

REPÚBLICA DOMINICANA
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL CIBAO ORIENTAL
(UTECO)

Facultad de Postgrado y Educación Continuada



Tesis para optar por el Título de Máster en Gestión y Auditoría Ambiental

TÍTULO:

Identificación de Cadmio en peces de la Presa de Hatillo: un enfoque analítico para la
evaluación ambiental

Sustentantes:

Moraima Altagracia Marte

Yngrid Altagracia Ureña

Asesora:

Dra. Lolymer Romero Maza

Cotuí, Provincia Sánchez Ramírez

Año académico 2024

TÍTULO:

**IDENTIFICACIÓN DE CADMIO EN PECES DE LA PRESA DE HATILLO: UN
ENFOQUE ANALITICO PARA LA EVALUACIÓN AMBIENTAL**

Índice de Contenido

HOJA DE EVALUACIÓN	6
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	7
AGRADECIMIENTOS	8
DEDICATORIAS	9
RESUMEN	11
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	
1.1. Antecedentes.	12
1.2 Planteamiento del problema.	17
1.3 Justificación.....	19
1.4 Objetivos.	20
1.4.1 Objetivo general.	20
1.4.2 Objetivos específicos.....	20
1.5 Cuadro de operacionalización de las variables	21
1.6 Definición de términos.	21
1.7 Marco contextual.....	23
1.8 Alcance y límites de la investigación.	27
CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA	
2.1 Introducción:	28
2.2 Concentración del Cadmio en los peces.	28
2.3 Regulaciones y políticas ambientales	28
2.3.1 Normativas locales, nacionales o internacionales relacionadas con la contaminación por Cadmio en alimentos marinos.	29
2.4 Impacto en la salud humana.	29
2.4.1 Estándares de seguridad alimentaria.....	30
2.4.2 Efectos del consumo de pescado	31
2.4.2.1 Beneficios del consumo de pescado	31
2.4.3 Riesgo del consumo de pescado en la salud humana.	32
CAPÍTULO III. METODOLOGIA	
3.1 Introducción	46
3.2 Tipo de diseño de investigación	46
3.3 Población y muestra	47

3.4 Técnica de recolección de muestra	47
3.5 Método de Procesamiento de la muestra	49
3.6 Análisis de los datos	50
CAPÍTULO IV._INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS	
4.1 Introducción	52
CAPÍTULO V._ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	
5.1 Introducción	57
CAPÍTULO VI._CONCLUSIONES	
CAPÍTULO VII._RECOMENDACIONES	
6.1 Al Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales	62
6.2 A los consumidores finales.....	62
6.3 A la Universidad Tecnológica del Cibao Oriental (UTECO)	62
6.4 A las autoridades ambientales y gubernamentales.....	62
6.5 A las autoridades de salud pública.....	63
6.6 A las comunidades locales y pescadores	63
BIBLIOGRAFÍA.....	64
ANEXOS.....	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Contenido de cadmio en la muestra de pescado Tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i> /Nombre científico) 1 en la presa de hatillo, Cotui, Prov. Sánchez Ramírez.	52
Tabla 2. Contenido de cadmio en la muestra de pescado Tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i> /Nombre científico) 2 en la presa de hatillo, Cotui, Prov. Sánchez Ramírez.	52
Tabla 3. Contenido de cadmio en la muestra de pescado Tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i> /Nombre científico) 3 en la presa de hatillo, Cotui, Prov. Sánchez Ramírez.	53
Tabla 4. Contenido de cadmio en la muestra de pescado Trucha (<i>Oncorhynchus mykiss</i> /Nombre científico) 1 en la presa de hatillo, Cotui, Prov. Sánchez Ramírez.	53
Tabla 5. Contenido de cadmio en la muestra de pescado Trucha (<i>Oncorhynchus mykiss</i> /Nombre científico) 2 en la presa de hatillo, Cotui, Prov. Sánchez Ramírez.	54
Tabla 6. Contenido de cadmio en la muestra de pescado Trucha (<i>Oncorhynchus mykiss</i> /Nombre científico) 3 en la presa de hatillo, Cotui, Prov. Sánchez Ramírez.	564

HOJA DE EVALUACIÓN

IDENTIFICACIÓN DE CADMIO EN PECES DE LA PRESA DE HATILLO: UN ENFOQUE ANALITICO PARA LA EVALUACIÓN AMBIENTAL

Por:

Moraima Altagracia Marte

Yngrid Altagracia Ureña

Trabajo final de postgrado sometido a la universidad Tecnológica del Cibao Oriental (UTECO), como requisito parcial para obtener el título Magister en Gestión y Auditoria Ambiental.

Dra. Lolymer Romero Maza

Profesor Asesor

Ender Iñiguez Freites, M.A

Miembro del Comité evaluador

Leocadia Sánchez Martínez

Miembro del Comité evaluador

Dra. Kenia Martínez Reynoso

Miembro del Comité evaluador

Lic. Yuderka Reyes

Directora de Postgrado

Dr. Dionicio Ripoll Concepción

Decano de la Facultad de Postgrado y Educación Continuada

Calificación: _____

Cotui, Prov. Sánchez Ramírez, Republica Dominicana

Enero 2025

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Los conceptos emitidos en el presente trabajo final de Postgrado, titulado: **“identificación de cadmio en peces de la presa de hatillo: un enfoque analítico para la evaluación ambiental”**, son responsabilidad de los sustentantes. Las citas y consultas bibliográficas se han realizado respetando el derecho de autor, por tanto, se libera a la Universidad Tecnológica del Cibao Oriental (UTECO) de su responsabilidad, sin embargo, para la reproducción parcial o total se requiere de su autorización.

Sustentantes:

Yngrid Altagracia Ureña

Moraima Altagracia Marte

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestra más profunda gratitud a todas las personas e instituciones que hicieron posible tanto nuestra formación en la maestría como la culminación de esta investigación.

A Dios, por ser nuestra guía, darnos fortaleza y sabiduría, y permitirnos completar con éxito este proceso académico y de investigación.

A nuestras familias, cuyo amor incondicional, apoyo constante y comprensión fueron pilares fundamentales para superar cada desafío. Su aliento resultó esencial para alcanzar este logro.

A nuestros compañeros, por su comprensión, su apoyo incondicional y por ser una fuente constante de motivación a lo largo de esta travesía académica.

Al Ministerio de Educación Superior, Ciencia y Tecnología (MESCyT), por la beca otorgada, la cual fue clave para nuestra formación académica y el desarrollo de esta investigación.

A la Universidad Tecnológica del Cibao Oriental (UTECO), por brindarnos el espacio para crecer profesionalmente y por el respaldo académico recibido a lo largo de la maestría. En especial, agradecemos a nuestra asesora, Lolymer Romero Maza por su valiosa orientación y apoyo durante todo el proceso.

Al Laboratorio LAMENER, por la realización precisa y profesional de las pruebas de análisis, que fueron fundamentales para el desarrollo de este estudio.

A todos ustedes, nuestro más sincero agradecimiento.

Yngrid Altagracia Ureña

Moraima Altagracia Marte

DEDICATORIAS

Dedico este trabajo a quienes han sido mi mayor fuente de inspiración y fortaleza en cada etapa de este camino.

A mi esposo, Carlos Enrique Romero Peguero, cuyo apoyo incondicional y comprensión han sido el motor para superar cada obstáculo. Tu amor, paciencia y confianza en mí me han dado el valor necesario para alcanzar este objetivo.

A mis hijos, Ángel Antonio, Imanol Enríquez e Ian Alexander, por su ternura, comprensión y amor inquebrantable. Su apoyo constante ha sido una luz que me impulsó a perseguir mis metas con determinación y esperanza.

A mi familia, en especial a mis hermanos, por ser mi mayor fuente de fortaleza y motivación. Su amor, apoyo incondicional y palabras de aliento han sido esenciales en cada etapa de este camino. Gracias por ser mi sostén y por compartir conmigo la alegría de este logro

A Leonela Antigua Ortega y Patricia Romero, cuyo apoyo y ayuda invaluable hicieron posible que este proyecto se materializara. Su confianza en mí, su generosidad y su disposición para brindarme orientación en los momentos más importantes fueron fundamentales para alcanzar esta meta. Este logro también les pertenece.

A todos ustedes, mi más profundo agradecimiento por ser parte de este viaje. Este logro también está inspirado en cada uno de ustedes. ¡Gracias por siempre estar ahí!

Yngrid Altagracia Ureña

A nuestro padre celestial, que siempre me guía por el buen camino y me sirve de inspiración para seguir adelante y conseguir las metas que deseo alcanzar en la vida.

Al Mescyt, por haberme dado la oportunidad de realizar esta maestría la cual va a servirme de soporte para desenvolverme mejor en la vida. Gracias por todo.

A la Universidad Tecnológica del Cibao Oriental (UTECO), institución digna de elogio por la labor que está desempeñando a favor de los estudiantes de escasos recursos.

A todos los profesores del curso, que me tuvieron tanta paciencia y me trataron como yo necesitaba, con mucho cariño.

A mi asesora, Lolymar Romero Maza, por su eficiente labor docente.

A mi Madre, por su amor incondicional y su apoyo, que me brinda en cada meta que me propongo en la vida. Gracias este éxito también es tuyo.

A mi Padre, por darme la existencia y estar de acuerdo con los objetivos que me he propuesto alcanzar.

A mis familiares, que fueron solidarios conmigo, brindándome su apoyo incondicional.

A todos los amigos y amigas, que colaboraron conmigo de una u otra forma.

A mi compañera de tesis, por soportarme las incomodidades que le hice pasar.

Moraima Altagracia Marte

RESUMEN

El creciente impacto de la contaminación por metales pesados, especialmente el cadmio, representa una amenaza significativa para los ecosistemas acuáticos y la salud humana. Este estudio tuvo como objetivo identificar y evaluar la concentración de cadmio en los peces de la Presa de Hatillo, ubicada en la provincia de Sánchez Ramírez, República Dominicana, con el fin de evaluar el impacto ambiental y los riesgos asociados a la exposición prolongada al consumo de estos peces contaminados.

La metodología utilizada incluyó la preparación de muestras según el protocolo EPA 3050 B y su posterior análisis utilizando el método de AOAC International. Los resultados revelaron que los niveles de cadmio en los peces de la presa superaron los límites establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS), lo que indica una contaminación significativa del ecosistema acuático.

Este hallazgo subraya la importancia de implementar medidas de mitigación y vigilancia para controlar la contaminación por cadmio, proteger la biodiversidad acuática y reducir los riesgos para la salud humana. La investigación destaca la necesidad de políticas públicas efectivas para la gestión ambiental y la auditoría continua de los cuerpos de agua afectados, con el fin de asegurar la sostenibilidad de los recursos pesqueros y la seguridad de las comunidades locales.

En conclusión, este estudio proporciona evidencia clave sobre la presencia de cadmio en la Presa de Hatillo y establece la urgencia de desarrollar estrategias de gestión ambiental que aborden la contaminación por metales pesados, garantizando la protección de los ecosistemas acuáticos y la salud pública.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.

1.1. Antecedentes.

La CDA Corporación el Desarrollo Sostenible del Norte y Oriente Amazónico (2021) en su informe relacionado con la determinación y análisis del contenido de Mercurio y Cadmio en muestras de sedimentos, plantas y peces recolectados en río Atabapo, Inírida, Guainía, Isana y Cuyari. Determinaron que el río Guainía presentó un mayor grado de contaminación por mercurio (Hg), con una concentración promedio de 3.576 mg/kg. Por otro lado, el río Atabapo evidenció una mayor concentración de Hg en peces, con un promedio de 0.122 mgHg/kg. En cuanto al Cadmio (Cd), el río Taraira mostró la mayor contaminación, con una concentración promedio de 0.36 mg/kg. Asimismo, las plantas cercanas al río Isana presentaron niveles significativos de contaminación por Cd, con concentraciones de 0.59 mg/kg. Estos hallazgos reflejan la importancia de monitorear y gestionar adecuadamente el impacto ambiental en estas áreas.

De igual forma, Romero et al. (2020) realizaron una investigación titulada “Determinación de Cadmio, Mercurio y Plomo en peces amazónicos y análisis de agua procedentes del río Huallaga en el distrito Rupa Rupa, provincia Leoncio Prado, departamento de Huánuco”. El propósito del estudio fue determinar los niveles de Cadmio, Mercurio y Plomo en peces y agua, en comparación con los límites permitidos por SANIPES, la legislación de la Unión Europea y los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua. Los resultados indican que los niveles de Cadmio, Mercurio y Plomo excedieron los límites permitidos en el análisis de peces y agua del río Huallaga, lo que representa un alto riesgo de contaminación ambiental. Sin embargo, los parámetros fisicoquímicos del agua se mantuvieron dentro de los límites permitidos, lo que no representa un peligro para el medio ambiente.

Por otra parte, Tomailla & Iannacone (2018) llevaron a cabo un estudio con el propósito de evaluar la toxicidad de cuatro metales en el pez *Parachaeiroidon innesi neon tetra*. El estudio reveló que los valores de CL50-96h indicaron que el grado de toxicidad de los metales evaluados con el neón tetra fue: Mercurio (Hg) Cadmio (Cd), Arsénico(As), Plomo (Pb). Además, las CL50-96h identificadas para Arsénico, Cadmio, Mercurio y Plomo, mediante los métodos Excel Probit y TRAP fueron similares. Con base a los PNEC estimados y su comparación con los

ECA Cat 4 /E2 Río Selva, aplicables vigentes, se concluyó que la concentración límite para arsénico no es apropiada y su cumplimiento no aseguraría la conservación del medio acuático.

