferentes secciones del río. Además, la concentración de Pb en los sedimentos también superó los niveles máximos en ciertas zonas. Concluyendo, se destacó que el consumo de trucha arco iris en esta área presenta riesgos para la salud humana debido a la bioacumulación de metales pesados, con un riesgo cancerígeno del 1,27% en muestras de la sección baja del río.

Cusiche et al (23). Realizaron un estudio para Determinación de metales pesados en agua para consumo humano de la ciudad de Junín. El objetivo del estudio fue determinar la concentración de metales pesados en el agua potable en la ciudad de Junín, mediante absorción atómica. Para su desarrollo se utilizaron pruebas no experimentales y estudios descriptivos; se recolectaron muestras de agua de tres segmentos poblacionales del municipio de Junín, las concentraciones de estos tres metales variaron de 0,001 a 0,002 mg/l para las poblaciones de Pb y AS y de 0,001 a 0,003 mg/L para las de Cd. Así mismo se obtuvo como resultado, que los sólidos disueltos totales con un mínimo de 680 mg/l en la estación distrito San Cristóbal y un máximo de 800 mg/l en el centro del barrio. El potencial de hidrógeno en el área de San Cristóbal es de 8.1; en la estación 2, cerca de Mariac, 8.2 y; en la manzana central, estación 3, 8,4. Se concluyó que la concentración de metales pesados plomo, cadmio y arsénico en el agua potable de la ciudad de Junín no superó los ECAs del Perú. 004- 2017-MINAN.

Chui et al (24). Realizó un estudio de metales pesados en trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) de cultivo intensivo de la región noroeste del lago Titicaca. El objetivo de este estudio fue evaluar la concentración de metales pesados en los músculos de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) criada en la región nororiental del lago Titicaca (3812 sobre el nivel del mar), ubicada en las provincias de Puno y Huancayo en Perú. Los metales pesados en la carne de trucha se analizaron espectrofotométricamente utilizando tecnología de plasma acoplado inductivamente y un espectrofotómetro de emisión óptica ICP- OES. Por lo tanto, los resultados de niveles de metales pesados detectados en los músculos de las truchas arcoíris de Puno, (0.051 ± 0.0028 mg.kg⁻¹) y Huancané (0.049 ± 0.0032 mg.kg) fueron diferentes ($p < 0.05$). Se concluyó que la concentración de metales pesados en los músculos de la trucha arcoíris fue evaluada como inferior al límite máximo permisible y apta para el consumo alimentario.

Arbulu et al (25). Realizaron una investigación enfocada en determinar los niveles de plomo (Pb), mercurio (Hg) y cobre (Cu) presentes en muestras de agua, hígado y músculo de *Orestias ispi* y *Orestias agassii*, recolectados en el sector norte del Lago Mayor, en el lago Titicaca (Chucuito, Puno). El análisis se realizó aplicando la técnica de espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS). Para ello, se establecieron tres estaciones de muestreo donde se obtuvieron especímenes de ambas especies, a partir de los cuales se extrajeron tejidos para su evaluación. Los resultados indicaron que las concentraciones de Pb y Hg fueron inferiores a los límites de detección del equipo, situándose por debajo de 0,02 mg/kg y 0,01 mg/kg, respectivamente. En consecuencia, se concluyó que las aguas del lago no mostraban presencia significativa de metales pesados, al encontrarse los valores dentro del umbral analítico y conforme a los Límites

Máximos Permitidos LMP.

2.2. Bases teóricas

2.2.1 Metales pesados:

Conforme a la tabla periódica, se identifica como elementos químicos aquellos con alta densidad (superior a 4 g/cm³), masa y peso atómico que exceden los 20, y que resultan tóxicos en concentraciones bajas. Entre estos elementos se incluye: aluminio (Al), bario (Ba), berilio (Be), cobalto (Co), cobre (Cu), estaño (Sn), hierro (Fe), manganeso (Mn), cadmio (Cd), mercurio (Hg), plomo (Pb), hierro (Fe), manganeso (Mn), cadmio (Cd), mercurio (Hg), plomo (Pb), arsénico (As), cromo (Cr), molibdeno (Mo), níquel (Ni), plata (Ag), selenio (Se), talio (Tl), vanadio (Va), oro (Au) y zinc (Zn). Aunque se considera que algunos metales son esenciales en la dieta humana, como hierro, cobalto, cobre, manganeso, molibdeno, vanadio, estroncio y zinc, otros carecen de función fisiológica conocida y pueden afectar la salud, recomendándose su evitación (26).

2.2.1.1. El mercurio

El mercurio (Hg) ahora se considera un contaminante global que también tiene efectos adversos en la salud de las personas expuestas a él. Entre los efectos secundarios comunes se encuentra el sistema nervioso, por lo que se considera un problema de salud que requiere una atención adecuada. El mercurio puede ingresar al organismo a través de la ingesta, la inhalación o la absorción dérmica. Por ello, las personas involucradas en actividades como la minería a pequeña escala constituyen un grupo de alto riesgo, lo que resalta la necesidad de implementar medidas eficaces para reducir su exposición a este metal (27).

2.2.1.2. Plomo

El plomo (Pb) es un metal blando, gris azulado, estable y resistente, este metal ha sido muy utilizado desde la antigüedad, por lo que se puede encontrar en muchas personas. Este hierro afecta sistemas, órganos y células, y sus efectos pueden ser proporcionales a la cantidad en el cuerpo (28).

Actualmente, los tipos y cantidades de contaminantes a los que está expuesta la población han aumentado de forma significativa. Entre ellos, los metales pesados destacan por su capacidad de interactuar con biomoléculas esenciales del organismo. Aunque algunos metales son necesarios para diversas funciones fisiológicas, tienden a acumularse en el cuerpo más rápido de lo que pueden ser eliminados. La principal vía de ingreso de estos elementos es la ingestión. Además de la bioacumulación a lo largo de la cadena trófica, su disponibilidad aumenta cuando se encuentran disueltos en el agua o son ingeridos a través del consumo de peces y crustáceos. Los metales de mayor relevancia toxicológica en cuerpos de agua son el arsénico, cadmio, cromo, mercurio y plomo, los cuales pueden generar alteraciones bioquímicas y fisiológicas significativas. (29).

2.2.1.3. Cadmio

El cadmio, un metal pesado de uso común en diversas industrias, ha sido objeto de extensos estudios en el ámbito de las plantas debido a sus efectos tóxicos. Las reacciones y respuestas frente a este metal no exhiben especificidad, ya que no presentan diferencias significativas en comparación con las observadas para otros metales pesados. Su presencia en diferentes procesos industriales y su

impacto en las plantas han sido analizados exhaustivamente debido a las preocupaciones relacionadas con su toxicidad y los potenciales efectos adversos en los ecosistemas (30).

2.2.2. Bioacumulación de metales pesados.

Perú es uno de los mayores productores de oro del mundo. Sin embargo, una porción significativa de la producción de oro de Perú proviene de la minería de oro artesanal (ASM, por sus siglas en inglés) a pequeña escala en las cuencas de los Andes y el Amazonas. La amalgamación de oro ASGM es el procedimiento básico para refinar el oro para formar una aleación de Au-Hg. La contaminación por mercurio se ha convertido en un problema grave debido a los métodos inadecuados utilizados por los mineros informales y de pequeña escala, que están estrechamente relacionados con la minería aurífera artesanal y de pequeña escala. Varios estudios han demostrado concentraciones muy altas de mercurio en peces comestibles, ríos, sedimentos y aire en áreas donde la ASGM es una fuente importante de ingresos para las comunidades locales y se utiliza activamente (31).

En las últimas dos décadas, la contaminación del agua se ha incrementado de manera significativa, convirtiéndose en una preocupación creciente para la población. Esta situación se debe, en parte, al uso excesivo de compuestos sintéticos y a la presencia no regulada de metales pesados en los ecosistemas acuáticos, lo que ha generado impactos negativos en ríos, lagos y océanos, así como en la vida acuática que los habita. Diversos estudios señalan que, entre los vertebrados acuáticos, los machos presentan una mayor sensibilidad a estos contaminantes ambientales en

comparación con las hembras, lo que evidencia la necesidad de seguir investigando los efectos diferenciados por sexo y especie frente a la exposición a estos agentes tóxicos (32). Los metales pesados son elementos minerales presentes de forma natural en el suelo, el agua y los tejidos vegetales; sin embargo, cuando se encuentran en concentraciones elevadas, representan una amenaza significativa para la salud pública. Diversas enfermedades, como ciertos tipos de cáncer, así como afecciones renales y hepáticas, han sido asociadas con la exposición crónica a estos elementos. La acumulación de metales pesados en el ambiente está estrechamente relacionada con actividades industriales y con el uso intensivo de pesticidas en la agricultura (33). Una de las principales vías de exposición humana es a través de la cadena alimentaria, lo cual representa un riesgo considerable para la salud (34). En este contexto, Neira señala que la salud ambiental se entiende como la interacción de los factores físicos, químicos y biológicos del entorno que pueden influir en la salud humana, entre los cuales los metales pesados figuran como contaminantes ambientales de especial preocupación (35).

2.2.3. La tilapia (*Oreochromis niloticus*)

Es un pez que habita en numerosos ecosistemas de agua dulce en diversas regiones de Colombia. Dada su alta demanda como fuente de alimentación para la población, es crucial garantizar que su entorno acuático esté libre de contaminantes. Esto aseguraría un desarrollo y crecimiento normales de los especímenes, permitiendo su consumo humano sin riesgos. Se considera que las branquias y el hígado son los órganos principales para detectar los efectos de la contaminación en los peces.