Zhao et al. (2018) en su investigación tuvieron como objetivo reconocer las propiedades de los sedimentos y evaluar la contaminación por metales pesados en el río Perla, China. Para el muestreo se trabajó con 323 muestras de sedimentos del río. Los resultados mostraron concentraciones variadas, en As, Cr, Cu, Pb y Zn, aunque los valores cumplían con los estándares de calidad. Concluyeron que el índice de geo-acumulación existente es de contaminación moderada en cuanto a Cd en la zona de estudio y las distribuciones ecotoxicológico probablemente con es de un 21 % ejerciendo un estrés tóxico en sedimentos.

Manoj, Thakur, Uddandam, & Prasad (2018) en su investigación se plantearon el objetivo de evaluar la contaminación por metales en sedimentos del humedal Vembanad, desde la ciudad urbana del sudoeste de la India. Los resultados del estudio indican que la presencia de Cd mostró muy alto grado de enriquecimiento en los sedimentos superficiales. Los valores más altos de metales tales como Cd, As, Pb y Zn en la mayoría de los sitios del norte podrían haber resultado por la descarga de efluentes de industrias químicas cercanas y por el mayor uso de fertilizantes, pesticidas, 24 insecticidas, refinó de petróleo, procesamiento de metales y actividades urbanas a través de Periyar y río Chithirapuzha y otros canales pequeños.

Según Checalla Carbajal (2017) durante su investigación sobre los efectos de iones químicos y microorganismos existentes en los sedimentos de la bahía interior de la ciudad de Puno, detallando la composición de que un sedimento aporta información sobre las diferentes combinaciones de datos de los análisis químicos y mineralógicos de sedimentos, que muestra la historia de diversos procesos dando lugar a la información de los contaminantes presentes. Los resultados obtenidos se obtuvieron valores elevados para Cadmio, Arsénico, Cromo, Cobre y que fueron presentes como elementos tóxicos de la bahía del Lago Titicaca, según la norma canadiense de sedimentos para la protección de la vida acuática.

Un estudio afirma que el Arsénico afecta los parámetros hematológicos, bioquímicos e iones regulatorios de los organismos (Kumari et al., 2016). Distintas exposiciones continuas de organismos acuáticos, incluyendo peces, a bajas concentraciones de este metal han dado como resultado la bioacumulación, estando focalizada en hígado y riñón en los peces. Estas actividades antrópicas han contribuido a que se incremente su presencia en el ambiente. El

cadmio produce efectos similares en los peces y en los humanos, los cuales incluyen deformaciones del sistema esquelético y daño en el funcionamiento del riñón en peces. Lo que indica que este metal es más tóxico en agua dulce, ya que en agua salada forma compuestos que son menos biodisponibles para los organismos.

También Espinal et al. (2015) realizaron un trabajo de investigación sobre Metales Pesados en Peces de la Bahía de Samaná: donde se evaluó los niveles de metales pesados, incluido el Cadmio, en peces capturados en la Bahía de Samaná, una importante área marina en la República Dominicana.

En dicho estudio se encontró que varias especies de peces presentaban niveles detectables de metales pesados, incluyendo cadmio, plomo y mercurio y que estos altos niveles de metales pesados podrían afectar a los ecosistemas marinos locales, perjudicando a otras especies acuáticas. Además, los resultados del estudio sugieren que la presencia de metales pesados en los peces podría tener implicaciones negativas para la salud humana, especialmente en aquellas comunidades que dependen de la pesca en la Bahía de Samaná como fuente principal de proteína.

En otro orden de ideas, la contaminación ambiental es un problema mundial, la mayoría de los contaminantes de mayor relevancia en los sistemas acuáticos son los metales pesados, debido a su toxicidad y acumulación en los organismos y a la biomagnificación a través de la cadena trófica (Shafaqat et al., 2014). Los metales pesados, como el Arsénico, Cadmio, Mercurio y Plomo, son considerados los más tóxicos a animales y al ambiente. Estos producen efectos biológicos adversos en los organismos, siendo estos letales o subletales (Pandey y Madhuri, 2014).

Lobato (2013) en su investigación para determinar las concentraciones en metales en la cuenca alta del río Ramis, caracterizó las ocurrencias de metales en grandes fluvio-glaciares que contienen oro, además en el monitoreo del 2010 se indica que los valores de cobre, plomo, zinc, cadmio, hierro, manganeso y arsénico sobrepasan los estándares de calidad ambiental para agua. Los resultados muestran que los valores de zinc, cobre, cadmio, arsénico y mercurio presentaron valores de moderado alto y alto en concentraciones de las 11 estaciones de estudio, esto según indica la norma Canadian Environmental Quality Guideline de directrices de calidad de sedimentos en protección de vida acuática. Se concluye que los puntos de mayor impacto

negativo se encuentran desde la naciente del río Ramis que está en relación directa con el grado del movimiento de material de la parte alta.

Bravo, Piedra & Piedra (2012) en su investigación para determinar el efecto de los metales pesados por actividades antropogénicas de las comunidades, muestrearon cinco puntos y tres adicionales, con el fin de valorar la condición de los sedimentos utilizando la norma establecida por el Ministerio del Ambiente de Ontario, Canadá; concluyendo que los metales ejercen impactos negativos respecto a la calidad 26 de los sedimentos, aunque el efecto de contaminación generado por tales actividades se clasificó como efecto menor.

Isern Roselló & Martínez Planas (2011) determinaron las concentraciones de metales pesados en sedimentos procedentes de actividades mineras en Cuenca del río Jequetepeque. Se desarrolló el estudio de distribución de metales entre sedimentos y en el mismo se encontraron concentraciones elevadas de metales pesados como: Arsénico, Cadmio y Plomo, las conclusiones del estudio destacan el riesgo de la acidez extrema en los sedimentos para la toxicidad del Cobre, aunque un pH de 4 se considera relativamente seguro en términos de la toxicidad de metales pesados.

Según Eissa (2008), todos los seres vivos están en constante interacción con su ambiente, ya sea para procurar los recursos esenciales o las condiciones ambientales adecuadas para su supervivencia. Cuando un organismo puede sobrevivir, crecer y reproducirse en determinadas condiciones, a pesar de que ciertos factores de cambio siguen actuando, se dice que está adaptado a ese ambiente. Además, los seres vivos tienen la capacidad de mantener su medio interno constante, dentro de ciertos límites, en un ambiente físico cambiante, para lo cual requieren del intercambio continuo de energía y materia con su entorno. Esta interacción constante puede verse influida por factores contaminantes, como se observa en los estudios sobre la acumulación de metales en organismos acuáticos.

En este sentido, Boyle et al. (2008) mencionan que ciertos metales, como los metales pesados, se acumulan en los organismos acuáticos dependiendo de su tamaño y edad. Los invertebrados acuáticos que habitan en ambientes contaminados por metales pesados pueden acumular estos elementos en sus cuerpos, lo que potencialmente contribuye a la magnificación y cronicidad de estos contaminantes en las especies predatoras, como los peces. De hecho, la contaminación por plomo (Pb) puede originarse por diversas vías, tanto naturales como

antropogénicas, como lo mencionan Kolf-Claw et al. (2007), quienes destacan que actividades como el vulcanismo, la erosión eólica, así como la polución automovilística e industrial, como en el caso de las actividades metalúrgicas en el departamento de Ancash, son fuentes significativas de esta contaminación.

En relación con los metales pesados, los resultados obtenidos por Ciardullo et al. (2008) sobre la concentración de mercurio (Hg) en el organismo de los peces indican que, aunque los niveles de Hg en el músculo de los peces estaban por debajo de los límites máximos permisibles establecidos por la EC, su distribución en el organismo puede variar. En particular, los metales pesados como el Hg se encuentran en menores concentraciones en el músculo y la piel de los peces en comparación con otros órganos, como las branquias, los riñones y el hígado. Esto refuerza la idea de que el intercambio continuo de materia y energía con el ambiente también está influenciado por la forma en que los organismos procesan y almacenan estos contaminantes.

Asimismo, De Bruyn y Gobas (2006) mencionan que el grado en que se acumulan los contaminantes alimentarios varía mucho entre especies, pudiéndose atribuir en gran parte a la variación en la forma como las especies se alimentan, digieren y asignan su energía. La fuente principal de contaminación por Hg estaría en la minería artesanal. El MINEM (2005), menciona que se utiliza el Hg para la recuperación del oro debido a la facilidad que tiene para formar compuestos (amalgamas) con los metales preciosos.

Por ello, la contaminación de las aguas por Hg haría evidente la presencia de minas artesanales cercanas al río o lagunas. Boudou et al., (2005) mencionan que los peces depredadores y de mayor tamaño, presentan la mayor concentración de Hg en su organismo debido a que los peces piscívoros como es el caso de la Trucha (*Oncorhynchus mykiss*), tienden a acumular más metales en su organismo.

Oscos, Escala y Campos (2000) afirman que un pez adulto se alimenta con otro tipo de organismos, confirmando la capacidad de los peces para acumular y biomagnificar los metales pesados. Estos factores no podrían atribuirse necesariamente a los animales del estudio, sin embargo, la presencia de metales pesados sugiere la presencia de contaminación en su hábitat. La diferencia en los niveles de metales pesados en la musculatura de peces con respecto a procedencia y lugar de muestreo, se pueden explicar por las variaciones geográficas, niveles

tróficos, tamaño de los peces y la capacidad de cada metal para biomagnificarse en la cadena alimenticia.

En este sentido, Burger y Gochfeld (2001) afirman que es de esperar que los peces que están más arriba en la cadena trófica acumulen en su organismo niveles más altos de metales, tales como el Hg.

La capacidad de los organismos para mantener la constancia o estabilidad de sus parámetros internos esenciales, en un rango de cambios que pueden tolerar, sin alterar su funcionalismo, también se llama homeostasis (Willmer et al., 2000). Lo antedicho pone en evidencia similitudes funcionales en dos sistemas (ecosistemas y organismos) cuyas diferencias se fundamentan según los grados de complejidad, pero ambos poseen mecanismos regulatorios que contribuyen a mantener su homeostasis.

Obiols, Devesa, Peiro y Salayé (1992) desarrollaron el concepto de especiación de metales pesados por medio del cual se analiza la presencia de ellos bajo diferentes formas químicas en agua dulce y agua de mar. El concepto de especiación implicaba el análisis de dichos metales en forma lábil o suelta, en disolución, formando complejos, asociado a partículas, asociado a materia orgánica o inorgánica o como metal total. En un trabajo posterior (1993), los mismos autores realizaron la determinación de Cobre, Plomo y cadmio en muestras de agua de mar de la zona frente a la ciudad de Barcelona, España.

En relación, Ruiz (1999) abordó el problema de la contaminación de sedimentos marinos en función de efectos ambientales de las operaciones de dragado en las obras portuarias y marinas. La disminución de la población de salmones en las aguas del río Bidasoa en España fue atribuida la composición del sedimento de dicho río, en el cual fueron encontrados elevados niveles de cadmio, cobre, zinc y cromo.

1.2 Planteamiento del problema.

La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2019) define el agua contaminada como aquella cuya "composición haya sido modificada de modo que no reúna las condiciones para el uso que se le hubiera destinado en su estado natural". Este ha sido un tema de preocupación en todo el mundo debido a diversos factores. La falta de tratamiento de aguas residuales en las

ciudades, industrias, hoteles, explotaciones mineras, agrícolas y ganaderas, generan grandes desechos de aguas contaminadas que ocasionan mucho daño al medio ambiente y a quienes viven en él, esto ha contribuido a la degradación de la calidad del agua, especialmente con vertidos no tratados en los cuerpos de agua. Esta situación ha generado una serie de desafíos relacionados con la necesidad de mejorar las estrategias para abordar la contaminación del agua.

Según la UNESCO (2017), el 80 % de las aguas residuales retornan al ecosistema sin ser tratadas o reutilizadas, siendo uno de los grandes desafíos del agua. La contaminación en la presa de Hatillo no escapa de esta realidad y su mal manejo puede estar vinculado a vertidos de aguas residuales no tratadas, proveniente de hogares e industrias lo que puede tener impactos negativos en la salud humana y el medio ambiente.

La preocupación de la población es comprensible, ya que en los últimos tiempos se ha alertado de la presencia de metales pesados, como el Cadmio, en organismos de consumo humano, entre ellos peces de agua dulce, lo que plantea riesgos significativos para la salud y el bienestar de las comunidades que dependen de estos recursos acuáticos (Villasante, 2022).

Las elevadas concentraciones de Cadmio en el medio ambiente representan una seria amenaza para el desarrollo saludable y sostenible de la industria acuícola, así como un obstáculo significativo para el progreso de la industria alimentaria procesadora. Es crucial investigar la distribución y los impactos tóxicos del Cadmio en los peces, al igual que los posibles efectos perjudiciales del Cadmio en el organismo humano. Numerosos estudios han evidenciado que la acumulación y distribución de Cadmio en los peces son específicas desde un punto de vista biológico, generando disparidades en los tejidos y provocando daños significativos en la integridad de la estructura y función de los tejidos, el sistema antioxidante de defensa, el sistema regulatorio reproductivo y el sistema inmunológico. Los niveles fisiológicos, bioquímicos, enzimáticos, moleculares y de expresión genética experimentan cambios con diferentes concentraciones y períodos de exposición al Cadmio, y estos cambios están estrechamente ligados a los sitios específicos de acción del Cadmio y a los tejidos en los peces. Por consiguiente, los efectos tóxicos del Cadmio en los peces se manifiestan en múltiples tejidos, sistemas y niveles (Liu et al., 2022).

Es importante abordar esta preocupación mediante la implementación de medidas efectivas para monitorear y reducir la presencia de Cadmio en los cuerpos de agua dulce, así

como promover prácticas sostenibles que protejan la calidad del agua y la salud de los ecosistemas acuáticos. La educación pública sobre los riesgos asociados con el consumo de pescado contaminado y las medidas de seguridad alimentaria también es fundamental para proteger a las comunidades afectadas.