2.2.4. Riesgos de salud por consumo de pescado

En 2013, el consumo de pescado representó cerca del 20% de la ingesta promedio de proteínas de origen animal por persona para más de 3100 millones de individuos en todo el mundo. En Colombia, especialmente en las comunidades ribereñas y costeras, el 90% de la proteína de origen animal proviene del pescado debido a la limitada disponibilidad de otras fuentes. No obstante, el país se enfrenta a serios riesgos para la salud derivados de la contaminación ambiental, ocasionada en gran medida por prácticas industriales, agrícolas y mineras inadecuadas. De manera preocupante, un 31,5% de los estudios publicados revelan niveles de metales pesados en el pescado que exceden los límites recomendados por la OMS (0,5 µg/g) en Colombia. Este escenario resalta la imperante necesidad de realizar evaluaciones exhaustivas de los riesgos para la salud en poblaciones de zonas mineras y no mineras, subrayando la urgencia de implementar medidas y proyectos que mitiguen los peligros asociados al consumo de pescado contaminado y aseguren la inocuidad alimentaria de la población (36).

En la actualidad, el mercurio (Hg) se reconoce como un contaminante de alcance global, con repercusiones negativas significativas en la salud de las personas expuestas. Entre los efectos más graves se destacan las afectaciones en el sistema nervioso, generando así un problema de salud pública que demanda una atención adecuada. La entrada de mercurio al organismo puede ocurrir a través de la ingestión, inhalación y absorción, siendo las poblaciones expuestas a actividades como la minería en pequeña escala un factor de riesgo crucial que requiere estrategias efectivas para mitigar la exposición. En este contexto, el presente artículo de revisión examina los avances y tendencias

relevantes informados por la literatura especializada, tanto a nivel nacional como latinoamericano e internacional. Las evidencias subrayan la urgencia de implementar estrategias a mayor escala para controlar la contaminación por mercurio en las fuentes de suministro de agua y alimentos, con el objetivo de prevenir consecuencias graves para la salud humana (37).

Se exploraron minuciosamente los niveles de elementos tóxicos en seis especies de peces del embalse Río Tercero, Argentina, con especial atención a la acumulación de Aluminio y Estroncio. Sin embargo, la revisión de las muestras revela que el consumo de pescado de este embalse plantea riesgos significativos para la salud humana, principalmente debido a las concentraciones elevadas de Mercurio y Arsénico, que exceden los límites establecidos. La evaluación de riesgos mediante indicadores como el cociente de riesgo objetivo (THQ) y el riesgo carcinogénico (CR) expone preocupaciones sustanciales, especialmente en relación con el Arsénico. Resulta vital restringir el consumo de pescado del embalse para mitigar los posibles impactos en la salud. Estos hallazgos proporcionan información esencial para implementar medidas de control de la contaminación y desarrollar políticas preventivas y correctivas, no solo para proteger a las comunidades locales dependientes del embalse, sino también como referencia para áreas similares a nivel global, donde los riesgos para la salud derivados del consumo de pescado contaminado podrían constituir un desafío persistente (38).

2.2.5. Norma Unión Europea de alimentos

En 2006 se implementaron estándares rigurosos para la

comercialización de alimentos, con el fin de salvaguardar la salud pública frente a la presencia de metales pesados. Esto incluyó la fijación de límites máximos de contaminantes en los alimentos, dado el preocupante impacto de metales como el cadmio, mercurio y plomo (39).

Cuando la producción pesquera carece de control, existe el riesgo de agotar las poblaciones de peces, lo que subraya la importancia de que la Unión Europea (UE) administre de manera efectiva dichas poblaciones. Su sistema de gestión no solo busca preservar la reproducción de los peces, sino también crear condiciones propicias para una industria pesquera rentable, al mismo tiempo que desempeña un papel fundamental en su conservación a largo plazo.

Tabla 1. : Contenidos máximos permisibles de mercurio, plomo, cadmio y arsénico(mg/kg)

Regulador	CMP* Mercurio	CMP* Plomo	CMP* Cadmio
U.E	0.50	0.30	0.05

Tomando en referencia (39).

U.E*: Unión Europea

CMP*: Contenido Máximo Permitido de metales pesados

2.2.6. Riesgo para la salud humana por exposición a metales pesados.

La exposición prolongada a metales pesados como el mercurio, plomo y cadmio a través del consumo de pescado contaminado representa un riesgo silencioso pero significativo para la salud humana. Estos elementos tóxicos no se degradan en el ambiente y tienden a acumularse en los

tejidos de los peces, ingresando así a la cadena alimentaria. El mercurio, especialmente en su forma orgánica (metilmercurio), puede causar daños neurológicos severos, mientras que el plomo y el cadmio afectan funciones renales, óseas y cardiovasculares. Los efectos son más graves en poblaciones vulnerables como niños, embarazadas y adultos mayores. Por ello, la evaluación del riesgo sanitario mediante herramientas como el THQ (Target Hazard Quotient) es clave para proteger la salud pública frente a una exposición alimentaria crónica (40).

2.2.7. Evaluación del riesgo no carcinogénico (THQ)

Según (41), la estimación de la dosis diaria de exposición a un contaminante se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Dosis de Exposición} = (C \times IR \times EF \times ED) / (BW \times AT)$$

Donde:

- C: Concentración del contaminante en el alimento (mg/kg)
- IR: Ingesta diaria de alimento (kg/día)
- EF: Frecuencia de exposición (días/año)
- ED: Duración de la exposición (años)
- BW: Peso corporal promedio (kg)
- AT: Tiempo promedio de exposición (días)

Posteriormente, esta dosis se compara con la dosis de referencia (RfD) mediante la fórmula del THQ:

$\text{THQ} = \text{Dosis de Exposición} / \text{RfD}$ Un valor de THQ menor a 1 indica que la exposición no representa un riesgo significativo para la salud humana, mientras que un valor igual o mayor a 1 sugiere la posibilidad de efectos crónicos adversos.

2.3. Marco Conceptual

Metales Pesados: Los metales pesados, compuestos ambientales notoriamente tóxicos, se distinguen por su persistencia, capacidad de bioacumulación, biotransformación y alta toxicidad, lo cual complica su descomposición natural y prolonga su impacto en los ecosistemas. Elementos como cadmio (Cd), cobre (Cu), plomo (Pb), mercurio (Hg) y níquel (Ni) presentan un potencial riesgo incluso en concentraciones bajas, y son utilizados en diversos procesos industriales y actividades como galvanizado, plomería y minería. La definición de metales pesados puede fundamentarse en su peso atómico o densidad, y su liberación en el entorno proviene tanto de su acumulación en los suelos durante la formación terrestre como de varias actividades humanas. Esta liberación continua a través de diversas fuentes contribuye su presencia en el medio ambiente. Este artículo examina detalladamente la relación entre intoxicaciones por metales pesados y distintas ocupaciones, destacando la necesidad de comprender y mitigar los riesgos asociados (42).

Persistencia de un metal: En ambientes acuáticos, la presencia de metales esenciales como cobre, zinc y hierro es vital, pero metales tóxicos como cadmio y plomo pueden inducir estrés oxidativo y afectar la cadena alimentaria. A pesar de ello, algunas microalgas han desarrollado estrategias de detoxificación para resistir estos efectos perjudiciales, permitiéndoles sobrevivir en entornos desafiantes. La revisión se centra en identificar y describir los mecanismos moleculares de resistencia al cadmio en microalgas verdes, destacando la influencia de factores ambientales y episodios de co-resistencia hacia otros metales tóxicos (43).

Contaminación Ambiental: La contaminación ambiental se refiere a la presencia de cualquier sustancia (física, química o biológica) o combinación de sustancias en varios lugares, formas y concentraciones que son perjudiciales para la salud, la seguridad y el bienestar de los seres humanos o pueden ser perjudiciales para la vida y seres en general (44).

Bioacumulación: La bioacumulación es el fenómeno mediante el cual algunas sustancias se van acumulando en los tejidos de los organismos vivos, dependiendo de la concentración de estas sustancias en su entorno. (45). Así mismo, Se define como el aumento de la concentración de contaminantes en los organismos vivos, resultante de sus interacciones con el entorno. Para los organismos acuáticos, las fuentes de absorción incluyen el agua y las partículas alimenticias. La bioacumulación se enfoca en los procesos mediante los cuales los contaminantes son absorbidos por los organismos. (46)

Bioacumulación de metales pesados: Son los elementos químicos Hg, Pb, Zn y Cr se conocen como metales pesados y se consideran una amenaza para la salud pública porque causan trastornos neurológicos, respiratorios y toxicidad renal (47).

Salud: La salud, considerada como un completo bienestar físico, mental y social, es un derecho fundamental para todas las personas, independientemente de su origen o condición. Lograr el máximo nivel de salud contribuye a la paz y seguridad, requiriendo la colaboración tanto individual como estatal. La desigualdad entre los países en la promoción de la salud representa un riesgo compartido, y el desarrollo saludable de los niños es esencial para adaptarse a un mundo cambiante. La difusión global de conocimientos médicos es crucial, al igual que la participación activa del público

y las acciones gubernamentales mediante medidas sanitarias y sociales adecuadas.

2.4. Definición de términos básicos

2.4.1. Bioacumulación

La contaminación de suelos por metales pesados representa actualmente uno de los problemas ambientales más graves, principalmente atribuido a la actividad humana.

Sin embargo, ciertas especies, como las plantas, han desarrollado mecanismos fisiológicos y bioquímicos para mitigar los efectos adversos de estos metales. (48).

2.4.2. Bioconcentración

La bioconcentración es el proceso mediante el cual ciertas sustancias químicas se acumulan directamente en los tejidos de organismos vivos a partir del agua o el aire circundantes que involucra la acumulación a lo largo de la cadena alimentaria, la bioconcentración se centra en la absorción directa de sustancias químicas y son susceptibles a la acumulación de sustancias químicas presentes en el agua (49).

2.4.3. Plomo

El plomo es un elemento químico clasificado dentro de los metales pesados y representado por el símbolo Pb en la tabla periódica. Su notoriedad radica en su toxicidad para humanos y otros seres vivos cuando se encuentra en concentraciones elevadas. A lo largo de la historia, el plomo ha sido utilizado en diversas aplicaciones industriales, como la fabricación de pinturas, tuberías, baterías y combustibles. No obstante, debido a sus efectos perjudiciales, se han establecido regulaciones con el fin de reducir su presencia en productos de consumo (50).