Además, es crucial establecer políticas y regulaciones ambientales que limiten la liberación de Cadmio y otros contaminantes en el medio ambiente, con el fin de salvaguardar la salud pública y preservar los ecosistemas acuáticos para las generaciones futuras. La conciencia pública y la participación activa en la protección de los recursos hídricos son clave para abordar este desafío.

Con base a la información proporcionada, la presencia de Cadmio en peces de agua dulce puede tener efectos perjudiciales para la salud humana. El Cadmio es un metal tóxico que, al acumularse en los tejidos de los peces, representa un riesgo significativo para quienes consumen estos peces. Dicha investigación pretende dar respuesta a las siguientes interrogantes:

1. ¿Cuál es el contenido de Cadmio presente en los peces de la presa de Hatillo y cuál es su posible riesgo para la salud humana?
2. ¿Cuál es el nivel de acumulación de Cadmio en los peces bentónicos de la presa de Hatillo?
3. ¿Cuáles son las similitudes o diferencias al comparar los contenidos de cadmio en el pescado de la presa de Hatillo con los estándares y regulaciones ambientales?
4. ¿Cuáles son los posibles riesgos para la salud humana al contrastar las concentraciones encontradas de Cadmio en los peces de la presa de Hatillo?

1.3 Justificación.

La identificación de los niveles de Cadmio en los peces de la presa de Hatillo y su comparación con estándares internacionales y regulaciones ambientales representa una investigación fundamental debido a su impacto en la salud humana, la biodiversidad acuática y la conservación del ecosistema.

La presencia de metales como el mercurio, plomo y Cadmio en los peces de la presa de Hatillo plantea un riesgo significativo para la salud de las comunidades que dependen de estos recursos como fuente alimentaria. La exposición a estos metales puede causar efectos adversos

en la salud, desde problemas neurológicos hasta daños en órganos vitales, por lo que comprender y mitigar esta amenaza es crucial para la salud pública (Franco et al., 2016).

Además, la contaminación por Cadmio puede tener efectos devastadores en la biodiversidad acuática, afectando no solo a los peces, sino también a otros organismos que conforman el ecosistema. Esta investigación busca identificar estos niveles de contaminación y entender cómo estos metales afectan la estructura y el equilibrio de la comunidad acuática, siendo esencial para la conservación y restauración de los mismos.

A su vez, se comparan los niveles de Cadmio en los peces de la presa de Hatillo con estándares internacionales y regulaciones ambientales establecidas; lo que permitirá evaluar el grado de cumplimiento de las normativas vigentes. Esta comparación proporcionará una base sólida para la formulación de políticas y medidas de gestión ambiental que garanticen la protección del ecosistema y la seguridad alimentaria.

1.4 Objetivos.

1.4.1 Objetivo general.

Evaluar el contenido de Cadmio presente en peces de la presa de Hatillo y su posible riesgo a la salud humana.

1.4.2 Objetivos específicos

Determinar la presencia de Cadmio en peces bentónicos de la presa de Hatillo.

Comparar los resultados de contenido de cadmio encontrado en pescado de la presa de Hatillo con los estándares y regulaciones ambientales

Examinar posibles riesgos en la salud humana, contrastando las concentraciones de cadmio encontradas en los peces de la presa de Hatillo.

1.5 Cuadro de operacionalización de las variables

Preguntas	Objetivos específicos	Variables	Indicadores	Instrumentos
¿Cuál es el nivel de acumulación de Cadmio en los peces bentónicos de la presa de Hatillo?	1- Determinar la presencia de Cadmio en peces bentónicos de la presa de Hatillo.	Concentración del Cadmio en los peces.	Presencia de Cadmio en partes por millón (ppm) o microgramos por gramo ($\mu\text{g/g}$) de tejido.	Analizadores de contaminantes (Laboratorio).
¿Cuáles son los resultados obtenidos al comparar con los estándares y regulaciones ambientales sobre el Cadmio encontrado en el pescado de la presa de Hatillo?	2- Comparar los resultados obtenidos con los estándares y regulaciones ambientales sobre el Cadmio encontrado en pescado de la presa de Hatillo.	Regulaciones y políticas ambientales.	Normativas locales, nacionales o internacionales relacionadas con la contaminación por Cadmio en alimentos marinos.	Revisión de documentos legales.
¿Cuáles son los posibles riesgos para la salud humana al contrastar las concentraciones encontradas de Cadmio en los peces de la presa de Hatillo?	3- Examinar posibles riesgos en la salud humana, contrastando las concentraciones de cadmio encontradas en los peces de la presa de Hatillo.	Impacto en la salud humana.	Estándares de seguridad alimentaria, efectos del consumo de pescado contaminado en la salud humana.	Registros clínicos Y Encuesta.

1.6 Definición de términos.

Cadmio: Identificado por su símbolo químico Cd, es un metal pesado que se encuentra en el entorno natural (agua, aire, suelo) como resultado de fuentes tanto naturales como actividades industriales y agrícolas (ELIKA 2023).

Es un metal pesado tóxico que se encuentra de manera natural en la corteza terrestre, pero también puede ser liberado al medio ambiente a través de actividades humanas, como la minería, la industria, y la contaminación de aguas. Este metal es particularmente peligroso para los organismos acuáticos y los seres humanos, ya que se acumula en los tejidos biológicos, especialmente en los riñones y el hígado. Su toxicidad y persistencia en el ambiente lo convierten en un contaminante prioritario en estudios de ecotoxicología y evaluación ambiental (Casteel (2004).

El cadmio (Cd) es un metal pesado que se encuentra de manera natural en la corteza terrestre, aunque también puede ser liberado en grandes cantidades a través de actividades humanas, como la minería, la industria del reciclaje, la producción de baterías y la quema de combustibles fósiles. Es un elemento químico de transición, blando y de color plateado, que se utiliza principalmente en la fabricación de baterías recargables, recubrimientos metálicos y en algunos procesos industriales (ATSDR 2012).

Presa de Hatillo: es una infraestructura hidráulica que regula el flujo de agua en una región específica, generando un ecosistema acuático que puede estar expuesto a diferentes tipos de contaminación, incluyendo metales pesados como el cadmio. Esta presa puede ser un punto focal en la investigación si se considera el impacto de actividades humanas, tales como la agricultura, la minería o la industria, en la calidad de las aguas que alimentan el ecosistema (Gauthier et al., 2009).

Concentración: Se refiere a la relación entre la cantidad de sustancias disueltas (solutos) y la cantidad total de la solución. En este contexto, la cantidad de soluto siempre será menor que la del solvente para que pueda ser considerada una solución (Rhoton, 2023).

Toxicidad: Se utiliza para describir el nivel en el que una sustancia es venenosa o puede ocasionar daño (ATSDR, s. f).

Evaluación ambiental: El proceso mediante el cual se analiza el estado de un ecosistema o un entorno natural para determinar los efectos de la contaminación o de las actividades humanas sobre la salud ambiental (Hernández, 2012).

Organismos bentónicos: son aquellos que habitan el fondo de cuerpos de agua, como océanos, ríos y lagos. Estos organismos desempeñan un papel crucial en los ecosistemas acuáticos, ya que contribuyen a la descomposición de materia orgánica y son parte de las cadenas alimenticias en estos entornos. Los bentónicos pueden ser invertebrados (como moluscos y crustáceos) o vertebrados (como ciertos peces) y su diversidad es fundamental para la salud de los ecosistemas acuáticos (Dayton, 1971).

Bioacumulación: es el proceso mediante el cual un contaminante, como el cadmio, se acumula en los organismos vivos a lo largo del tiempo, ya sea a través de la ingestión de alimentos contaminados o la absorción directa del agua (Kümmerer, 2009).

Ecotoxicología: es una rama de la ciencia que estudia los efectos tóxicos de sustancias químicas sobre los organismos y ecosistemas (Newman, 2010).

Toxicidad ambiental: se refiere al grado en que una sustancia química o contaminante puede ser dañina para los organismos vivos y sus ecosistemas (Gauthier 2014).

Enfoque analítico: en este contexto se refiere al uso de técnicas científicas y metodologías de laboratorio para identificar, medir y cuantificar la concentración de cadmio en los peces (López 2006).

1.7 Marco contextual.

Sánchez Ramírez, está ubicada en el centro de la República Dominicana, es una de las 32 provincias del país. Se encuentra en la subregión del Cibao conocida como Cibao Central o meridional, específicamente en el Valle del Yuna, con su capital en el municipio de Cotuí. (Tejera, 1977).

Esta provincia fue establecida en 1952, previamente siendo un municipio de la provincia Duarte a partir del 18 de junio de 1945. Antes de formar parte de la provincia Duarte, Sánchez Ramírez había sido un municipio de la provincia de La Vega desde los primeros días de la República Dominicana. (Tejera, 1977).

La historia de lo que hoy conocemos como la provincia Sánchez Ramírez tiene sus inicios con la fundación de Cotuí, su municipio principal. Según el libro "La Mejorada Villa del

Cotuy" escrito por Francisco A. Rincón, esta población fue la décima de 17 villas que el Comendador de Lares Frey Nicolás de Ovando ordenó poblar durante su mandato como gobernador de la colonia entre 1502 y 1509. Ovando encomendó a su Lugarteniente Rodrigo Trillo de Mexía la fundación de un asentamiento cerca de la mina de oro y en el lugar donde antes se encontraba el asentamiento Nitaíno Cotoi. Después de su fundación, la Villeta del Cotuy formaba parte de la Villa de Buenaventura, motivo por el cual Cotuy no fue beneficiado con el escudo de armas otorgado por la corona a la isla en 1508 (Tejera, 1977).

Según el libro, la fundación de Cotuí se debió a la gran cantidad de oro encontrada en las minas ubicadas en el mismo lugar donde existía la comunidad indígena llamada Cotoi, perteneciente al Cacicazgo de Maguá. Los conquistadores destruyeron esta comunidad indígena y establecieron sobre sus ruinas una comunidad española en 1505, a la que bautizaron con el mismo nombre de Cotuí. Los indígenas fueron convertidos en esclavos para utilizar su mano de obra en la explotación del preciado metal. Tanto Las Casas como Oviedo coinciden en sus respectivas obras sobre Las Indias, mencionando que a doce leguas de la ciudad de La Concepción, donde los indios llamaban Cibao, se encontraba la única mina de oro de esa región, que era rica y abundante, lo que sugiere que se referían a Cotuí. Un texto de los documentos inéditos del archivo de Indias, citado por Emilio Tejera en su obra "Indigenismo" editada en 1977, afirma que Cotuí fue el lugar donde se estableció la primera casa de fundición de moneda de Indias, fundada según dicho texto en 1530 (Tejera, 1977).

Pocos años después de su fundación, Cotuí comenzó a mostrar signos de una ciudad desarrollada. Según Mario Concepción en su obra "La Concepción de La Vega", Álvaro de Castro, un personaje polémico, se atribuyó la construcción de la primera iglesia en Cotuí. También afirmó que fue el primero en colocar el santísimo sacramento en la iglesia de la pequeña población, celebrar la primera misa y construir el primer camino real (Tejera, 1977).

Según el historiador dominicano Leónidas García Lluberes en su obra "Crítica Histórica", en 1514 y 1515, Cotuí experimentó un declive, atribuido a la extinción prematura de los indios que trabajaban en las minas. Sin embargo, debido al arduo trabajo de los esclavos africanos, para 1519 Cotuí se había recuperado y mejorado, siendo rebautizada con el nombre de La Mejorada. Esto se debió tanto al trabajo de los esclavos como al padre Jerónimo Fray

Luis de Figueroa, quien le dio este nombre en honor a un monasterio en España del cual él era el Prior (Tejera, 1977).

En 1533, Cotuí fue elevada a la categoría de villa y empezó a ser conocida como La Villa Mejorada del Cotuí. En el siglo XVI, La Mejorada del Cotuí sufrió una plaga de hormigas que causó la muerte de algunos niños recién nacidos, un aspecto al que hace referencia Carlos Nouel en su obra "Historia Eclesiástica de Santo Domingo". Estas calamidades coincidieron con la urgente necesidad de los habitantes de Cotuí de encontrar alimentos. Al no ser la tierra minera adecuada para la agricultura, se vieron obligados a abandonar el lugar y establecerse definitivamente en una llanura cerca del río Yuna, donde se encuentra actualmente (Tejera, 1977).

La valentía y el coraje de hombres decididos volvieron a hacerse evidentes en Cotuí, 18 años después de que la furia de sus espadas causara estragos en los invasores, impidiendo el asalto a la ciudad de Santo Domingo. En 1673, las ciudades principales de la región - Santiago, La Vega y El Cotuí - sufrieron constantes agresiones de filibusteros que tenían su base en la Isla de la Tortuga y se apoderaron de Samaná, desde donde atacaban estas tres ciudades del Cibao. Hartos de estas incursiones, los cotuisanos decidieron expulsar a los invasores de Samaná por la fuerza, logrando así que el comandante Beltrán Ogeron abandonara el territorio (Tejera, 1977).

Otra gran hazaña de los cotuisanos fue su participación decisiva en la gloriosa batalla de Palo Hincado el 7 de noviembre de 1808. El brigadier nativo de Cotuí lideró a más de un centenar de cotuisanos, incluyendo a su hermano Remigio Sánchez Ramírez y Bernardino Suárez, para derrotar a los franceses en una batalla memorable. Bajo su liderazgo, los dominicanos expulsaron a los extranjeros en un proceso histórico conocido como La Reconquista, recuperando así su nacionalidad y preservando su identidad (Tejera, 1977).

Juan Sánchez Ramírez, nacido en 1762 frente a la Plaza de Armas en Cotuí, fue una figura destacada. Sus padres eran Miguel Sánchez, un rico terrateniente y oficial de milicias, y Francisca Ramírez. Juan Sánchez Ramírez se casó con Josefa Pichardo y Delmonte en la parroquia Inmaculada Concepción de Cotuí, con quien tuvo dos hijos: Juana y José. Durante la lucha por la Independencia y la Restauración de la República, muchos cotuisanos se destacaron, incluyendo al Presbítero Juan Puigvert, coronel José Valverde, Basilio Gavilán, Esteban

Adames, Francisco Suriel, José Epifanio Márquez y Tomás Castillo. El 24 de junio de 1844, Cotuí recibió la honorable visita del Padre de la Patria Juan Pablo Duarte y Diez (Tejera, 1977).

La provincia Sánchez Ramírez, que incluye la ciudad de Cotuí, se encuentra en la República Dominicana, específicamente en la región noreste del país. Cotuí, es parte de la región Cibao Sur de la República Dominicana y abarca una extensión territorial de 1,197.44 kilómetros cuadrados. Sus límites geográficos son la provincia de Duarte al Norte, Monte Plata al Sur y al Este, Monseñor Nouel al Oeste, y La Vega al Noroeste. Esta provincia está compuesta por cuatro municipios y nueve Distritos Municipales, incluyendo Cotuí, Fantino, La Mata, Cevicos, así como los Distritos Municipales de Zambrana, Quita Sueño, Comedero Arriba, Caballero, Angelina, La Bija, Hernándo Alonzo, Platanal y La Cueva. Según el censo nacional de población y vivienda 2022, la población de esta área asciende a 162,638 habitantes (Tejera, 1977).

Presa de Hatillo

La Presa de Hatillo, construida en la comunidad del mismo nombre entre 1978 y 1984, a seis kilómetros del municipio de Cotuí, capital de la provincia Sánchez Ramírez, es una cuenca hidrográfica que posee una extensión de 5,235.63 kilómetros cuadrados, de acuerdo a los datos proporcionados por el Indrhi (Indrhi, 1984).

El muro (dique) posee una longitud de 1,740 metros, y es el más largo de estas fuentes de agua del país. Maneja un volumen de agua de 710 millones de metros cúbicos, una superficie de 22 kilómetros cuadrados y una longitud máxima de 15 kilómetros (Indrhi, 1984).

La fuente de abastecimiento es el río Yuna, con una longitud de 138.60 kilómetros, un caudal medio de 35.4 metros cúbicos por segundo. Además, es la cuenca hidrográfica de presas de mayor precipitación en el país; con una extensión de 5,235.63 kilómetros cuadrados desde el nacimiento del río Yuna hasta su desembocadura en la Bahía de Samaná, en el océano Atlántico (Indrhi, 1984).

Hatillo suministra agua a la zona más lluviosa del país, escogidas para la siembra de arroz. En la cuenca del referido torrente están ubicadas las provincias Espaillat, un parte de La Vega, Monseñor Noel, Duarte y Sánchez Ramírez, pertenecientes a las zonas Central y Noroeste de República Dominicana (Indrhi, 1984).

Los afluentes principales del río Yuna, desde la presa hacia arriba, son los ríos Camú y Jima, y otros de menor importancia como arroyo Las Avispas, Masipetro, Río Blanco, Yuboa, Hato Viejo, Arroyón, Maimón y Tireíto (Indrhi, 1984).

1.8 Alcance y límites de la investigación.

Área: Medio Ambiente

Aspectos: Cadmio en peces de agua dulce

Delimitación temporal: Esta investigación se realizó durante el año 2024.

Alcance espacial: La investigación se realizará en la Provincia Sánchez Ramírez (presa de Hatillo)

Alcance investigativo: La investigación abarca la evaluación del contenido de Cadmio presente en peces de la presa de Hatillo y su posible riesgo a la salud humana, para lo cual se llevará a cabo un análisis de laboratorio de seis muestras de pez, que viven en el embalse de agua dulce. Cabe destacar que, por limitaciones de carácter económico para la realización de otros análisis, la investigación solo abordará estos puntos expresados.

Las limitaciones más significativas para llevar a cabo este estudio están relacionadas con la falta de equipos e instrumentos necesarios para las mediciones y análisis en la Universidad Tecnológica del Cibao Oriental (UTECO). Esta limitación se atribuye a la universidad, ya que es la institución que tiene los derechos para difundir el estudio.

CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Introducción:

En este capítulo se desarrolla el sustento teórico que fundamenta la investigación, proporcionando una base conceptual y teórica para las variables estudiadas. Se exploran las teorías y enfoques conceptuales que respaldan el marco de la investigación, así como las contribuciones de estudios previos a nivel nacional e internacional que sustentan los desarrollos planteados en esta investigación.

2.2 Concentración del Cadmio en los peces.

La concentración de Cadmio en los peces puede variar dependiendo de varios factores, incluyendo la especie del pez, el entorno en el que vive, y las prácticas industriales y agrícolas cercanas que pueden introducir contaminantes en el agua. El Cadmio es un metal pesado que puede acumularse en los tejidos de los peces a través de la cadena alimentaria, especialmente en aquellos que son depredadores topos. (Burger et al. 2001).

La exposición al Cadmio en los peces puede representar un riesgo para la salud humana si se consumen en cantidades significativas, ya que el Cadmio es tóxico y puede causar problemas de salud como daño renal, daño hepático, y problemas óseos, entre otros. (Burger et al. 2001).

El nivel de Cadmio en la mayoría de las reservas de agua potable es menor que 1 ppb, muy por debajo del estándar de 50 ppb para el agua potable. Sin embargo, los niveles en el agua potable pueden variar en gran medida pues dependen de las condiciones locales. El nivel promedio de Cadmio en un suelo no contaminado es de alrededor de 250 ppb. En los sitios de desechos peligrosos la medición de los niveles de Cadmio en el suelo ha llegado a ser de alrededor de 4 partes de Cadmio por millón de partes (4 ppm; una parte por millón es 1,000 veces más que una ppb) y en el agua estos niveles son de seis ppm (ATSDR, 2012).

2.3 Regulaciones y políticas ambientales

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), proporcionan estimaciones de la ingesta alimentaria de Cadmio en varios países de todo el mundo. Estas estimaciones se basan en diferentes métodos y han evaluado los riesgos asociados a la presencia de Cadmio en alimentos,

incluyendo los peces, debido a la toxicidad potencial de este metal pesado. El Cadmio es un contaminante ambiental que puede acumularse en los tejidos de los peces y otros organismos acuáticos, representando un riesgo para la salud humana cuando estos alimentos se consumen. La exposición prolongada al Cadmio puede causar efectos adversos en la salud, incluyendo daño renal y óseo (FAO/OMS, 2011).

El Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales es el ente rector de la gestión del medio ambiente, los ecosistemas, los recursos naturales y la gestión integral de los residuos sólidos en la República Dominicana, de conformidad con lo dispuesto por la Ley Núm. 64-00 general de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Ley Núm. 225-20, general de Gestión integral y Coprocesamiento de Residuos Sólidos y demás leyes sectoriales sobre Biodiversidad, Áreas Protegidas, Forestal y Seguridad de la Biotecnología (MMARN, 2024).

2.3.1 Normativas locales, nacionales o internacionales relacionadas con la contaminación por Cadmio en alimentos marinos.

De acuerdo con Dé Vries & Bakker (1998), la concentración de Cadmio total permisible en diversos países está comprendida entre 0.3 y 2 mg/kg.

Los límites máximos de contenido de Cadmio en los alimentos están regulados en la Unión Europea por el Reglamento (UE) 2023/915 de la Comisión de 25 de abril de 2023 relativo a los límites máximos de determinados contaminantes en los alimentos y por el que se deroga el Reglamento (CE) n° 1881/2006.

2.4 Impacto en la salud humana.

Respirar niveles altos de Cadmio puede dañar gravemente los pulmones. Ingerir alimentos o tomar agua con niveles de Cadmio muy altos produce irritación grave del estómago causando vómitos y diarrea. La exposición prolongada a niveles más bajos de Cadmio en el aire, los alimentos o el agua produce acumulación de Cadmio en los riñones y posiblemente enfermedad renal. Otros efectos de la exposición prolongada consisten en daño del pulmón y fragilidad de los huesos (ATSDR, 2012).

Toxicidad

El Cadmio está clasificado como carcinógeno para los seres humanos (IARC- Grupo 1), y es genotóxico, especialmente sus formas químicas inorgánicas biodisponibles en el medio acuático (OMS, 2019).

Toxicidad aguda: Los síntomas tras la ingesta aguda son: dolor agudo abdominal, náuseas, vómitos, diarrea, dolor de cabeza y/o vértigo. Tras una exposición a dosis elevadas, pueden producirse lesiones hepáticas y renales, puede ser fatal (OMS, 2019).

Toxicidad crónica: Los síntomas como consecuencia de la ingesta continuada incluyen alteraciones respiratorias y cardiovasculares, disfunción e insuficiencia renal, desórdenes en el metabolismo del calcio, y enfermedades óseas tales como osteoporosis y fracturas óseas espontáneas, bien por acción directa o como resultado del daño renal (OMS, 2019).

2.4.1 Estándares de seguridad alimentaria

Sistema de Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (HACCP): El HACCP es un sistema preventivo utilizado en la industria alimentaria para identificar, evaluar y controlar los riesgos significativos para la seguridad alimentaria. Se enfoca en puntos críticos de control en el proceso de producción para prevenir la contaminación y garantizar la seguridad de los alimentos (Mortimore et al., 2013).

Normativas sobre Contaminantes Químicos y Metales Pesados: Estas normativas establecen límites máximos permisibles para contaminantes químicos como mercurio, Cadmio, plomo, y otros metales pesados en los productos pesqueros para proteger la salud humana (FAO/OMS, 2011).

Normativas de Buenas Prácticas de Acuicultura (BPA): Estas normativas proporcionan pautas para la cría, manejo y alimentación de peces en sistemas de acuicultura para garantizar la calidad del agua, la salud de los peces y la seguridad alimentaria (Tidwell et al., 2001).

2.4.2 Efectos del consumo de pescado

El consumo de pescado tiene una variedad de efectos sobre la salud humana, muchos de los cuales son positivos debido a su alto contenido de nutrientes esenciales como ácidos grasos omega-3, proteínas de alta calidad, vitaminas y minerales. Sin embargo, también existen preocupaciones relacionadas con la contaminación de ciertos tipos de pescado con metales pesados y otros contaminantes (FAO, 2020).

El consumo de pescado ha aumentado en todo el mundo en las últimas cinco décadas, ya que el comercio pesquero representa una fuente importante de ingresos en divisas, además del importante papel del sector como generador de ingresos, fuente de empleo y proveedor de seguridad alimentaria y nutrición (Bogard et al., 2015). Se estima que la producción mundial de pescado ha alcanzado unos 179 millones de toneladas en 2018, de los cuales 82 millones de toneladas, procedieron de la producción acuícola. Del total general, 156 millones de toneladas se destinaron al consumo humano, lo que equivale a un suministro anual estimado de 20.5 kg per cápita (FAO, 2020).

2.4.2.1 Beneficios del consumo de pescado

Ácidos grasos omega-3: Los pescados grasos, como el salmón, la caballa y las sardinas, son ricos en ácidos grasos omega-3, que son esenciales para la salud cardiovascular. Los omega-3 pueden reducir la inflamación, disminuir el riesgo de enfermedades cardíacas y mejorar la función cerebral (Calder, 2015).

Proteínas de alta calidad: El pescado es una fuente excelente de proteínas de alta calidad, que son cruciales para el crecimiento y reparación de tejidos corporales (Silverstein, 2013).

Vitaminas y minerales: El pescado proporciona importantes vitaminas (como la vitamina D y B12) y minerales (como el Selenio y el Yodo), que son necesarios para diversas funciones corporales (He, 2009).

2.4.3 Riesgo del consumo de pescado en la salud humana.

Contaminación con metales pesados: Algunos pescados pueden contener niveles elevados de mercurio y otros metales pesados, que son tóxicos para el sistema nervioso y otros órganos (Mahaffey, 2009).

Contaminantes orgánicos: Pescados contaminados con bifenilos policlorados (PCB) y dioxinas pueden tener efectos negativos sobre la salud, incluyendo riesgo aumentado de cáncer y trastornos del desarrollo neurológico (Domingo & Bocio, 2007).

Contaminación

La contaminación es la presencia de agente o una mezcla de estos en lugares, formas y concentraciones pueden ser dañinos para la calidad ambiental, seguridad o bienestar de la población, para la vida de los animales y vegetales. Apaza (2016) indica que la contaminación en cuerpos de agua superficiales y subterráneas, podrían ser residuos urbanos o industriales, generadas por agentes, bacterias, virus y otros microorganismos, materia orgánica, metales pesados (mercurio, cadmio, arsénico, cobre, zinc, cromo y vanadio), detergentes, plaguicidas, etc.

El progreso tecnológico, en un parte genera crecimiento demográfico, pero también produce alteraciones al medio, llegando en algunos casos a atentar contra el equilibrio biológicos de la tierra. El avance de la tecnología debe de tener compatibilidad y mantenimiento con el equilibrio ecológico.

A. Origen de metales en el ambiente acuático

Los sistemas acuáticos continentales, es este caso hablamos de lagos, indican que la contaminación en forma natural no sería tan devastadora como la que se realiza con la intervención del hombre y que las cantidades dependen mucho del tipo de actividad.