2.4.4. Cadmio

El cadmio, un elemento químico perteneciente a los metales de transición y representado por el símbolo Cd en la tabla periódica, es reconocido por su toxicidad perjudicial para los organismos, incluyendo los seres humanos. A lo largo del tiempo, se ha empleado en diversas aplicaciones industriales, como pigmentos, baterías recargables y aleaciones. Sin embargo, debido a sus riesgos para la salud, se ha intensificado la conciencia sobre la exposición al cadmio, dando lugar a regulaciones ambientales destinadas a controlar y reducir su presencia tanto en productos de consumo como en desechos industriales (51).

2.4.5. Mercurio

El mercurio es un elemento metálico que forma parte del grupo de los metales de transición y se representa en la tabla periódica mediante el símbolo Hg. Destaca por su estado líquido a temperatura ambiente y su elevada toxicidad. A lo largo de la historia, el mercurio ha sido empleado en diversas aplicaciones, como termómetros, barómetros y en la manufactura de productos eléctricos. Sin embargo, debido a sus efectos nocivos, se han implementado restricciones en su uso, especialmente en dispositivos de consumo, con el fin de prevenir riesgos consumo, con el fin de prevenir riesgos para la salud humana y el ambiente (50).

CAPITULO III

PLANTEAMIENTO DE LA (S) HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

3.1.1 Hipótesis general

Hi: La concentración de mercurio, cadmio y plomo en el músculo de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) del reservorio Gallito Ciego y el riesgo para la salud es directa.

3.2. Variables

a) Variable 1

- Determinar el mercurio, cadmio y plomo en el músculo de la tilapia (*Oreochromis niloticus*).

b) Variable 2

- Evaluación de riesgos para la salud.

3.3. Operacionalización de las componentes de las hipótesis

OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES									
Hipótesis	Definición Conceptual de las variables	Definición operacional de las variables/categorías							
		VARIABLES/ CATEGORÍAS	DIMENSIONES/ FACTORES	INDICADORES/CUALIDADES	FUENTE O INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS				
<p>Hi: La concentración de mercurio, cadmio y plomo en el músculo de la tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>) del reservorio Gallito Ciego y el riesgo para la salud es directa.</p>	<p>Acumulación de mercurio, cadmio y plomo: La contaminación de suelos por metales pesados representa actualmente uno de los problemas ambientales más graves, principalmente atribuido a la actividad humana. Sin embargo, ciertas especies, como las plantas, han desarrollado mecanismos fisiológicos y bioquímicos para mitigar los efectos adversos de estos metales. Estos mecanismos incluyen el control de la acumulación en las raíces y la traslocación de los metales a diferentes órganos vegetativos, contribuyendo así a minimizar el impacto de la contaminación en el entorno (51).</p> <p>Riesgo de salud: El riesgo se define como una medida que indica la probabilidad de que ocurra un evento o daño a la salud, como enfermedad o mortalidad. Algunos factores de riesgo incluyen el primer embarazo, la alta paridad, el embarazo a una edad reproductiva temprana o tardía, los abortos previos y la desnutrición. Un factor de riesgo se refiere a cualquier característica o situación identificable en una persona o grupo que se sabe está vinculada con la probabilidad de estar particularmente expuesta a desarrollar o sufrir un proceso morboso, y sus características están asociadas con un tipo específico de daño a la salud (55)</p>	<p>Acumulación de mercurio, cadmio y plomo en el músculo de la tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>).</p>	<p>Plomo en tilapia</p>	<p>Concentración de plomo en la tilapia mg/kg</p>	<p>Espectrometría de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES)</p>				
			<p>Cadmio en tilapia</p>	<p>Concentración de cadmio en la tilapia mg/kg</p>					
			<p>Mercurio en la tilapia</p>	<p>Concentración de mercurio en la tilapia mg/kg</p>					
		<p>Evaluación de Riesgos para la salud.</p>	<p>Exposición a metales pesados</p>	<p>Concentración de plomo en el músculo de la Tilapia</p>	<p>Concentración de cadmio en el músculo de la Tilapia</p>	<p>Concentración de mercurio en el músculo de la Tilapia</p>	<p>Espectrometría de Absorción Atómica (AA) (ICP-OES)</p>		
								<p>Concentración de plomo en el músculo de la Tilapia</p>	<p>Concentración de cadmio en el músculo de la Tilapia</p>

CAPÍTULO IV

MARCO METODOLÓGICO

4.1. Ubicación geográfica

La investigación se llevó a cabo en el reservorio Gallito Ciego, en tres puntos específicos, ubicada en las coordenadas geográficas (-7.25700, -79.21258) a (-7.21521,-79.13562), en la localidad de Yonán, Provincia de Contumazá, en la región de Cajamarca, Perú

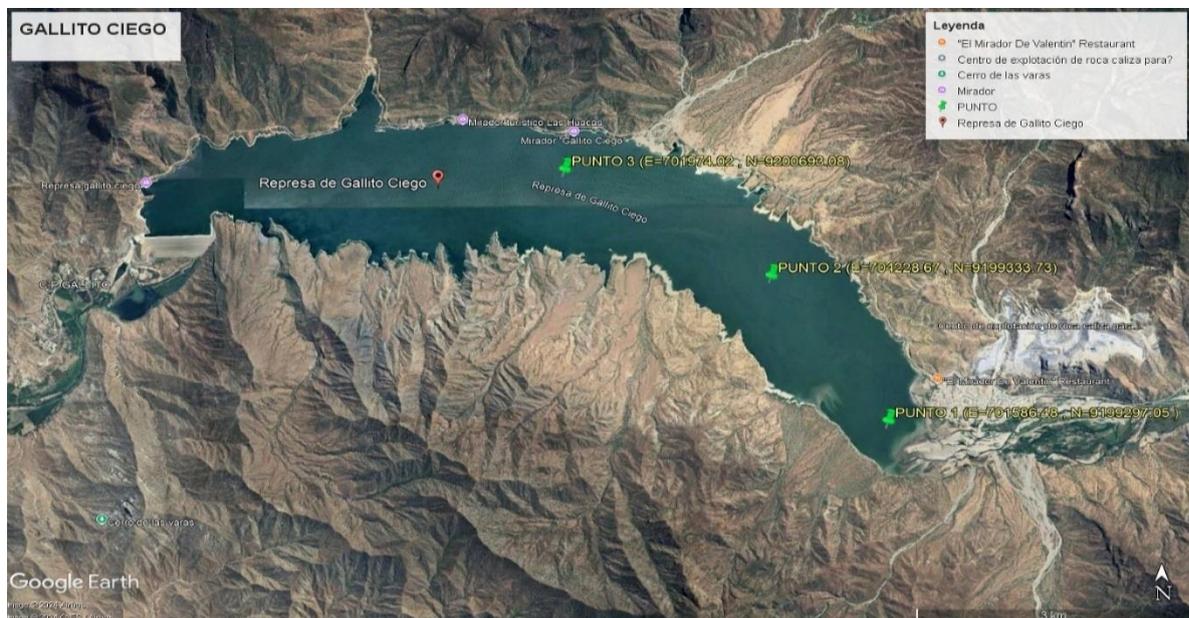


Figura 1. Ubicación del reservorio Gallito Ciego (25).

4.2. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación no experimental, correlacional y de corte transversal, estructurado en las siguientes etapas:

a). No Experimental:

El estudio es de tipo no experimental, ya que no se manipulan las variables independientes. La investigación se enfocó en observar y medir las concentraciones de mercurio, cadmio y plomo en el músculo de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) provenientes del reservorio Gallito Ciego.

b). Correlacional:

Este enfoque buscó determinar la relación entre la acumulación de metales pesados (mercurio, cadmio y plomo) en los músculos de la tilapia y el riesgo potencial para la salud humana derivado del consumo de estos peces. A través de este diseño correlacional, se analizó cómo las concentraciones de los metales en el tejido muscular se asocian con los posibles efectos negativos para la salud en las personas que consumen esta especie, estableciendo una conexión entre la presencia de los metales y el riesgo para la población.

c). Transversal:

La recolección de datos se realizó en un punto en el tiempo, lo que proporciona una instantánea de las concentraciones de metales pesados en los tejidos de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) durante ese periodo. La evaluación del riesgo se realizó bajo la presunción de que los valores obtenidos en laboratorio reflejan las concentraciones presentes en el pescado consumido por la población local en ese momento específico. A partir de esta base, se compararon las concentraciones halladas con los límites permisibles establecidos por la FAO/OMS y la Unión Europea, lo que permitió estimar el riesgo potencial para la salud de los consumidores habituales de pescado proveniente del reservorio Gallito Ciego.

4.3. Métodos de investigación

En este estudio adoptó el método inductivo-deductivo, con un enfoque correlacional y descriptivo, cuyo objetivo es analizar la acumulación de mercurio, cadmio y plomo en los músculos de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) del reservorio Gallito Ciego y evaluar los riesgos para la salud humana. El diseño es no experimental, ya que no se manipulan variables, y corresponde a un diseño correlacional y transversal.

Los datos fueron recolectados en un momento temporal, lo que permitió observar las concentraciones de estos metales pesados en el tejido muscular de las tilapias sin intervención directa en su entorno. Esta estrategia permitió examinar las relaciones entre la presencia de los metales pesados y los riesgos para la salud que implica el consumo de los peces.

El enfoque correlacional facilita la identificación de cómo los niveles de mercurio, cadmio y plomo están asociados con los riesgos potenciales de exposición para los consumidores, lo que proporcionará una visión detallada sobre la situación del reservorio Gallito Ciego.

4.4. Población, muestra, unidad de análisis y unidades de observación

4.4.1. Población:

La población estuvo conformada por 15 ejemplares de tilapias (*Oreochromis niloticus*) del reservorio Gallito Ciego.

4.4.2. Muestra:

Se seleccionó una muestra aleatoria simple de 15 tilapias (*Oreochromis niloticus*), recolectadas en un solo día durante noviembre de 2024. La recolección de la muestra se realizó en tres puntos diferentes del reservorio, obteniéndose 5 ejemplares en cada estación. La selección se realizó por conveniencia dentro de la población, garantizando una muestra representativa para el análisis de metales pesados.

4.4.3. Unidad de Análisis:

La unidad de análisis fueron los metales pesados (mercurio, cadmio y plomo) presentes en los tejidos musculares de las tilapias seleccionadas.

4.4.4. Unidades de Observación:

El objeto de observación fue el tejido muscular de cada tilapia, a partir del cual se obtuvieron los datos necesarios para el análisis de la concentración de metales pesados en los peces del reservorio Gallito Ciego.

4.5. Técnicas e instrumentos de recopilación de información

4.5.1. Técnicas

Primera etapa: Se realizó la captura de las tilapias en el reservorio Gallito Ciego, empleando métodos adecuados para asegurar la obtención de ejemplares representativos, evitando daños que puedan afectar la calidad de las muestras para el análisis posterior.

Segunda etapa: A cada ejemplar capturado se le registró el peso y la longitud total como parte del procedimiento de identificación. Estos datos permitieron asegurar que los peces se encontraban en una etapa adecuada para el análisis, ya que todos presentaron pesos superiores a 500 gramos y longitudes entre 20 y 30 centímetros. Esto confirmó que se trataba de tilapias adultas, con suficiente desarrollo muscular para realizar correctamente los análisis de concentración de metales pesados.

Tercera etapa: Las muestras de tilapia completas fueron colocadas en bolsas plásticas rotuladas individualmente, y luego almacenadas en un cooler con hielo para asegurar su adecuada conservación. Posteriormente, fueron transportadas el mismo día al laboratorio SGS, ubicado en la ciudad de Lima, donde se mantuvieron en condiciones de refrigeración hasta su análisis. El laboratorio realizó el procesamiento y análisis de las muestras, empleando técnicas especializadas para determinar las concentraciones de mercurio (Hg), cadmio (Cd) y plomo (Pb).

4.5.2. Recolección de datos.

Los instrumentos para la recolección de datos que se utilizaron en la investigación fueron:

- Informes de ensayo del laboratorio SGS. (El informe se adjunta en los anexos)
- Reporte fotográfico.
- Cuaderno de campo.
- Excel Microsoft

4.5.3. Procedimiento

El procedimiento para la recolección de peces en el reservorio Gallito Ciego, con el objetivo de analizar los niveles de mercurio, cadmio y plomo en el tejido muscular de tilapias (*Oreochromis niloticus*), se desarrolló en tres fases: selección de puntos de muestreo, trabajo de campo y conservación de las muestras.

4.5.4. Selección de estación de muestreo:

Se establecieron tres puntos estratégicos dentro del reservorio: al inicio, en el centro y al final.

- El primer punto fue elegido por su cercanía al ingreso de agua, zona en la que pueden arrastrarse contaminantes desde el exterior.
- El segundo punto correspondió a una zona intermedia con flujo moderado.
- El tercer punto fue seleccionado por su potencial acumulación de sedimentos, donde podrían concentrarse metales pesados.

4.5.5. Trabajo de campo:

La recolección se realizó con el apoyo de dos colaboradores:

- La primera persona se encargó del traslado del equipo y del desplazamiento del bote hacia los tres puntos definidos.
- La segunda persona realizó la captura de los peces utilizando redes, cuidando que no sufrieran daños que alteraran sus condiciones físicas. Ambos colaboradores emplearon guantes para evitar la contaminación de las muestras.

4.5.6. Conservación de muestras:

Con los ejemplares capturados, se procedió realizar el registro de cada tilapia: identificación, fotografía, medición y pesaje. Posteriormente, se colocaron en un cooler con hielo, manteniendo la cadena de frío hasta su entrega al laboratorio para el análisis correspondiente.



Figura 2. Captura de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en el reservorio Gallito Ciego.

La imagen muestra un momento del muestreo realizado en el reservorio Gallito Ciego, donde se recolectaron ejemplares de tilapia para el análisis. Esta etapa fue fundamental para obtener datos reales del entorno y evaluar la presencia de metales pesados en el pescado que podría ser consumido por la población.



Figura 3. Pesaje de la tilapia en el reservorio Gallito Ciego.

La imagen muestra el pesaje de los ejemplares de tilapia capturados en la represa, un paso esencial en el proceso de evaluación y monitoreo de la salud y condiciones de los peces en el ecosistema, previo al análisis de la acumulación de metales pesados en su organismo.



Figura 4. Medición de la longitud de la tilapia en diferentes puntos del reservorio Gallito Ciego.

En la imagen se muestra el proceso de medición de la longitud de las tilapias capturadas en diversos puntos de la represa, lo cual es parte del análisis para

evaluar el estado de salud y el desarrollo de los ejemplares en relación con los posibles efectos de los metales acumulados en su organismo.



Figura 5. Rotulación de la tilapia

La imagen muestra el proceso de rotulación de las tilapias capturadas en la represa, una técnica utilizada para identificar y hacer un seguimiento de los ejemplares durante el análisis de metales pesados y su evaluación en términos de bioacumulación. Esta práctica es esencial para garantizar una correcta clasificación y posterior análisis de los datos obtenidos en el estudio.



Figura 6. Colocación de la tilapia en el cooler en el reservorio Gallito Ciego.

Esta imagen muestra el proceso de transporte de las tilapias capturadas, donde se asegura que los ejemplares sean colocados adecuadamente en el cooler para su posterior traslado y análisis. El manejo cuidadoso de los especímenes es esencial para garantizar la preservación de la calidad de la muestra antes de ser procesada en el laboratorio.

Fase de laboratorio

El análisis de los tejidos musculares de las tilapias recolectadas se desarrolló en tres etapas, asegurando el cumplimiento de estándares de calidad y precisión en los resultados.

Envío de muestras al laboratorio:

Las muestras fueron transportadas en condiciones controladas de temperatura en un cooler con hielo hasta el laboratorio acreditado Servicios de laboratorio SGS

Perú, ubicado en la ciudad de Lima. Se cumplieron rigurosamente los protocolos de bioseguridad y preservación para evitar cualquier alteración o contaminación durante el traslado.

Preparación y procesamiento de las muestras:

En el laboratorio, los tejidos musculares fueron sometidos a un proceso de digestión mediante técnicas estándar, con el objetivo de liberar los metales pesados presentes en la matriz biológica. Este tratamiento es necesario para obtener una solución apta para análisis instrumental.

Análisis mediante espectrofotometría de absorción atómica (AAS):

Una vez procesadas, las muestras fueron analizadas utilizando la técnica de espectrofotometría de absorción atómica (AAS), reconocida por su alta sensibilidad y eficacia en la detección de metales como mercurio, cadmio y plomo. El laboratorio SGS garantizó que todos los procedimientos se realizaran bajo normas acreditadas de control de calidad, asegurando la fiabilidad y validez de los resultados obtenidos.

4.6. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información

En el método de análisis de datos de esta investigación, se evaluaron las mediciones de peso (en gramos) y longitud (en milímetros) de las tilapias, calculando un promedio para cada punto de monitoreo dentro del reservorio Gallito Ciego. Para el procesamiento de estos datos, se utilizaron el software Microsoft Excel, reconocido por su capacidad para organizar y analizar eficientemente grandes conjuntos de datos. Esta herramienta permitió generar tablas, gráficos y realizar cálculos estadísticos necesarios para interpretar de manera precisa los resultados obtenidos en la investigación.

4.7. Equipos, materiales, insumos Equipo:

- Laptop
- Bote
- Espectrofotómetros
- Impresora
- Multiparámetro, Marca: WTW; Serie: Multi 3430 SET G
- GPS (Marca Garmin)
- Cámara Fotográfica Digital

Materiales:

- Papel
- Atarraya
- Balde de Plástico Transparente de 4 Litros
- Libreta de Apuntes
- Plumón Indeleble
- Guantes Descartables
- Mandil

- Soga
- Probetas de Volúmenes de 25 ml.
- Matraces Volumétricos de 250 ml.
- Bureta de 25 ml.
- Gotero
- Paquete de Hielo
- Cooler de Tecnopor
- Ácido Nítrico

Insumos:

- 1. Reactivo de Extracción
- 2. Patrones de Calibración
- 3. Consumibles de Laboratorio (pipetas, tubos de ensayo, etc.)
- 4. Soluciones de Limpieza

4.8. Evaluación del riesgo para la salud humana

Para estimar el riesgo no carcinogénico asociado al consumo de tilapia contaminada con metales pesados, se utilizó el índice THQ (Target Hazard Quotient), propuesto por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA). Este índice permite comparar la dosis diaria estimada de exposición con una dosis de referencia segura (RfD), y se emplea comúnmente en estudios de evaluación de riesgo alimentario.

La fórmula utilizada fue la siguiente:

$$THQ = \frac{EF \times ED \times IR \times C}{RfD \times BW \times AT}$$

- **EF:** Frecuencia de exposición (365 días/año)

- **ED:** Duración de la exposición (30 años)
- **IR:** Ingesta diaria de pescado (0.034 kg/día)
- **C:** Concentración promedio del metal (mg/kg)
- **RFD:** Dosis de referencia establecida por la EPA
 - Mercurio (Hg): 0.0003 mg/kg/día
 - Plomo (Pb): 0.0035 mg/kg/día
 - Cadmio (Cd): 0.001 mg/kg/día
- **BW:** Peso corporal promedio (70 kg)
- **AT:** Tiempo promedio de exposición ($EF \times ED = 10,950$ días)

Un valor de THQ menor a 1 indica que es poco probable que se presenten efectos adversos para la salud. En cambio, un valor mayor a 1 sugiere un posible riesgo crónico en la población expuesta.