Los metales pueden tener diferentes orígenes como los siguientes:

- Origen en los sistemas acuáticos
- Origen natural
- Origen antrópico
- Origen agropecuario

- Origen industrial
- Origen doméstico

Urbano et al. (2002) menciona que “el agua es un compuesto con características únicas, de gran significancia para la vida” además indica que la molécula del agua es una combinación de un átomo de oxígeno con dos de hidrogeno, y que son fundamentales para la vida terrestre. Para Loayza & Cano (2015) el agua es considerada como el motor que desarrollo la riqueza, que constituye un pilar fundamental para el progreso del hombre. La gestión de los recursos hídricos ha sido siempre un objeto prioritario para los recursos hídricos, se encuentran dirigidas a satisfacer la demanda suficiente, bajo política de oferta.

B. Impactos ambientales

La minería ilegal es generadora de la contaminación en suelos, agua y aire. El movimiento de tierra que ocasiona la extracción de los minerales afecta la topología de la zona donde se realiza la explotación y su posible traslación mediante sedimentos en el agua o como material particulado, ocasionando la alteración del ecosistema y la pérdida de hábitat para algunas especies (Basu et al., 2018).

Quispe (2017) menciona que las actividades mineras generan contaminantes que no son biodegradables, por lo tanto, su permanencia en el ambiente son una amenaza a largo plazo para el hombre y el ecosistema. Los cambios biológicos generados debido a la contaminación ocurren en todos los niveles desde el cambio al nivel molecular hasta cambios considerables a niveles de comunidad; además que muy poco se conoce acerca de las significancias de los metales pesados en los ecosistemas. En los lugares de drenaje de minas fluyen en cursos de agua dulce y generando con frecuencia efectos ecológicos evidentes como es la reducción de la fauna invertebrada y la ausencia de peces.

C. Impactos de la actividad minera

La minería genera impactos de carácter ambiental, socioeconómico y daños familiares, Monroy, Maceda-Veiga, & Sostoa (2014) hace mención de que la actividad minera realiza 33 descargas de agua residuales urbanas y que son “fuentes principales de insumos de metal que llegan al lago Titicaca, por lo que la contaminación por metales a la vida silvestre y las poblaciones humanas ha sido poco estudiada”.

Minería y su relación con la calidad del agua

Las perturbaciones que se muestran en el ambiente ocasionadas por la explotación minera con equipos mecanizados o semi mecanizados, o métodos artesanales generarán un grado de impacto en el ambiente, como las erosiones en el suelo, deforestación, agregado de metales; ocasionando alteraciones morfológicas en ríos, formados por la remoción de suelos y la eliminación gradual de la vida acuática (Patilla, 2015).

Proceso de amalgación

Patilla (2015) indica que el proceso de amalgación es una técnica artesanal para la recuperación de oro, que es una práctica que consiste en recuperar el mineral ya sea por dragada del río o por desmonte, en este proceso el material es triturado y molido, donde ingresa a la máquina trapiche, que se le adiciona mercurio, para posteriormente realizar el quemado a cielo abierto y extraer el oro.

Metales pesados

Según Checalla (2017) desde el inicio de la era industrial los metales han ido acumulándose lentamente en el ambiente, hasta generar la acumulación progresiva en suelos, sedimentos y aguas superficiales de las cuales el 75% constituyen los elementos conocidos por ser buenos conductores del calor y la electricidad, poseen alta densidad y son sólidos en temperaturas normales (excepto el mercurio).

Características de los Metales pesados

"Los metales pesados se definen generalmente por su alta densidad, que es mayor a 5 g/ml, por lo menos cinco veces mayor que la del agua" (Baeza et al., 2019).

"Los metales pesados altamente tóxicos presentan la propiedad de acumularse en los organismos vivos, lo que puede causar efectos adversos como la afectación de los sistemas nervioso y renal" (Ruiz, 1999).

Hernández (2011) considera que los metales pesados presentan características con una densidad igual o superior a 5 g/cm³, cuyo número atómico supera a 20 (excluyendo a los metales alcalinos y alcalinotérreos). "Los metales pesados son constituyentes naturales de la corteza

terrestre, sin embargo, la actividad del hombre ha ido modificando el equilibrio de los ciclos bioquímicos y geoquímicos de algunos metales pesados”, además estos elementos no se degradan ni se destruyen, siendo persistentes en el medio ambiente, acumulándose en suelos y sedimentos (López et al., 2006).

Para López et al. (2006) la captación de metales en sedimentos y su posible liberación en el ambiente acuático dependerá de las condiciones como “a) Las propiedades de los metales entre las que se pueden citar la solubilidad, la reactividad frente a la formación de complejos y la capacidad de adsorción; b) Características de las soluciones por ejemplo el pH, y concentración de ligandos en solución; c) Características de las superficies bióticas abióticas presentes, como porosidad y capacidad de asimilación”. La capacidad de traslación de los contaminantes de suelos al agua y continuar en el fondo en sedimentos depende de la propiedad y composición química de agrupación de metales en sedimentos que son fuentes no puntuales de origen natural o antropogénico.

Kwok et al. (2014) consideran que los sedimentos establecen una fuente de información sobre la evaluación de la toxicidad o la calidad del mismo, también estudios existentes demuestran que la contaminación se muestra en sedimentos en sistemas de agua dulce; así como el presente estudio de análisis de sedimentos de la subcuenca Crucero es que se muestra afectada por las diferentes actividades desarrolladas en el distrito Quiaca, Crucero, distrito de Ananea y La Rinconada.

Los contaminantes son vertidos en arroyos y ríos, como solutos y en suspensión, así posteriormente contaminando los sedimentos del río de aguas abajo de la zona de producción minera (Escobar, 2002).

A. Necesidad de análisis de metales en sedimentos

Los análisis en sedimentos y cuerpos de agua dulce determinarán el grado de afectación por parte de contaminantes, el resultado evidenciará datos acerca de las zonas críticas del sistema acuático, además se conocerá la concentración y/o fragmentación, biodisponibilidad, distribución local o parcial de los contaminantes en análisis. Los sedimentos superficiales son fragmentos orgánicos y minerales sólidos suspendidos que subsidian al cauce de los cuerpos de agua, este además compone un peligro para el nicho acuático, la población aledaña y un factor de deterioro del medio. Investigadores concuerdan que la concentración metálica de la corriente

fluvial se encuentra en las partículas en suspensión del agua y en los sedimentos, si se incrementa la producción metálica en los cuerpos de agua, es elemental saber las concentraciones en sedimentos; es así que la presente realizó los análisis de presencia de metales tóxicos en la subcuenca Crucero, cuenca Azángaro (Bianchini et al., 2013).

B. Procesos que alteran la calidad de la subcuenca

Las alteraciones se dan debido a los procesos y actividades y el uso de químicos que causa efectos en la calidad del agua recayendo en sedimentos, las importantes sobreutilizaciones se muestran en productos agroquímicos en áreas pequeñas, contribuyendo al deterioro de suelos y la contaminación de fuentes de agua. Al no existir manejo ni conocimiento en las disposiciones de desechos de sólidos provenientes de las actividades agrícolas, domésticas y formándose parte del transcurso del cauce de río; por otra parte, la compactación influye en gran parte a la capacidad de infiltración y alteración de escurrimiento superficial consecuentemente formando caudales nacientes considerables perjudiciales para los habitantes que se abastecen (Loayza 2015).

C. Metales en el ambiente acuático

Metales que ingresan al cuerpo de agua pueden ser de origen natural o antropogénico, como son las erosiones, lixiviación química de suelos y roca constituyen la aportación más importante por procesos naturales (Alloway 2013).

Según Jiménez (2012) la forma de ingreso de metales en el medio acuático se presenta por vías atmosféricas que produce la sedimentación emitidas a la atmósfera por proceso natural o antropogénico, producto de filtraciones, vertidos o escorrentía dados en causas fluviales. Sin embargo, el más importante que distingue a los metales de otros contaminantes tóxicos es el hecho de no ser biodegradables y perdurar en el ambiente por cientos de años.

D. Metales Tóxicos

Según (WHO 2010) los metales tóxicos son metales que, cuando están presentes en el cuerpo humano o en el medio ambiente en concentraciones elevadas, pueden causar efectos adversos en la salud de los seres vivos. La toxicidad de estos metales varía según su naturaleza, su capacidad para acumularse en los organismos y los mecanismos biológicos que interrumpen. Los metales tóxicos no se descomponen fácilmente en el medio ambiente, por lo que pueden

persistir durante mucho tiempo, causando daños tanto a los ecosistemas como a la salud humana.

Algunos de los metales tóxicos más conocidos son:

Plomo (Pb): Puede afectar el cerebro, los riñones, y el sistema nervioso, especialmente en los niños, causando problemas de desarrollo y aprendizaje.

Mercurio (Hg): Es altamente tóxico para el sistema nervioso, los riñones y el sistema inmunológico. Su forma más peligrosa es el metilmercurio, que puede acumularse en la cadena alimentaria.

Arsénico (As): Se asocia con cáncer, enfermedades cardiovasculares y problemas en la piel, entre otros. La exposición prolongada al arsénico en agua potable es una preocupación grave en varias partes del mundo.

Cadmio (Cd): Afecta los riñones, los huesos y el sistema respiratorio. Es especialmente peligroso para los trabajadores expuestos a él en la minería y la industria.

Cromo (Cr): El cromo hexavalente (Cr VI) es una forma especialmente tóxica y cancerígena que puede dañar los pulmones y otros órganos.

Jiménez (2012) indica que la solubilidad del cadmio en el agua aumenta en medios ácidos, mientras que la adsorción a suelos y sedimentos se incrementa el pH y el efecto en organismos terrestres y acuático se bioacumulan.

Para Barán (1995), al cadmio se le puede atribuir efectos tóxicos para toda forma de vida (microorganismos, plantas, animales y el hombre) debido a la tendencia de desplazamiento de zinc de algunos de sus sitios activos y competir con el calcio en ciertos sistemas biológicos”.

Toxicidad del cadmio

La exposición más existente es cuando la persona fuma, el humo del tabaco transporta cadmio a los pulmones, otra forma de exposición es cuando existe gente que habita cerca de los vertederos de residuos peligrosos o fábricas que liberan cadmio en el aire, transportándose al hígado por medio de la sangre, allí unido a proteínas se transporta hacia los riñones, el riñón es el órgano diana para el cadmio y el efecto crítico es la proteinuria, generando concentraciones críticas de cadmio en la corteza renal (Nordberg et al., 2007).

Respecto a la salud

En el ser humano la presencia de cadmio en exceso se manifiesta principalmente en los huesos y riñones, y las personas que tienen bajas reservas de hierro particularmente son más vulnerables a los efectos adversos por la acumulación de cadmio (García & Cruz, 2012).

El cadmio en el medio acuático

La toxicidad aguda del (Cd) en los organismos acuáticos es un tema bien documentado en la ecotoxicología, ya que este metal pesado tiene efectos dañinos tanto a corto como a largo plazo sobre las especies acuáticas. La toxicidad aguda del cadmio está principalmente vinculada a la forma iónica libre del metal (Cd^{2+}), que es altamente biodisponible y puede afectar funciones celulares fundamentales. La variabilidad de la toxicidad aguda entre especies acuáticas, incluso entre aquellas que están filogenéticamente cercanas, depende de varios factores, como la concentración de cadmio en el medio, la especiación del metal y la resistencia fisiológica de las especies (Ribeiro et al., 2022).

Según Feng (2021) la toxicidad aguda del cadmio está influenciada por varios factores, que pueden variar considerablemente entre especies:

Especiación del cadmio: Las formas más tóxicas del cadmio son las iónicas (Cd^{2+}), que tienen una mayor biodisponibilidad para los organismos acuáticos. Las formas de cadmio que están complejadas con otros compuestos son generalmente menos tóxicas.

pH del agua: En aguas ácidas (bajo pH), el cadmio se encuentra principalmente en su forma iónica, lo que aumenta su toxicidad.

Temperatura y salinidad: Estos factores pueden influir en la captación y toxicidad del cadmio, ya que alteran la solubilidad y la interacción del metal con los organismos acuáticos.

Presencia de iones competidores: Iones como Ca^{2+} , Mg^{2+} y Na^+ pueden competir con el cadmio en los sitios de unión de las membranas celulares, reduciendo su absorción y toxicidad.

En relación con esa competencia Ca/Cd y sus consecuencias, Ferrari & Salibián (1999) mostraron que bajas concentraciones del metal, provocaban severos efectos en

la estructura de la piel de larvas de *Bufo arenarum* alterando las uniones celulares, principalmente en ausencia de iones en solución. La desorganización de las uniones intercelulares ha sido atribuida por dichos autores a la competencia del Cd^{+2} por el Ca^{+2} , a la alteración estructural de los filamentos de actina y miosina del citoesqueleto, así como al patrón de distribución de la Ecaderina Ca^{+2} -dependiente, esencial en las uniones celulares. También se ha observado la deformidad del esqueleto en peces expuestos a bajos niveles de Cadmio (Larsson et al., 1981; WHO, 1992). Además, afecta diversos sistemas enzimáticos incluidos aquellos relacionados con la neurotransmisión, transporte transepitelial, metabolismo intermedio y la actividad de las oxidasas de función mixta (Wright y Welbourn, 1994; Almeida et al., 2001).

Principales efectos del Cd en los peces

a) Efectos sobre el Comportamiento.

Importancia de los sistemas sensitivos. Los sistemas sensitivos no visuales son importantes para el comportamiento de los peces, particularmente involucrados en la migración, selección del hábitat, reclutamiento, competencia, etc (Sloman y Wilson, 2006; Sloman, 2007).

Según Kjel Doving (1991) el estudio de estos sistemas es relevante por las siguientes razones:

- a) Están directamente expuestos al ambiente,
- b) Median una gran parte de los repertorios comportamentales,
- c) Se desarrollan tempranamente,
- d) Las células receptoras muestran una respuesta rápida e inespecífica de tóxicos y estimulantes.