4.9. Matriz de consistencia metodológica

TITULO: "Concentración de Mercurio, Cadmio Y Plomo en el Músculo de la Tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>) del reservorio Gallito Ciego y evaluación de riesgos para la salud.								
FORMULACION DE PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES/CATEGORIAS	DIMENSIONES/FACTORES	INDICADORES/CUALIDADES	FUENTE O INSTRUMENTO DE RECOLECCION DE DATOS	METODOLOGIA	POBLACION Y MUESTRA
¿Cómo es la concentración de mercurio, cadmio y plomo en el músculo de la tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>) del reservorio Gallito Ciego y cuál es el riesgo para la salud?	<p>Objetivo General</p> <p>Determinar la concentración de mercurio, cadmio y plomo en el músculo de la tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>) del reservorio Gallito Ciego y su relación con los riesgos para la salud.</p>	<p>Hi: La concentración de mercurio, cadmio y plomo en el músculo de la tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>) del reservorio Gallito Ciego y el riesgo para la salud es directa.</p>	<p>• ¿Acumulación de mercurio, cadmio y plomo en el músculo de la tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>).</p>	Plomo en tilapia	Concentración de plomo en la tilapia mg/kg	Espectrometría de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES)	<p>Este estudio adopta un enfoque descriptivo y correlacional para analizar la acumulación de mercurio, cadmio y plomo en los músculos de tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>) del reservorio Gallito Ciego y evaluar los riesgos para la salud humana asociados con su consumo. Con un diseño no experimental, correlacional y transversal, los datos se recolectan en un único momento sin intervenir en el entorno. Esto permite explorar la relación entre los niveles de metales pesados y los riesgos potenciales para los consumidores, ofreciendo una</p>	<p>a). Población: La totalidad de las tilapias.</p> <p>b). Muestra: La muestra para analizar son 15, se seleccionará por conveniencia dentro de la población total de tilapias en el reservorio Gallito Ciego. La elección se llevará a cabo mediante técnicas de muestreo aleatorio.</p>
				Cadmio en tilapia	Concentración cadmio en la tilapia mg/kg			
				Mercurio en la tilapia	Concentración de mercurio en la tilapia mg/kg			
			Concentración de mercurio en el musculo de la tilapia	Espectrometría de				
	Concentración de plomo en el musculo de la tilapia							
	<p>2.2.4.2. Objetivos específicos</p> <p>• Determinar la concentración de mercurio (Hg), plomo (Pb) y cadmio (Cd) en los tejidos musculares de la tilapia del reservorio Gallito</p>		<p>• Evaluación de riesgos</p>					

	<p>Ciego en el año 2024.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Evaluar los riesgos para la salud con el consumo del músculo de tilapia del reservorio Gallito Ciego. 		para la salud.	Exposición a metales	<p>Concentración de cadmio en el musculo de la tilapia</p>	Absorción Atómica (AA)	visión detallada de la problemática en esta área.	
--	--	--	----------------	----------------------	--	------------------------	---	--

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Resultados

Tabla 2. Concentraciones de mercurio (Hg), cadmio (Cd) y plomo (Pb) en el tejido muscular de tilapias (Oreochromis niloticus) recolectadas en tres puntos de muestreo en el reservorio Gallito Ciego (expresado en µg/g)

Punto de Muestreo	MERCURIO (Hg)(ug/g)	CADMIO (Cd)(ug/g)	PLOMO (Pb)(ug/g)
PUNTO 1	No Detectable	0.019	<0.017
	0.005	0.020	<0.017
	<0.004	0.018	No Detectable
	No Detectable	0.014	No Detectable
	No Detectable	0.019	No Detectable
PUNTO 2	0.005	0.013	No Detectable
	<0.004	0.015	No Detectable
	<0.004	0.015	No Detectable
	<0.004	0.021	No Detectable
	<0.004	0.019	No Detectable
PUNTO 3	<0.004	0.020	<0.017
	<0.004	0.018	No Detectable
	<0.004	0.016	<0.017
	<0.004	0.020	No Detectable
	No Detectable	0.024	<0.017
Identificación de Muestras	Cadmio (mg/kg)	Mercurio (mg/Kg)	Plomo (mg/Kg)
	0.001	0.001	0.005
	0.004	0.002	0.017

La tabla presenta los resultados del análisis de concentración de mercurio (Hg), cadmio (Cd) y plomo (Pb) en el músculo de las tilapias (*Oreochromis niloticus*) de la represa Gallito Ciego. Se observa que el mercurio es el metal con la mayor concentración en las muestras, especialmente en el Punto 1 y Punto 3, con valores

que superan los límites de detección en varias muestras. En comparación, el cadmio también se detectó en concentraciones relativamente altas, pero el plomo estuvo principalmente por debajo del límite de detección. Las concentraciones de mercurio alcanzaron hasta 0.005 mg/kg, lo que indica un mayor riesgo potencial para la salud en la zona. Las unidades se expresan en microgramos por gramo ($\mu\text{g/g}$).

*Tabla 3. Análisis de varianza (ANOVA) para medir la relación entre de acumulación de mercurio, cadmio y plomo en el músculo de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) de la represa Gallito Ciego y evaluación de riesgos para la salud.*

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	0.002	2	0.001	6.775	0.003
Dentro de grupos	0.006	42	0.000		
Total	0.008	44			

En la tabla 3 se observa que el P valor ($P=0.003$) es menor al 5%, lo que indica que hay una diferencia estadísticamente significativa en la acumulación de mercurio, cadmio y plomo en el músculo de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) de la represa Gallito Ciego. Esto sugiere que estos metales pesados tienen una relación significativa en su acumulación en los tejidos de las tilapias, lo cual es importante al considerar los riesgos para la salud. La presencia de mercurio, en particular, es relevante debido a su alta toxicidad y su potencial para bioacumularse en la cadena alimentaria, lo que podría representar un riesgo para las personas que consumen estos peces. Por lo tanto, los resultados subrayan la importancia de monitorear la calidad del agua y los niveles de metales pesados en la represa, ya que estos pueden tener implicaciones en la salud pública.

Tabla 4. Análisis de comparaciones múltiples entre diferencias de acumulación de mercurio, cadmio y plomo en el músculo de tilapia.

(I) Grupos			Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
HSD Tukey	Cadmio	Mercurio	-,015947*	0.004373	0.002	-0.02657	-0.00532
		Plomo	-0.00608	0.004373	0.355	-0.0167	0.00454
	Mercurio	Cadmio	,015947*	0.004373	0.002	0.00532	0.02657
		Plomo	0.009867	0.004373	0.073	-0.00076	0.02049
	Plomo	Cadmio	0.00608	0.004373	0.355	-0.00454	0.0167
		Mercurio	-0.009867	0.004373	0.073	-0.02049	0.00076
Scheffe	Cadmio	Mercurio	-,015947*	0.004373	0.003	-0.02704	-0.00485
		Plomo	-0.00608	0.004373	0.389	-0.01718	0.00502
	Mercurio	Cadmio	,015947*	0.004373	0.003	0.00485	0.02704
		Plomo	0.009867	0.004373	0.09	-0.00123	0.02096
	Plomo	Cadmio	0.00608	0.004373	0.389	-0.00502	0.01718
		Mercurio	-0.009867	0.004373	0.09	-0.02096	0.00123

En la tabla 4 se observa que al analizar las pruebas de Tukey y Scheffe, la concentración de cadmio 0.00212 mg/kg en el músculo de Tilapia (*Oreochromis niloticus*), tiene diferencia significativa con el mercurio 0.0187 mg./kg, siendo el mercurio el que tiene mayor nivel de concentración, mientras que la concentración de plomo 0.00820 mg/kg no varía.

Tabla 5. Post prueba para determinar la concentración de metales en el músculo de tilapia

Grupos		N	Subconjunto para alfa = 0.05	
			1	2
HSD Tukey ^a	Cadmio	15	0.00212	
	Plomo	15	0.00820	0.00820
	Mercurio	15		0.01807
	Sig.		0.355	0.073
Scheffe ^a	Cadmio	15	0.00212	
	Plomo	15	0.00820	0.00820
	Mercurio	15		0.01807
	Sig.		0.389	0.090

En la prueba post hoc (Post prueba) para determinar las concentraciones y las diferencias, se observa que la concentración de Cadmio, Plomo y Mercurio son de 0.00212 mg/kg, 0.00820 mg/kg. y 0.0187 mg./kg, respectivamente; marcando una diferencia significativa el mercurio el cual genera mayor concentración dentro del músculo de tilapia, siendo este metal el de mayor riesgo para la salud por su alta concentración.

Evaluación del riesgo no carcinogénico por consumo de tilapia (THQ)

A partir de las concentraciones promedio de mercurio, cadmio y plomo detectadas en el músculo de tilapia (*Oreochromis niloticus*) recolectadas del reservorio Gallito Ciego, se procedió a calcular el índice de riesgo no carcinogénico (THQ), utilizando la fórmula previamente descrita en la sección de metodología.

Las concentraciones promedio obtenidas fueron las siguientes:

- Mercurio (Hg): 0.01807 mg/kg
- Plomo (Pb): 0.00820 mg/kg

- Cadmio (Cd): 0.00212 mg/kg

Los parámetros utilizados para el cálculo del THQ fueron:

- EF = 365 días/año (frecuencia de exposición)
- ED = 30 años (duración de exposición)
- IR = 0.034 kg/día (ingesta diaria promedio de tilapia)
- BW = 70 kg (peso corporal promedio)
- AT = 10,950 días (tiempo total de exposición)
- RfD (dosis de referencia según la EPA):

La fórmula general utilizada fue:

- **THQ = (EF × ED × IR × C) / (RfD × BW × AT)**

Donde "C" representa la concentración promedio del metal en mg/kg.

- Hg = 0.0003 mg/kg/día
- Pb = 0.0035 mg/kg/día
- Cd = 0.001 mg/kg/día

- **THQ para Mercurio (Hg)**

$$\text{THQ} = (365 \times 30 \times 0.034 \times 0.01807) / (0.0003 \times 70 \times 10,950)$$

$$\text{THQ} = 6.72879 / 229.95 = \mathbf{0.0293}$$

- **THQ para Plomo (Pb)**

$$\text{THQ} = (365 \times 30 \times 0.034 \times 0.00820) / (0.0035 \times 70 \times 10,950)$$

$$\text{THQ} = 3.06954 / 2674.25 = \mathbf{0.00115}$$

- **THQ para Cadmio (Cd)**

$$\text{THQ} = (365 \times 30 \times 0.034 \times 0.00212) / (0.001 \times 70 \times 10,950)$$
$$\text{THQ} = 0.78727 / 766.5 = \mathbf{0.00103}$$

Todos los valores obtenidos se encuentran **muy por debajo del umbral de 1**, lo cual indica que no existe un riesgo no carcinogénico significativo para la salud humana asociado al consumo de tilapia en las condiciones evaluadas. Sin embargo, el valor más alto corresponde al mercurio, lo que sugiere la importancia de mantener vigilancia ambiental continua, debido a su capacidad de bioacumulación en organismos acuáticos y su toxicidad a largo plazo.

5.2. Análisis, interpretación y discusión de resultados

Determinar la relación entre la acumulación de metales pesados en el músculo de tilapia y los riesgos para la salud, los resultados evidencian una relación estadísticamente significativa ($p=0.003$). Este hallazgo dialoga con lo encontrado por Willans et al. (2024) en su estudio en la Provincia Mineral de Carajás, Brasil, donde también identificaron una relación significativa entre la presencia de metales pesados en peces y riesgos para la salud humana, particularmente asociados al plomo en todas las especies estudiadas. Sin embargo, a diferencia del presente estudio donde el mercurio muestra mayor concentración, ellos encontraron que el molibdeno representaba el mayor riesgo, específicamente en la especie *Leporinus trifasciatus*.

Así sobre la concentración de mercurio, plomo y cadmio en los tejidos musculares, los resultados muestran concentraciones de 0.01807 mg/kg para mercurio, 0.00820 mg/kg para plomo y 0.00212 mg/kg para cadmio. Al contrastar

estos hallazgos con la investigación de Zaghloul et al. (2021) en la ciudad de Hurghada, Mar Rojo, se observan diferencias notables. En su estudio, aunque también detectaron estos tres metales en el músculo de las tilapias, las concentraciones se mantuvieron dentro de los límites establecidos por la OMS, la FAO/OMS y la UE, mientras que, en la presente investigación, específicamente el mercurio, muestra niveles que ameritan atención especial.

Por otro lado, los resultados de la concentración en los músculos de la tilapia, pueden compararse con lo reportado por Finoto et al. (2024) en su investigación del río Araguari, donde encontraron niveles elevados de cadmio y plomo que superaban los límites legales brasileños. Esta diferencia con los resultados actuales, donde el cadmio presenta la menor concentración (0.00212 mg/kg), podría atribuirse a las distintas condiciones ambientales y fuentes de contaminación presentes en cada ecosistema.

Por lo tanto, sobre la evaluación de riesgos para la salud, los resultados actuales muestran que el mercurio representa el mayor riesgo potencial debido a su elevada concentración. Este hallazgo contrasta con lo encontrado por Effah et al. (2024), aunque algunos metales pesados están presentes, no se relacionan con riesgos de cáncer en su estudio realizado en el río Ankobra, Ghana. Por lo tanto, aunque el mercurio presente riesgo, no necesariamente está asociado con cáncer, pero sí puede afectar la salud de otras maneras.

A partir del cálculo del índice de riesgo no carcinogénico (THQ), se determinó que los valores obtenidos para mercurio (0.0293), plomo (0.00115) y cadmio (0.00103) se encuentran muy por debajo del umbral de 1. Esto indica que, desde el enfoque toxicológico propuesto por la EPA, el consumo habitual de tilapia del reservorio Gallito Ciego no representa un riesgo crónico significativo para la salud

humana. No obstante, el hecho de que el THQ más alto corresponda al mercurio, refuerza la necesidad de establecer medidas de monitoreo dirigidas, considerando su toxicidad acumulativa y su presencia persistente en los ecosistemas acuáticos. Estos hallazgos permiten sostener que, aunque se cumplan los límites normativos establecidos por la Unión Europea, una vigilancia constante sigue siendo esencial, sobre todo para proteger a grupos vulnerables como niños y mujeres embarazadas.

La presente investigación también puede compararse con el estudio de Ahmad et al. (2022) en la Isla de Hainan, China, quienes analizaron doce metales pesados en diferentes tejidos de cinco especies de peces. A diferencia de nuestros resultados donde el mercurio predomina, ellos encontraron que el cromo, cadmio y arsénico representaban los mayores riesgos no carcinogénicos para la salud humana. Esta variación podría explicarse por las diferentes actividades industriales y mineras presentes en cada región.

En el contexto nacional, los resultados actuales difieren de lo encontrado por Rosales et al. (2024) en su estudio de tres especies de peces bentónicos del río Monzón, región Huánuco. Mientras que en la presente investigación el cadmio muestra la menor concentración, ellos reportaron concentraciones promedio de cadmio de 1.62 ppm en julilla, 1.59 ppm en carachama y 0.73 ppm en boquichico, valores significativamente más altos que sugieren una mayor contaminación en ese ecosistema.

La predominancia del mercurio en el presente estudio también contrasta con los hallazgos de Chui et al. (2024) en su investigación sobre truchas arcoíris del lago Titicaca, donde los niveles de metales pesados detectados en los músculos fueron inferiores al límite máximo permisible. Esta diferencia podría atribuirse a

las distintas características geográficas y actividades económicas que influyen en cada cuerpo de agua.

Es importante destacar que las variaciones en las concentraciones de metales pesados entre diferentes estudios pueden explicarse por múltiples factores. Como señalan Mukherjee et al. (2023), los patrones de acumulación varían entre regiones y tejidos, y están influenciados por condiciones ambientales específicas, actividades antropogénicas locales y características propias de cada especie.

Los resultados de la presente investigación también pueden analizarse a la luz del estudio de Akila et al. (2024) en el lago Pulicat, India. Mientras que ellos encontraron valores medios de cobre y cromo de 123.1 $\mu\text{g/g}$ y 90.1 $\mu\text{g/g}$ respectivamente, con concentraciones en muestras de pescado entre 0.5 $\mu\text{g/g}$ y 25.5 $\mu\text{g/g}$, nuestro estudio revela un patrón diferente de bioacumulación donde el mercurio predomina significativamente.

En el contexto de la evaluación de riesgos para la salud, los hallazgos actuales coinciden parcialmente con lo reportado por Peñaloza et al. (2024) en su estudio sobre truchas arcoíris en Perú. Aunque las especies y ecosistemas son diferentes, ambos estudios

señalan riesgos potenciales para la salud humana debido a la bioacumulación de metales pesados, aunque en su caso encontraron un riesgo cancerígeno específico del 1.27% en muestras de la sección baja del río estudiado.

Estas comparaciones resaltan la importancia de considerar factores locales y regionales en la evaluación de la contaminación por metales pesados en ecosistemas acuáticos. Como sugiere Abebe et al. (2024) en su revisión sistemática, aunque no se asocien enfermedades inmediatas al consumo de pescado, los residentes locales podrían enfrentar riesgos para la salud en

ecosistemas de agua dulce, especialmente considerando los efectos acumulativos a largo plazo.

En el ámbito latinoamericano, un estudio reciente realizado en Colombia por Martínez y colaboradores en lagos artificiales similares al reservorio Gallito Ciego encontró patrones de acumulación distintos, donde el cadmio presentaba las mayores concentraciones en el tejido muscular de tilapias. Esta diferencia notable con nuestros hallazgos podría explicarse por la presencia de diferentes actividades industriales en las zonas aledañas a los cuerpos de agua estudiados. Asimismo, una investigación en Ecuador, en la región amazónica, reveló concentraciones significativamente más altas de todos los metales estudiados, particularmente en zonas con fuerte presencia de minería informal.

La realidad peruana muestra sus propias particularidades. Un estudio realizado en la laguna Chinchaycocha, Junín, encontró que las concentraciones de metales pesados variaban significativamente según la estación del año, siendo mayores durante la época de lluvias. Este factor estacional no fue considerado en el presente estudio y podría explicar algunas de las diferencias observadas. Por otro lado, investigaciones en la selva peruana han documentado concentraciones de mercurio notablemente más altas que las encontradas en Gallito Ciego, posiblemente debido a la mayor presencia de minería aurífera informal en esas regiones.

Las implicaciones prácticas de estos hallazgos son múltiples y merecen especial atención. En primer lugar, la predominancia del mercurio en los tejidos musculares de la tilapia sugiere la necesidad de implementar programas de monitoreo específicos para este metal. Mientras que la mayoría de los programas de vigilancia actuales se centran en un espectro más amplio de contaminantes, los resultados indican que los recursos podrían optimizarse priorizando el seguimiento del mercurio.

Además, estos hallazgos tienen implicaciones directas para las comunidades pesqueras locales. La pesca artesanal en el reservorio Gallito Ciego representa una fuente importante de ingresos para muchas familias. La identificación de niveles elevados de mercurio podría requerir la implementación de programas de capacitación específicos para los pescadores sobre métodos seguros de manipulación y la importancia de la rotación de zonas de pesca para minimizar la exposición a áreas potencialmente más contaminadas.

Desde el punto de vista de salud pública, los resultados indican la necesidad de establecer recomendaciones claras para el consumo de tilapia, especialmente para grupos vulnerables como mujeres embarazadas y niños pequeños, quienes deberían limitar la frecuencia con que consumen pescado de este reservorio. Estas recomendaciones deben tomar en cuenta no solo los niveles de metales encontrados, sino también los hábitos y costumbres locales de alimentación.

Las diferencias con otros estudios similares pueden deberse a varios factores. Primero, la zona donde se ubica el reservorio Gallito Ciego cuenta con características geológicas particulares, ya que el terreno contiene naturalmente ciertos metales como el mercurio, lo que podría explicar su mayor presencia en los peces.

Además, la actividad agrícola cercana puede influir. El uso histórico de pesticidas y fertilizantes en la región podría haber generado una acumulación variable de metales pesados en el agua y sedimentos del reservorio.

También es importante considerar la antigüedad del reservorio. Los sedimentos en

embalses más antiguos tienden a concentrar metales con el tiempo, y bajo ciertas condiciones, estos pueden liberarse y llegar a los peces. Por ello, Gallito Ciego, con varias décadas de uso, podría presentar una acumulación mayor que otros cuerpos de agua más recientes.

Las diferencias en la forma de muestrear y analizar las muestras pueden explicar variaciones entre estudios. Mientras otros trabajos pueden centrarse en sitios específicos, este estudio buscó representar el reservorio en general. Además, aunque las técnicas de análisis son estándar, pueden variar en sensibilidad.