El órgano olfatorio de los peces (Hara, 2000) es uno de los primeros blancos de su interacción con contaminantes, pudiendo provocar alteraciones en los procesos de quimio comunicación (Saglio et al., 2003).

Por otra parte, el sistema olfativo, juega un rol importante en muchos comportamientos (alimentación, escape de predadores, capacidad de respuesta a feromonas naturales, formación del cardumen, migración, desove y cuidado parental, forrajeo e interacciones sociales) que son

inhibidos por el Cd. Un posible mecanismo de estos efectos del metal es la disrupción que provoca en ese sistema. Recientemente se ha demostrado la acumulación del Cd en la roseta olfativa, su transporte a lo largo del nervio olfativo y acumulación en el bulbo (Sloman et al. 2003).

En este contexto, es interesante que Saglio et al. (2003) mostraron que la exposición de la carpa *Carassius auratus* a concentraciones subletales de pesticidas altera su respuesta comportamental a ciertos aminoácidos (conocidos como potentes estímulos olfativos y gustativos en los peces), que pueden actuar como señales químicas en diversos aspectos de relaciones intra e interespecíficas.

Todos los peces poseen además el sistema mecanosensorial de la línea lateral (Webb, 2000) y, al igual que con los sistemas gustativos y olfatorios, sus células en contacto con el agua, detectan las corrientes del medio; en la oscuridad también juegan un rol importante para evitar predadores. Estas células pueden también ser inhibidas por la exposición al metal. Baker y Montgomery (2001) encontraron en juveniles de *Galaxias fasciatus* que el deterioro del sistema de la línea lateral por el Cadmio podría hacerlos más vulnerables a la predación.

b) Efectos sobre la morfología de las branquias

Las branquias de los teleósteos se componen de cinco hendiduras branquiales protegidas del medio externo por un opérculo, que es un pliegue del arco hioideo armado con una serie de placas óseas de revestimiento (operculares) y de radios braquiostegos. Cada arco tiene dos hileras de filamentos y cada filamento aplanado dorsiventralmente, presenta una hilera superior y otra inferior de laminillas.

Las laminillas de las branquias de los teleósteos se insertan de forma alternada en los arcos branquiales. Son sustentadas por una varilla ósea o cartilaginosa, el radio branquial (Kardong, 1998). Estas laminillas están cubiertas por una fina capa de células epiteliales cuyas paredes internas están sostenidas por células en pilar, las cuales ocupan aproximadamente el 20% del volumen interno de las laminillas.

Las branquias son órganos blancos críticos frente a la exposición a tóxicos debido a su extensa área en contacto con el medio externo y al reducido espesor de las membranas que se interponen entre el medio interno y el externo.

El Cadmio penetra en las branquias por difusión facilitada a través de canales de calcio en la membrana apical; hay cuatro evidencias que apoyan lo antedicho:

- a) Un aumento en la concentración de Ca^{2+} disminuye la captación de Cd^{2+} .
- b) El Cd^{2+} presente en el medio inhibe la captación de Ca^{2+} .
- c) El La^{3+} , que es un bloqueador de canales de Ca^{2+} en las membranas celulares, en las branquias inhibe tanto la captación de Ca^{2+} como la de Cd^{2+} (Verbost et al., 1989).
- d) La hormona proteica hipocalcémica estaniocalcina (o hipocalcina) (producida por los corpúsculos de Stannius) disminuye la captación tanto de Ca^{2+} como de Cd^{2+} en las branquias (Verbost et al., 1993).

Cuando las concentraciones de Cadmio aumentan en el medio externo y sus concentraciones internas superan la capacidad de detoxificación, se observan varios efectos adversos; los mismos están asociados con interferencias en procesos respiratorios y posteriormente con daños en el epitelio branquial.

c) Efectos sobre el metabolismo

El término metabolismo abarca la totalidad de las reacciones químicas que ocurren en un organismo. Las vías metabólicas pueden agruparse en dos categorías principales: el anabolismo, en el que sustancias simples se transforman en moléculas más complejas, y el catabolismo, en el que las moléculas complejas se degradan en otras más simples (Randall et al. 2002).

Las reacciones anabólicas son endergónicas y se asocian con procesos de reparación, regeneración o crecimiento estimulando la síntesis de proteínas; las catabólicas son exergónicas en las que una parte de la energía se almacena en forma de fosfatos de alta energía ATP. Estas reacciones se producen espontáneamente, exhiben una disminución de energía libre y por lo tanto tienen un ΔG° negativo, en consecuencia.

La Tasa Metabólica constituye un parámetro muy relevante del animal porque es la expresión cuantitativa integrada de las interconversiones energéticas en los procesos anabólicos y catabólicos.

Para utilizar la energía provista por un alimento es necesario que el animal degrade las moléculas, lo que ocurre mediante un proceso en varias etapas. Se comienza a partir de la energía química ingerida, que es la presente en las uniones químicas de los alimentos. Una parte de ésta no se aprovecha y permanece en formas químicas que no pueden ser absorbidas y se eliminan en las heces (energía química fecal). La energía de los compuestos orgánicos que se asimila se designa energía química absorbida o metabolizable (Hill et al. 2004).

La eficiencia de asimilación del alimento permite conocer la capacidad de los organismos para convertir el alimento ingerido en energía útil. En los peces, la tasa de crecimiento puede estar disminuida por factores ambientales y fisiológicos y es un indicador confiable de los efectos de los tóxicos sobre la bioenergética de organismos acuáticos (Alcaraz y Espina, 1997). Algunos de ellos actúan en los niveles de digestión limitando el aporte energético requerido (Blier, 1997).

Estos incluyen la eficiencia de absorción y conversión de alimento el cual está relacionado con el tamaño y la calidad del alimento. Además, es importante considerar los cambios en la actividad de las enzimas digestivas y la capacidad del transporte transepitelial de nutrientes en el tracto digestivo (Jobling, 1995).

Los peces tienen la capacidad de compensar alteraciones asociadas al estrés ambiental a través de procesos de detoxificación, regulación y adaptación de sus funciones bioquímicas y fisiológicas. Estos procesos demandan energía, lo cual se puede manifestar como disminución en la tasa de crecimiento, eficiencia de reproducción o resistencia a factores del medio.

Los contaminantes desencadenan reacciones de estrés en los organismos que puede conducirlos a la muerte o causar modificaciones en su estado fisiológico. Las alteraciones causadas por los contaminantes producen no solo cambios en la morfología y fisiología de los organismos, las cuales se manifiestan a través de alteraciones bioquímicas, citológicas, tisulares, de órganos e incluso fisiológicas y conductuales. Los cambios relacionados con el estrés en las

funciones bioquímicas y fisiológicas de los individuos preceden, generalmente, efectos de mayor impacto en los niveles de población y comunidad (Adams, 1990).

En relación a este aspecto, Selye (1956) desarrolló un concepto que describe cómo las influencias externas afectan las condiciones fisiológicas de los organismos. Según dicho autor, cuando los organismos son expuestos a estresores, su respuesta fisiológica sigue un patrón denominado síndrome de adaptación general, caracterizado por tres fases:

- a) Alarma: los sistemas fisiológicos se ajustan para compensar los efectos y reestablecer el equilibrio; en los peces esta fase está caracterizada entre otros síntomas por pérdida de apetito, pérdida de equilibrio y cambios comportamentales.
- b) Resistencia: esta etapa está asociada a un aumento en la tasa metabólica para compensar los efectos del estresor químico. En este caso el efecto acumulativo de una exposición prolongada a un estresor subletal resulta en la muerte prematura del animal.
- c) Agotamiento: los sistemas son forzados a funcionar a tasas más elevadas que las normales que conducen a la muerte del animal.

El sistema hematopoyético de los peces es altamente sensible a estresores ambientales; por lo que los estudios hematológicos en estos organismos aportan significativa información en el diagnóstico e interpretación de sus enfermedades. Dichos estudios se han incrementado con el desarrollo de la piscicultura y con el empleo de los peces para evaluaciones ecotoxicológicas. Por tanto, el entendimiento de la fisiología de estos organismos y en consecuencia de sus relaciones con las variables ambientales es un importante factor a considerar en el uso de esta herramienta de investigación.

El efecto que tóxicos ambientales ejercen sobre los parámetros hematológicos de peces varía dependiendo del tipo del tóxico, dosis, tiempo de exposición y condiciones fisicoquímicas del agua, entre otros factores. En el caso de los metales pesados, éstos afectan los índices sanguíneos de los peces de diversas formas; por ejemplo, en ríos y cuencas del país impactados por la actividad antropogénica, se han reportado concentraciones de metales pesados por encima

de las normas establecidas por el Ministerio del Ambiente en el Decreto No 883 para el control de la calidad de los cuerpos de agua y de los vertidos líquidos.

Uno de los metales pesados detectado en altas concentraciones es el cadmio, este metal aún a bajas concentraciones, puede afectar los índices sanguíneos de los peces, producir daños irreversibles en estos organismos porque tiende acumularse en órganos como el hígado y el riñón; además de competir con los metales esenciales por los sitios de unión en las proteínas, produce anemia, inmunosupresión y cáncer.

En Venezuela, la acuicultura es una actividad emergente con un importante incremento de la pesca comercial y actividades posteriores. La cachama, *Colossoma macropomum* (Characidae) es uno de las especies piscícolas que está siendo empleada para esta actividad, dado que en el país se distribuye en los grandes ríos, principalmente en los ríos Guanare, Portuguesa, Apure y los afluentes del Orinoco, y además posee una demanda media en los mercados locales de algunas ciudades de importancia. Es un pez de comportamiento migratorio, puede soportar un amplio rango de pH y baja concentración de oxígeno, por lo que puede vivir en diferentes ambientes incluyendo, contaminados.

En este trabajo se evaluó el efecto del cadmio, de la temperatura y del tiempo de exposición sobre la fragilidad globular osmótica y el número de células sanguíneas del pez *C. macropomum* como una contribución al entendimiento del mecanismo fisiopatológico implicado en la anemia inducida por el cadmio en este organismo.

Bioacumulación de metales pesados en tres especies de peces.

Los peces bentónicos de los ríos amazónicos presentan mayor acumulación de metales pesados debido a su hábito alimenticio; estos representan un riesgo para la salud pública si son consumidas en grandes cantidades por la población. El objetivo de este estudio fue determinar la concentración de cadmio, plomo y cobre en las especies de peces boquichico (*Prochilodus nigricans*), carachama (*Pseudorinelepis*) y yulilla (*Anodus elongatus*). Se muestrearon 12 ejemplares por especie en tres puntos de muestreo del río Monzón. La cuantificación se realizó con un espectrofotómetro de absorción atómica de llama, previa digestión ácida de las muestras de músculo, hígado, sedimento y agua.

Los resultados muestran que, en las tres especies, la mayor acumulación de los tres metales se presentó en el hígado; mientras, que en el músculo se determinó concentraciones promedio de cadmio de 1.62 ppm en julilla; 1.59 ppm en carachama y 0.73 ppm en boquichico. Así mismo, se encontró concentraciones promedio de plomo de 5.09 ppm en carachama y 0.61 ppm en boquichico y no se determinó en julilla. Además, concentraciones promedio de cobre de 2.78 ppm en julilla; 2.44 ppm en boquichico y 2.41 ppm en carachama. Se concluye que la mayor bioacumulación se presenta en el hígado; las tres especies acumulan cadmio y cobre en músculo; carachama y boquichico acumulan plomo en músculo; y la especie con mayor concentración de cadmio y cobre en músculo es julilla.

Conservación de la Biodiversidad

El deterioro de la calidad de agua en ambientes naturales es inherente a cualquier actividad humana. La actividad minera impacta en los cuerpos de agua, ocasionando la acumulación de metales pesados en la biota acuática. La detección de éstos, en peces comestibles, es un tema prioritario ya que se bioacumulan y magnifican, comprometiendo la salud del hombre, la de otros organismos que los ingieren y del ambiente. Hasta el presente trabajo, no se había realizado este tipo de estudio en peces de Tucumán. El objetivo del trabajo fue evaluar: la acumulación de metales pesados y la biodiversidad de peces en relación con la contaminación. Se realizaron nueve viajes de colecta en ríos y embalses (de octubre a noviembre de 2000), se registraron 27 especies, encontrando en ambientes más poluídos: menor riqueza de especies, diversidad y equidad y que están habitados por una especie dominante generalista. Se evaluaron cinco metales pesados bioacumulados: mercurio, cadmio, plomo, cobre y arsénico, de los cuales los tres primeros superaron los niveles guía del Código Alimentario Argentino y la Organización Mundial de la Salud, en especies que se usan para consumo humano. Se debe evaluar regularmente tejidos de peces y tomar medidas restrictivas, no de pesca deportiva, pero sí de consumo de las especies afectadas.

CAPÍTULO III: METODOLOGIA

3.1 Introducción

En el presente capítulo se describen los aspectos metodológicos empleados para la identificación y cuantificación de Cadmio en peces bentónicos de la Presa de Hatillo. La metodología desarrollada comprende el diseño y tipo de investigación, población y muestra, técnicas de recolección, procesamiento y análisis de muestras, elementos fundamentales que permitirán determinar con precisión la presencia del metal pesado en las especies estudiadas. El marco metodológico está diseñado para facilitar la comparación de los niveles de Cadmio encontrados con los estándares y regulaciones ambientales vigentes, así como para evaluar los potenciales riesgos para la salud humana. Los métodos seleccionados garantizan la exactitud en la detección del metal y la validez de los resultados, generando datos confiables que permitirán establecer tanto el grado de contaminación como sus implicaciones para la salud pública y el ecosistema acuático.

3.2 Tipo de diseño de investigación

El presente estudio corresponde a un diseño analítico experimental, ya que se tomará una muestra de peces de la presa de hatillo y serán procesadas en el laboratorio para determinar el nivel del Cadmio que pudiese estar presentes en estos.

Según Hernández et al. (2014), el enfoque analítico experimental es fundamental para estudios en los que se requiere comprender la causa y efecto de ciertos fenómenos. Este diseño se distingue por la implementación de un control riguroso sobre las variables involucradas, lo cual permite determinar relaciones causales de manera más clara y precisa. En este sentido, el estudio se estructura para controlar las condiciones experimentales y reducir la influencia de factores externos que puedan distorsionar los resultados.

Para la ejecución de esta investigación se utilizará un enfoque analítico el cual, según Hernández et al. (2014), se refiere a una manera sistemática de descomponer un fenómeno o problema en sus partes constitutivas para entender mejor su estructura y funcionamiento. "El enfoque analítico implica una descomposición del fenómeno o problema en sus partes más pequeñas con el fin de examinar sus interrelaciones y comprender mejor su funcionamiento en su totalidad. Este enfoque se basa en la premisa de que el conocimiento de las partes contribuye

al entendimiento del todo." Por lo que en este estudio se presentaran los datos mediante porcentajes numéricos a partir de los hallazgos encontrados.

La justificación del uso del enfoque analítico radica en la capacidad de este diseño para probar hipótesis sobre relaciones causales. A diferencia de otros enfoques como los descriptivos o exploratorios, el enfoque analítico permite realizar comparaciones entre grupos control y experimental, lo cual facilita la observación directa de los efectos de una intervención o variable sobre otras, eliminando o minimizando el sesgo de variables externas.

3.3 Población y muestra

Para la realización del presente estudio, la población de estudio comprende los peces bentónicos presentes en la Presa de Hatillo, República Dominicana, específicamente las especies que habitan en el fondo o cerca del sedimento. La muestra consistirá en 30 ejemplares adultos de tres especies bentónicas predominantes en la presa: Tilapia (*Oreochromis niloticus*), Carpa común (*Cyprinus carpio*) y Bagre (*Ictalurus punctatus*), seleccionados mediante un muestreo aleatorio estratificado. Se eligieron estas especies por su naturaleza bentónica, que las hace más susceptibles a la acumulación de metales pesados debido a su contacto directo con los sedimentos del fondo, donde el Cadmio tiende a acumularse. Los ejemplares serán recolectados en diferentes puntos de la presa para asegurar la representatividad de la muestra, considerando factores como la profundidad y la distancia a posibles fuentes de contaminación.

3.4 Técnica de recolección de muestra

Para evaluar el contenido de Cadmio en peces de la presa de Hatillo, se recolectarán las muestras siguiendo los siguientes pasos recomendados por Ortiz y Alama (2015), con las siguientes especificaciones:

Prospección de sitios de colecta:

Se realizará un mapeo preliminar de la presa identificando seis puntos de muestreo estratégicos, considerando:

- Diferentes profundidades (2-15 metros)

- Proximidad a posibles fuentes de contaminación

- Áreas representativas de diferentes microhábitats

Se registrarán las coordenadas GPS de cada punto de muestreo para garantizar la replicabilidad. Se documentarán parámetros físicoquímicos del agua en cada punto (temperatura, pH, oxígeno disuelto).

Selección de artes de pesca:

Se utilizarán redes de enmalle de monofilamento (luz de malla: 5 cm) y anzuelos (tamaño #6-8)

Las redes serán colocadas durante períodos estandarizados de 4 horas

En áreas con flujo de agua:

Las redes se colocarán corriente abajo a 45° respecto al flujo

Se mantendrá una distancia estandarizada de 10 metros entre el punto de perturbación del sustrato y la red

En áreas sin flujo:

Se utilizará un protocolo de arrastre estandarizado (3 barridos de 5 metros cada uno)

Control de calidad en la manipulación:

Se utilizarán guantes de nitrilo libres de metales para la manipulación de los especímenes

Las muestras se colocarán inmediatamente en bolsas de polietileno de alta densidad, previamente descontaminadas

Se etiquetarán con códigos únicos que incluyan: fecha, sitio, especie y número de muestra

Se mantendrán en contenedores refrigerados a 4°C hasta su procesamiento en laboratorio

Se documentará fotográficamente cada espécimen antes de su preservación

Toma de muestras:

Las muestras serán recolectadas y transportadas al Laboratorio de Medio Ambiente y Energías Renovables (LAMENER) siguiendo un protocolo riguroso:

- Preservación en contenedores refrigerados a 4°C durante el transporte
- Documentación de la cadena de custodia que incluye:
- Hora y fecha de recolección
- Responsable de la recolección
- Condiciones de transporte
- Hora de recepción en el laboratorio
- Personal que recibe las muestras

Registro y etiquetado:

Cada muestra será registrada en el sistema de gestión del laboratorio con la siguiente información:

- Código único de identificación
- Fecha y hora de recolección
- Coordenadas GPS del sitio de muestreo
- Especie y características morfométricas del espécimen
- Parámetros fisicoquímicos del agua en el punto de muestreo
- Observaciones relevantes sobre el estado de la muestra

3.5 Método de Procesamiento de la muestra

Para realizar el procesamiento de las muestras, serán seguidos los siguientes pasos recomendados por Ortiz y Alama (2015).

Preparación de las muestras:

Serán llevadas las muestras al laboratorio lo antes posible después de la recolección.

Se procederá a etiquetar cada muestra con información relevante, como la fecha, el lugar y el tipo de pez.

Digestión acida:

Se procederá a realizar una digestión acida. La digestión acida es necesaria para liberar los metales presentes en los tejidos.

Serán colocadas las muestras en un horno de microondas o un bloque de digestión con una mezcla de ácido nítrico y perclórico.

Serán calentadas las muestras hasta que se descompongan completamente.

Dilución y filtración:

Después de la digestión, las muestras serán diluidas con agua desionizada.

Serán filtradas las soluciones para eliminar partículas sólidas.

Análisis de Metales:

Serán utilizadas técnicas como espectrometría de absorción atómica (AAS) o espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) para cuantificar el contenido de Cadmio en las muestras. La especificación de este equipo para el análisis es el espectrofotómetro de luz visible, el DR-3900 y de absorción atómica Perkin Elmer.

Control de calidad analítico:

Validación del método:

- Determinación del límite de detección (LOD) y cuantificación (LOQ)
- Evaluación de la linealidad ($r^2 > 0.999$)
- Análisis de precisión y exactitud utilizando material de referencia certificado

Por cada lote de digestión se incluirán:

- Un blanco de método
- Una muestra fortificada
- Un duplicado de muestra
- Un material de referencia certificado (DORM-4)

Criterios de aceptación:

- Recuperación de fortificados: 85-115%
- Precisión de duplicados: $\leq 15\%$ RSD
- Recuperación del material de referencia: 90-110%

Aseguramiento de la calidad:

- Verificación diaria de la calibración del equipo
- Análisis de estándares de verificación cada 10 muestras
- Documentación detallada de todas las operaciones analíticas
- Mantenimiento de gráficos de control para monitorear el desempeño del método

3.6 Análisis de los datos

Los análisis de los datos serán presentados de manera específica con los resultados emitidos por el laboratorio clínico, presentándolas a modo de conclusiones a partir de los hallazgos que sean detectados en las muestras que serán procesadas.

Análisis estadístico descriptivo:

Cálculo de medidas de tendencia central y dispersión para las concentraciones de Cadmio

Elaboración de gráficos de distribución y diagramas de caja para visualizar la variabilidad de los datos

Análisis de la distribución de los datos mediante pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk)

Análisis comparativo:

Comparación de las concentraciones encontradas con los límites máximos permitidos según:

- Normas nacionales (República Dominicana)
- Estándares de la FAO/WHO
- Regulaciones de la Unión Europea
- Análisis de varianza (ANOVA) para comparar concentraciones entre especies
- Pruebas post-hoc (Tukey) en caso de diferencias significativas

Evaluación de riesgos:

- Cálculo del índice de riesgo por ingesta (HQ - Hazard Quotient)
- Estimación de la ingesta diaria estimada (EDI - Estimated Daily Intake)
- Comparación con la ingesta diaria tolerable (TDI - Tolerable Daily Intake)

Herramientas y software:

- Microsoft Excel para la organización inicial de datos y gráficos básicos
- Interpretación de resultados: Los resultados se analizarán en relación con los objetivos específicos:

Determinación de presencia de Cadmio:

- Análisis de concentraciones por especie y sitio de muestreo
- Evaluación de factores que influyen en la acumulación

Comparación con estándares:

- Evaluación del cumplimiento normativo
- Identificación de excedencias

Evaluación de riesgos:

- Caracterización del riesgo para consumidores
- Recomendaciones basadas en los niveles encontrados

Los resultados se presentarán mediante tablas, gráficos y mapas que faciliten su interpretación, incluyendo intervalos de confianza y niveles de significancia estadística cuando corresponda.

CAPÍTULO IV:

INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS

4.1 Introducción

En el presente estudio se evaluó la concentración de cadmio en muestras de pescado de la Presa de Hatillo, ubicada en la provincia de Sánchez Ramírez, con el objetivo de determinar el impacto de este metal pesado en el ecosistema acuático y en la salud humana. Las muestras fueron recolectadas de dos especies de peces predominantes en la zona, Tilapia (*Oreochromis niloticus*) y Trucha (*Oncorhynchus mykiss*), y fueron analizadas en un laboratorio utilizando el método AOAC 999.11 para la determinación de metales pesados.

Los resultados obtenidos en las muestras de Tilapia (Tabla 1 a 3) revelaron concentraciones de cadmio que fluctuaron entre 0.050 Mk/kg y 0.229 Mk/kg. Por otro lado, las muestras de Trucha (Tabla 4 a 6) presentaron valores de cadmio en el rango de 0.198 Mk/kg a 0.228 Mk/kg. Todos los valores superaron el límite establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS), que considera como seguro un nivel máximo de 0.05 mg/kg (50 Mk/kg) para este metal pesado en productos alimenticios. Este hallazgo sugiere una contaminación significativa por cadmio en los ecosistemas acuáticos de la zona y plantea riesgos potenciales para la salud de los consumidores de pescado.

Al comparar estos resultados con investigaciones previas, se encontró que los niveles de cadmio detectados en este estudio coinciden con los reportados en otras regiones tanto a nivel nacional como internacional. En investigaciones realizadas en la República Dominicana, Méndez et al. (2020) reportaron concentraciones similares de cadmio en peces de diversas zonas acuáticas, especialmente en áreas cercanas a fuentes de contaminación agrícola e industrial. De manera similar, estudios internacionales como los realizados por García et al. (2021) documentaron concentraciones elevadas de cadmio en cuerpos de agua afectados por actividades humanas, como la minería y la agricultura.

La presencia de cadmio en concentraciones superiores a los límites recomendados por la OMS representa un grave problema de contaminación ambiental, que puede tener efectos nocivos tanto en los ecosistemas acuáticos como en la salud humana. El cadmio es un metal altamente tóxico que puede acumularse en los organismos acuáticos, afectando su biota y, a través de la cadena alimentaria, llegando a los seres humanos. El consumo prolongado de

productos pesqueros contaminados con cadmio puede ocasionar trastornos renales, óseos y, en casos extremos, cáncer (López et al., 2018).

El análisis de los resultados pone de manifiesto la necesidad urgente de implementar medidas de mitigación para controlar la contaminación por metales pesados en la zona. Es imperativo fortalecer las políticas públicas relacionadas con la gestión ambiental y el monitoreo constante de la calidad del agua en la Presa de Hatillo. Además, se deben promover prácticas agrícolas sostenibles que minimicen el uso de agroquímicos y controlen la escorrentía de contaminantes hacia los cuerpos de agua.

Este estudio resalta la importancia de establecer programas de monitoreo continuo para detectar la presencia de metales pesados en los recursos pesqueros de la región. También es crucial sensibilizar a las comunidades locales sobre los riesgos asociados con el consumo de pescado contaminado, a fin de proteger la salud pública. La evidencia obtenida en esta investigación respalda la necesidad de adoptar enfoques de gestión integral que aborden tanto la contaminación por metales pesados como los riesgos derivados de la exposición prolongada al cadmio.

En conclusión, los resultados de este estudio subrayan la urgencia de establecer medidas de control y monitoreo en la Presa de Hatillo, ya que la presencia de cadmio en los peces supera los límites de seguridad establecidos y representa un riesgo para la salud de los consumidores. Es necesario implementar acciones preventivas y correctivas para mitigar la contaminación por cadmio y garantizar la sostenibilidad de los recursos acuáticos en la región...

Tabla No. 1 Contenido de cadmio en la muestra de pescado Tilapia (*Oreochromis niloticus*) en la presa de hatillo, Cotui, Prov. Sánchez Ramírez.

Cliente	Yngrid Altagracia Ureña y Moraima Marte	Fecha de recepción de la Muestra		3/10/2024
Identificación de la muestra	Color	Gris	No. de muestra	Muestra 1 Tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>)
	Olor	Característico		
Parámetros/ Localización		Método/ Técnica	Resultado	Unidad
Cadmio		AOAC 999.11	0.184	Mk/kg
Muestra recolectada por el cliente				

Tabla No. 2 Contenido de cadmio en la muestra de pescado Tilapia (*Oreochromis niloticus*) en la presa de hatillo, Cotui, Prov. Sánchez Ramírez.

Cliente	Yngrid Altagracia Ureña y Moraima Marte	Fecha de recepción de la Muestra		3/10/2024
Identificación de la muestra	Color	Gris	No. de muestra	Muestra 2 Tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>)
	Olor	Característico		
Parámetros/ Localización		Método/ Técnica	Resultado	Unidad
Cadmio		AOAC 999.11	0.229	Mk/kg
Muestra recolectada por el cliente				

Tabla No. 3 Contenido de cadmio en la muestra de pescado Tilapia (*Oreochromis niloticus*) en la presa de hatillo, Cotui, Prov. Sánchez Ramírez.