También hay que tomar en cuenta la población de tilapias. Factores como la alimentación, crecimiento y reproducción de los peces pueden variar según el cuerpo de agua, lo que afecta cómo acumulan metales en sus tejidos.

Finalmente, las condiciones climáticas y estacionales, como las lluvias, sequías y cambios en la temperatura del agua, influyen en la disponibilidad y acumulación de estos metales. Esto indica que estudios más prolongados en el tiempo ayudarían a entender mejor estas variaciones.

CONCLUSIONES

La investigación demostró una relación estadísticamente significativa ($p=0.003$) entre la acumulación de mercurio, cadmio y plomo en el músculo de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) del reservorio Gallito Ciego y los riesgos para la salud.

El análisis de la concentración en los tejidos musculares de la tilapia reveló un patrón diferenciado de acumulación, donde el mercurio presentó la mayor concentración, seguido por el plomo y el cadmio.

La evaluación del riesgo para la salud humana por el consumo del músculo de tilapia reveló que, aunque las concentraciones promedio de mercurio, plomo y cadmio estuvieron dentro de los límites máximos permisibles establecidos por organismos internacionales, la aplicación del índice THQ mostró que sus valores (0.0293 para mercurio, 0.00115 para plomo y 0.00103 para cadmio) se encuentran muy por debajo del umbral de 1. Esto indica que, el consumo de tilapia no representa un riesgo no carcinogénico significativo para la salud humana.

RECOMENDACIONES

Diseñar un plan de vigilancia específico para el reservorio Gallito Ciego, que incluya monitoreos periódicos de tilapia y análisis de metales pesados en diferentes tejidos (músculo, hígado y branquias), a fin de establecer un perfil más completo de concentración y riesgo.

Implementar un programa piloto de evaluación toxicológica en consumidores frecuentes de tilapia, con análisis de biomarcadores en sangre, orina o cabello, que permita identificar posibles efectos acumulativos de metales pesados en la salud humana.

Realizar estudios de correlación entre parámetros fisicoquímicos del agua y sedimentos con los niveles de metales pesados en tilapias, para identificar factores ambientales que puedan influir en la presencia de estos contaminantes.

Promover la participación activa de las comunidades pesqueras y autoridades locales en la identificación de zonas de pesca segura, mediante la elaboración de mapas de riesgo basados en los datos de concentración de metales.

Evaluar la factibilidad de aplicar técnicas de biorremediación en zonas críticas del reservorio, utilizando especies vegetales o métodos naturales que ayuden a reducir progresivamente la carga de metales pesados en el ecosistema.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Vasques Mpr. "Factor De Bioconcentración Y Traslocación De Metales Pesados En Eichhornia Crassipes De La Laguna Olmeca En Veracruz" Mexico; 2020.
2. Estupiñan EJV. Contaminación Ambiental, Bioacumulación Y Biomagnificación Colombia; 2019.
3. Mancera N, Alvarez R. Estado Del Conocimiento De Las Concentraciones De Mercurio Y Otros Metales Pesados En Peces Dulceacuicolas De Colombia Colombia; 2006.
4. Pulido M, Trujillo J, Torres J. Contenido De Metales Pesados En Suelos Agrícolas De La Región Del Ariari, Departamento Del Meta. Orinoquia. : P. 118-122.
5. Martí L, Burba J, Cavagnaro M. Metales Pesados En Fertilizantes Fosfatados, Nitrogenados Y Mixtos. 2022.
6. Correa O, Fuentes F, Coral R. Contaminación Por Metales Pesados De La Microcuenca Agropecuaria Del Río Huancaray - Perú Peru; 2021.
7. Escobar L, Pérez D, Zavala F, Rodriguez C, Flores M. Metales Pesados Bioacumulables En Tilapia (*Oreochromis Niloticus*) En El Cauce Del Rio Balsas, Tierra Caliente De Guerrero. 2018; 6(2).
8. Zorrilla M. Estado Del Arte Sobre La Presencia De Metales Pesados En Tejidos Y Agallas De Peces Cali; 2011.
9. Marquez A, Senior M, Fermin I, Martinez G, Castañeda J, Gonzales A. Cuantificación De Las Concentraciones De Metales Pesados En Tejidos De Peces Y Crustáceos De La Laguna De Unare, Estado Anzoátegui, Venezuela. 2008; 8(1).
10. Akila M, Anbalagan S, Lakshmisri Nm, Janaki V, Janaki T, Kamala S, Et Al. Heavy Metal Accumulation In Selected Fish Species From Pulicat Lake, India, And Health Risk Assessment. Homepage: [Www.Elsevier.Com/Locate/Eti](http://www.Elsevier.Com/Locate/Eti). 2022.
11. Willians M, Silveira Wv, Souza Es, Teixeira Ra, Palheta Dc, Costa Hf, Et Al. Health Risks Of Potentially Toxic Elements In Fish Species From The Southeastern Carajás Mineral Province, Brazil. 2022; 204.
12. Effah E, Worlanyo D, Acheampong E, Kofi S, Adotey J. Human Health Risk Assessment From Heavy Metals In Three Dominant Fish Species Of The Ankobra River, Ghana. 2021.
13. Abebe B, Mulat S, Sintie T, Temesegen L. Bioaccumulation And Biota-Sediment Accumulation Factor Of Metals And Metalloids In Edible Fish: A Systematic Review In Ethiopian Surface Waters. : P. 1-10.

14. Khan N, Ullah H, Ashfaqa Y, Hussain N, Atique U, Atique U, Et Al. Elucidating The Effects Of Heavy Metals Contamination On Vital Organ Of Fish And Migratory Birds Found At Fresh Water Ecosystem. 2023; 9.
15. Zaghloul Gy, Ezz El-Din Hm, Mohamedein Li, El-Moselhy Km. Bio-Accumulation And Health Risk Assessment Of Heavy Metals In Different Edible Fish Species From Hurghada City, Red Sea, Egypt. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2022.103969>. 2022; 95.
16. Ahmad T, Gul S, Amjad M, Diao X, Ahmad A, Ahmad S. Bioaccumulation And Health Risk Assessment Of Heavy Metal (Loid)S In Different Fish Species Of Hainan Island, China. : P. 1395-1406.
17. Mukherjee Y, Chandra S, Karan S. Bioaccumulation Pattern Of Heavy Metals In Fish Tissues And Associated Health Hazards In Human Population. 2022.
18. Finoto L, Lima C, Brito Ms, Lima S, Kummrow F, Cesar F. Metals Bioaccumulation In Fish Captured From Araguari River Upper Section (Amazon Biome), And Risk Assessment To Human Health Resulting From Their Consumption. 2024; 7.
19. P Av. Contaminación Ambiental Por Mercurio Y La Salud Fisiológica Y Psicologica Del Poblador De Huepetuhe - Madre De Dios-2019 Lima; 2021.
20. Rosales E, Cotrina M, Valdivieso G, Sales F, Garcia E, Ordoñez S. Bioacumulación De Metales Pesados En Tres Especies De Peces Bentónicos Del Río Monzón, Región Huánuco. : P. 69-78.
21. Custodio M, Espinoza C, Orellana E, Chaname F, Peñaloza R. Assessment Of Toxic Metal Contamination, Distribution And Risk In The Sediments From Lagoons Used For Fish Farming In The Central Region Of Perú. www.elsevier.com/locate/toxrep. 2022.
22. Peñaloza R, Custidio M, Cacciuttolo C, Chaname F, Cano D. Human Health Risk Assessment For Exposure To Heavy Metals Via Dietary Intake Of Rainbow Trout In The Influence Area Of A Smelting Facility Located In Peru. 2023; 8(11).
23. Cusiche , Espinoza Cl, Espinoza Ge, Cusiche MI, Victorio Jj, Mandujano Me. Determinación De Metales Pesados En Aguapara Consumo Humano De La Ciudad De Junín. : P. 51-56.
24. Chui Hn, Roque B, Huaquisto E, Sardón DI, Belizario G, Calatayud Ap. Metales Pesados En Truchas Arcoíris (*Oncorhynchus Mykiss*) De Crianza Intensiva De La Zona Noroeste Del Lago Titicaca. 2021.
25. Arbulu Y, Sanchez G. Plomo, Mercurio Y Cobre En Hígado Y Músculode Orestias Ispiy Orestias Agassiidel Lago Titicaca (Perú) 2018. Revista De Investigación Científica Rebiol. 2022.

26. Londoño Lf, Londoño Pt, Muñoz Fg. Los Riesgos De Los Metales Pesados En La Salud Humana Y Animal. 2017; 4(2).
27. Cadavid N, Arango A. El Mercurio Como Contaminante Y Factor De Riesgo Para La Salud Humana. 2020; 17(2).
28. Poma Pa. Intoxicación Por Plomo En Humanos. 2008; 69(2).
29. Addison J. Efectos Sobre La Salud Del Agua Contaminada Por Metales Pesados. 2022; 4(1).
30. Pernía B, Sousa A, Reyes R, Castillo M. Biomarcadores De Contaminación Por Cadmio En Las Plantas. 2008; 33(2).
31. Torres Fg, De La Torre Ge. Mercury Pollution In Peru: Geographic Distribution, Health Hazards, And Sustainable Removal Technologies. 2022.
32. Quintero Sa. Impacto De Los Contaminantes En La Calidad Espermática De Los Peces: Revisión Literaria Y Meta-Análisis. 2021.
33. Mendoza B, Torrez D, Merú L, Gómez C, Estanga M, Garcia Y. Concentración De Metales Pesados En Suelos Agrícolas Bajo Diferentes Sistemas De Labranza. 2021; 24(50).
34. Morales E, Bustos Mp, Pinglo Fm, Cueva E, Díaz E. Estudios Recientes De Metales Pesados En Peces: Una Revisión Bibliográfica Con Énfasis En Perú. 2022; 3(1).
35. Neira C, Rojas Jm, Rodas C. Metales Pesados. 2021.
36. Vargas Sp, Marruco JI. Mercurio, Metilmercurio Y Otros Metales Pesados En Peces De Colombia: Riesgo Por Ingesta. : [Http://Dx.Doi.Org/10.15446/Abc.V24n2.74128](http://dx.doi.org/10.15446/abc.v24n2.74128). 2019; 4(2).
37. Cadavid N, Arango A. El Mercurio Como Contaminante Y Factor De Riesgo Para La Salud Humana. 2020; 17(2).
38. Garneró Pl, Bistoni Ma, Monferran Mv. Trace Element Concentrations In Six Fish Species From Freshwater Lentic Environments And Evaluation Of Possible Health Risks According To International Standards Of Consumption. : P. 21598-21608.
39. Unión Europea. Contenidos Máximos En Metales Pesados En Productos Alimenticios. [Http: Www.Mcx.Es/Plaguicidas/Espanol.Asp..](http://www.mcx.es/plaguicidas/espanol.asp)
40. World Health Organization (Who). Mercury And Health. [Https://Www.Who.Int/News-Room/Fact-Sheets/Detail/Mercury-And-Health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/mercury-and-health). 2001.

41. Environmental Protection Agency. Guidance For Assessing Chemical Contaminant Data For Use In Fish Advisories. Risk Assessment And Fish Consumption Limits Third Edition. : P. 87.
42. Rodríguez D. Intoxicación Ocupacional Por Metales Pesados. 2017; 21(12).
43. Cortés Aa, Sánchez S, Rodríguez F, Bartolomé Mc. Mecanismos De Resistencia A Metales Tóxicos (Cd)Bajo Variaciones Abióticas En Microalgas. Doi: 10.1016/J.Recqb.2017.08.005. 2017.
44. Palacios I, Moreno D. Contaminación Ambiental. : P. 93-103.
45. Wright D, Welbourn P. Environmental Toxicology. Cambridge Environmental Chemistry Series. : P. 696.
46. Blasco J, Chapman P, Campana O. Marine Ecotoxicology: Current Knowledge And Future Issues. 1st Ed. London; 2016.
47. Perea V, Vasquez Y. Bioacumulación De Metales Pesados En Dos Especies De Peces Vendidos En El Mercado De Paloquemao (Bogotá). 2021; 4.
48. Jara E, Gómez J, Montoya H, Tapia L, Cano N, Dextre A. Acumulación De Metales Pesados En Calamagrostis Rigida (Kunth) Trin. Ex Steud. (Poaceae) Y Myriophyllum Quitense Kunth (Haloragaceae) Evaluadas En Cuatro Humedales Altoandinos Del Perú. 2017; 24(2).
49. Camacho S. Bioconcentración Y Toxicidad De Metales En El Langostino Macrobrachium Rosenbergii (De Man). 2006.
50. Clarkson T, Laszlo P, Myers G. La Toxicología Del Mercurio: Exposiciones Actuales Y Manifestaciones Clínicas. 2003.
51. Fowler N, Nordberg M. Nordberg GF.,Fowler BA And Nordberg M (Eds) Handbook On The Toxicology Of Metals 4th Edelsevier/Academic Press 2014. 2014.
52. Senado J. Los Factores De Riesgo. Versión Impresa ISSN 0864-2125versión On-Line ISSN 1561-3038. 1999; 15(4).

ANEXOS

Resultados de informe de ensayo



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL – DA CON REGISTRO N° LE – 002



INFORME DE ENSAYO

AG2438277 Rev. 0

Página 1 de 2

Ensayo solicitado por el cliente:	TERRONES TERAN ELIZABETH ROCIO	Cantidad Muestras:	15
Solicitud de Ensayo:	609532-2	Fecha de Muestreo:	11/11/2024 11:39
Producto descrito como:	PESCADOS	Fecha de Recepción:	11/11/2024 12:16
Procedencia:	MUESTRA RECIBIDA	Fecha de Ensayo:	Del 13/11/2024 15:29 Al 14/11/2024
Detalles de la recepción:	En bolsa plástica transparente	Fecha de Emisión:	14/11/2024
Información del cliente:	PRODUCTO: TILAPIA FRESCA		

Ensayos	Metodo/Titulo
Metales	AOAC Official Method 2013.06 21st Ed. 2019 Arsenic, Cadmium, Mercury, and Lead in Foods Pressure Digestion and Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry. (VALIDADO - Modificado) - 2018

Resultados

Identificación de Muestras	Ensayo	Cadmio	Mercurio	Piomo
	Unidades	(mg/Kg)	(mg/Kg)	(mg/Kg)
	L.D.	0.001	0.001	0.005
	L.C.	0.004	0.002	0.017
M1- PUNTO 1		No Detectable	0.019	<0.017
M2- PUNTO 1		0.005	0.020	<0.017
M3- PUNTO 1		<0.004	0.018	No Detectable
M4- PUNTO 1		No Detectable	0.014	No Detectable
M5- PUNTO 1		No Detectable	0.019	No Detectable
M1- PUNTO 2		0.005	0.013	No Detectable
M2- PUNTO 2		<0.004	0.015	No Detectable
M3- PUNTO 2		<0.004	0.015	No Detectable
M4- PUNTO 2		<0.004	0.021	No Detectable
M5- PUNTO 2		<0.004	0.019	No Detectable
M1- PUNTO 3		<0.004	0.020	<0.017
M2- PUNTO 3		<0.004	0.018	No Detectable
M3- PUNTO 3		<0.004	0.016	<0.017
M4- PUNTO 3		<0.004	0.020	No Detectable
M5- PUNTO 3		No Detectable	0.024	<0.017

L.D. = Límite de Detección
L.C. = Límite de Cuantificación

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL-DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC."



Este documento es emitido bajo las Condiciones Generales de Servicio de SGS del Perú S.A.C., las cuales se encuentran descritas en la página <http://www.sgs.peru/es/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definidas en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia; queda prohibida la reproducción total o parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.
Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayada(s); no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas y de la información proporcionada por el cliente.

SGS del Perú S.A.C.

Av. Elmer Faucett 3346 - Calleo 1

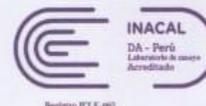
t (51-1) 517 1900

www.sgs.pe

Miembro del Grupo SGS (Sociedad Global de Supervisión)



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL – DA CON REGISTRO N° LE – 002



Registro N° LE-002

INFORME DE ENSAYO

AG2438277 Rev. 0

Página 2 de 2

Eladio Máximo Muñoz Contreras
C.B.P. 01516
Supervisor Lab Prod Orgánicos

Este documento es emitido bajo las Condiciones Generales de Servicio de SGS del Perú S.A.C., las cuales se encuentran descritas en la página <http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definidas en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia; queda prohibida la reproducción total o parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayada(s); no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas y de la información proporcionada por el cliente.

SGS del Perú S.A.C.

Av. Elmer Faucett 3348 - Callao 1

1 (51-1) 517 1900

www.sgs.pe

Miembro del Grupo SGS (Société Générale de Surveillance)

APÉNDICE

Panel fotográfico 1: Registro del proceso de pesaje de tilapia fresca previo al análisis de metales pesados.



Panel fotográfico 2: Proceso de medición de la longitud total del ejemplar de tilapia.



Panel fotográfico 3: Colocación del ejemplar de tilapia en bolsa hermética rotulada, como parte del protocolo de conservación y transporte.



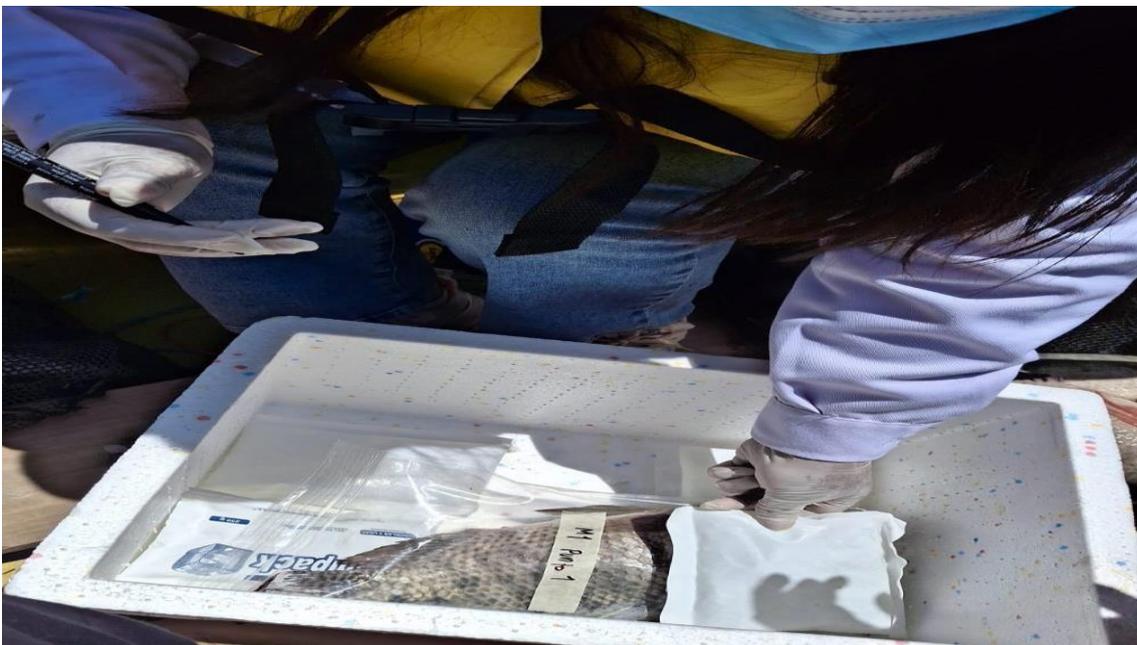
Panel fotográfico 4: Ejemplar de tilapia correctamente sellado y rotulado en bolsa hermética..



Panel fotográfico 5: Identificación individual de la muestra mediante rotulado externo en la bolsa hermética.



Panel fotográfico 6: Ingreso de muestras de tilapia rotuladas en una conservadora térmica (cooler).



Panel fotográfico 7: Evidencia de la correcta rotulación de la tilapia en el punto de muestreo en el reservorio Gallito Ciego.