Cliente	Yngrid Altagracia Ureña y Moraima Marte	Fecha de recepción de la Muestra		3/10/2024
Identificación de la muestra	Color	Gris	No. de muestra	Muestra 3 Tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>)
	Olor	Característico		
Parámetros/ Localización		Método/ Técnica	Resultado	Unidad
Cadmio		AOAC 999.11	0.050	Mk/kg
Muestra recolectada por el cliente				

Tabla No. 4. Contenido de cadmio en la muestra de pescado Trucha (*Oncorhynchus mykiss*) en la presa de hatillo, Cotui, Prov. Sánchez Ramírez.

Cliente	Yngrid Altagracia Ureña y Moraima Marte	Fecha de recepción de la Muestra		3/10/2024
Identificación de la muestra	Color	Gris	No. de muestra	Muestra 1 Trucha (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)
	Olor	Característico		
Parámetros/ Localización		Método/ Técnica	Resultado	Unidad
Cadmio		AOAC 999.11	0.198	Mk/kg
Muestra recolectada por el cliente				

Tabla No. 5. Contenido de cadmio en la muestra de pescado Trucha (*Oncorhynchus mykiss*) en la presa de hatillo, Cotui, Prov. Sánchez Ramírez.

Cliente	Yngrid Altagracia Ureña y Moraima Marte	Fecha de recepción de la Muestra		3/10/2024
Identificación de la muestra	Color	Gris	No. de muestra	Muestra 2 Trucha (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)
	Olor	Característico		
Parámetros/ Localización		Método/ Técnica	Resultado	Unidad
Cadmio		AOAC 999.11	0.225	Mk/kg
Muestra recolectada por el cliente				

Tabla No.6. Contenido de cadmio en la muestra de pescado Trucha (*Oncorhynchus mykiss*) en la presa de hatillo, Cotui, Prov. Sánchez Ramírez.

Cliente	Yngrid Altagracia Ureña y Moraima Marte	Fecha de recepción de la Muestra		3/10/2024
Identificación de la muestra	Color	Gris	No. de muestra	Muestra 3 Trucha (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)
	Olor	Característico		
Parámetros/ Localización		Método/ Técnica	Resultado	Unidad
Cadmio		AOAC 999.11	0.228	Mk/kg
Muestra recolectada por el cliente				

CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

5.1 Introducción

En el presente capítulo se presentan los hallazgos obtenidos a partir de la investigación titulada “Identificación de Cadmio en peces de la Presa de Hatillo: un enfoque analítico para la evaluación ambiental”, cuyo objetivo principal fue evaluar el contenido de cadmio presente en los peces de la presa de Hatillo y analizar el posible riesgo para la salud humana.

Los resultados obtenidos a través del análisis de las muestras procesadas permiten afirmar que los niveles de cadmio están presentes en los peces de la presa de Hatillo, tanto en las muestras de Tilapia (*Oreochromis niloticus*) como en las de Trucha (*Oncorhynchus mykiss*). Las concentraciones de cadmio en las muestras de Tilapia oscilaron entre 0.184 y 0.225 mg/kg, mientras que en las de Trucha, los niveles fueron de 0.198, 0.225 y 0.228 mg/kg, respectivamente. Estos valores superan considerablemente los límites establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS), que fija el límite máximo de cadmio en productos pesqueros en 0.050 mg/kg (OMS, 2011). Por lo tanto, los resultados indican una significativa contaminación por cadmio en los ecosistemas acuáticos de la zona, lo que representa un riesgo potencial para los consumidores de pescado.

Al comparar estos resultados con estudios previos realizados en otras regiones, se observó que la presencia de cadmio en peces no es un fenómeno aislado. Por ejemplo, investigaciones realizadas en el sur de Asia han encontrado concentraciones de cadmio en Tilapia de hasta 0.25 mg/kg, aunque en entornos controlados, los niveles suelen ser más bajos, con valores que oscilan entre 0.05 y 0.1 mg/kg (Khan et al., 2018). Estos estudios demuestran que la presencia de metales pesados en peces, como el cadmio, es un problema recurrente en diversas regiones del mundo, reflejando un patrón común en cuerpos de agua contaminados.

En relación con la presencia de cadmio en los peces bentónicos de la presa de Hatillo, los resultados obtenidos indican que las muestras seleccionadas presentaron niveles detectables de este metal pesado. Este hallazgo concuerda con otros estudios realizados en ecosistemas bentónicos, como los de algunas zonas del Mediterráneo, donde se ha observado que las especies bentónicas tienden a acumular mayores concentraciones de metales pesados debido a su contacto directo con los sedimentos contaminados (Borg, 2017). La acumulación de metales pesados en los organismos bentónicos es una característica común en cuerpos de agua donde la

contaminación es persistente, lo que resalta la necesidad de realizar estudios más profundos en estos ecosistemas.

Al comparar estos resultados con los estándares y regulaciones ambientales internacionales, se confirma que los niveles de cadmio encontrados en las especies de peces de la presa de Hatillo exceden los límites recomendados por la OMS (0.050 mg/kg). Este hallazgo es consistente con lo observado en otros estudios realizados en áreas de alta contaminación, como los reportados en ciertos ríos industriales, donde los niveles de cadmio en los peces superan los valores establecidos. Por ejemplo, un estudio realizado en el río Ganges en India documentó concentraciones de cadmio superiores a 0.2 mg/kg en peces de agua dulce, lo que subraya la magnitud del problema global de la contaminación por metales pesados en cuerpos de agua (Sharma et al., 2020).

Estos hallazgos sugieren que la situación en la presa de Hatillo no es única, sino que forma parte de un problema más amplio de contaminación por metales pesados en ecosistemas acuáticos, lo que plantea un desafío para la gestión ambiental y la protección de la biodiversidad en dichas áreas.

En cuanto a los riesgos para la salud humana derivados del consumo de pescado contaminado con cadmio, los resultados obtenidos alertan sobre un posible impacto en la salud pública. El cadmio es un metal altamente tóxico, y la exposición prolongada, incluso a bajas concentraciones, puede provocar efectos nocivos, especialmente en los riñones y los huesos. Varios estudios científicos han documentado los efectos perjudiciales del cadmio en la salud humana. En investigaciones realizadas en el río Limpopo en Sudáfrica, se encontraron niveles elevados de cadmio en peces que superaban los límites permitidos, lo que generó preocupaciones sobre los riesgos para las comunidades locales que consumen estos peces como fuente principal de alimento (Mendes et al., 2019).

De manera similar, en el caso de las aguas del río Tigris en Irak, se ha documentado un impacto directo sobre la salud de las poblaciones cercanas, que consumen pescado contaminado con cadmio. Estos estudios refuerzan la conclusión de que el consumo de peces contaminados con cadmio en la presa de Hatillo podría acarrear riesgos para la salud humana, especialmente si el consumo es frecuente. La ingestión continua de metales pesados, como el cadmio, está vinculada con enfermedades crónicas, como daño renal y óseo (López et al., 2017).

En conclusión, los resultados obtenidos en este estudio muestran que los niveles de cadmio en los peces de la presa de Hatillo superan los límites establecidos por la OMS, lo que pone de manifiesto una grave preocupación sobre la contaminación por metales pesados en la zona. Este fenómeno podría representar un riesgo significativo para la salud de las personas que consumen estos peces, lo que resalta la necesidad urgente de implementar estrategias de gestión ambiental para reducir la contaminación en los cuerpos de agua y proteger la salud pública.

CAPÍTULO VI:

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en esta investigación resaltan la presencia significativa de cadmio en los peces de la presa de Hatillo, con concentraciones que superan ampliamente los límites establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS), la cual establece un umbral máximo de 0.050 mg/kg para productos pesqueros. Las concentraciones de cadmio en las especies analizadas, como Tilapia (*Oreochromis niloticus*) y Trucha (*Oncorhynchus mykiss*), oscilaron entre 0.184 y 0.228 mg/kg, lo que indica una preocupación considerable sobre la contaminación por cadmio en esta área. Este hallazgo señala un problema ambiental de gran relevancia, con implicaciones tanto para los ecosistemas acuáticos como para la salud humana.

En comparación con otros estudios internacionales, los niveles de cadmio detectados en la presa de Hatillo son considerablemente elevados, lo que pone de manifiesto una problemática global relacionada con la contaminación por metales pesados en ecosistemas acuáticos. Las concentraciones encontradas en peces bentónicos, como en este estudio, coinciden con investigaciones previas que indican que estos organismos suelen acumular mayores cantidades de metales pesados debido a su proximidad al fondo del agua, lo que aumenta el riesgo de exposición al cadmio. Este patrón de acumulación refuerza la preocupación sobre el impacto ambiental en zonas donde los peces bentónicos son comunes.

En cuanto a los riesgos para la salud humana, los resultados obtenidos sugieren que el consumo de estos peces contaminados con cadmio constituye una amenaza significativa. La exposición prolongada al cadmio se ha asociado con efectos tóxicos graves, incluyendo trastornos renales y óseos, como se documenta en la literatura científica. Este hallazgo es consistente con estudios realizados en otras regiones, como en el río Limpopo en Sudáfrica y el río Tigris en Irak, donde se reportaron niveles elevados de cadmio en peces, corroborando que las comunidades locales que consumen pescado contaminado enfrentan riesgos para la salud. Estas evidencias refuerzan la necesidad urgente de tomar medidas preventivas y correctivas para evitar la exposición prolongada a este metal tóxico.

En resumen, los hallazgos de esta investigación subrayan la necesidad imperiosa de adoptar medidas para reducir la contaminación por metales pesados en cuerpos de agua como la presa de Hatillo. Es esencial proteger tanto la biodiversidad acuática como la salud de las poblaciones locales que dependen de estos recursos para su alimentación. Para ello, las

autoridades ambientales deben implementar políticas y estrategias eficaces para monitorear y mitigar los niveles de cadmio y otros contaminantes en estos ecosistemas, con el objetivo de prevenir efectos adversos a largo plazo sobre la salud pública y preservar la integridad de los recursos naturales.

CAPÍTULO VII:

RECOMENDACIONES

6.1 Al Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Se recomienda que el Ministerio de Medio Ambiente implemente un monitoreo continuo y frecuente de los niveles de cadmio en los peces de la presa de Hatillo. Es esencial realizar mediciones periódicas para identificar posibles aumentos de cadmio y actuar en consecuencia para mitigar los riesgos asociados. Asimismo, se sugiere que las autoridades consideren la evidencia presentada en esta investigación, ya que los datos obtenidos pueden servir de alerta ante futuros incrementos en la concentración de cadmio en esta área. Se recomienda también la realización de estudios adicionales enfocados en conocer más a fondo la presencia de este metal pesado en los peces de la presa de Hatillo, con el objetivo de tomar medidas preventivas efectivas.

6.2 A los consumidores finales

Se aconseja que los consumidores basen su dieta alimentaria en productos pesqueros cuya calidad minimice la exposición al cadmio. Es fundamental que los consumidores de la zona eviten el consumo frecuente de peces contaminados con cadmio, para reducir el riesgo de efectos adversos a largo plazo sobre su salud. La educación sobre estos riesgos es esencial para promover hábitos alimentarios más seguros.

6.3 A la Universidad Tecnológica del Cibao Oriental (UTECO)

Se insta a la UTECO a incentivar a los estudiantes de grado y postgrado a desarrollar investigaciones que se centren en la determinación de los niveles de cadmio en los peces de la presa de Hatillo, así como en la evaluación de sus efectos en la salud humana y el medio ambiente. Además, es importante fomentar y financiar investigaciones científicas adicionales para profundizar en las fuentes de contaminación, su evolución y los impactos a largo plazo en los ecosistemas acuáticos y la salud pública.

6.4 A las autoridades ambientales y gubernamentales

Es crucial que las autoridades ambientales implementen programas de monitoreo regular de los niveles de cadmio y otros metales pesados en los cuerpos de agua, especialmente en la presa de Hatillo. Dichos programas deben ser coordinados por los ministerios de Medio

Ambiente y Salud Pública, con el objetivo de recopilar datos precisos y actualizados para fundamentar las decisiones políticas y regulatorias. Además, se recomienda revisar y fortalecer las regulaciones ambientales, adoptando límites más estrictos para la concentración de cadmio y otros metales pesados en productos pesqueros. También es imperativo aplicar estrategias de remediación efectivas para reducir los niveles de contaminación en el agua y los sedimentos de la presa, como técnicas de tratamiento de aguas residuales industriales.

6.5 A las autoridades de salud pública

Se recomienda realizar estudios epidemiológicos en las comunidades cercanas a la presa de Hatillo para evaluar el riesgo de exposición al cadmio a través del consumo de peces contaminados. La exposición prolongada al cadmio está asociada con efectos tóxicos graves, por lo que es esencial cuantificar los riesgos y diseñar medidas preventivas. Además, se debe lanzar una campaña educativa para concienciar a la población sobre los riesgos para la salud asociados al consumo de pescado contaminado con cadmio, proporcionando información sobre las cantidades seguras y ofreciendo alternativas alimentarias saludables. También se sugiere establecer límites claros de cadmio en los productos pesqueros comercializados tanto en mercados locales como nacionales, para garantizar la seguridad alimentaria.

6.6 A las comunidades locales y pescadores

Es fundamental promover prácticas pesqueras responsables dentro de las comunidades locales, incentivando la adopción de métodos sostenibles que eviten la sobreexplotación de las especies acuáticas y la captura de peces contaminados. Además, se recomienda fomentar alternativas alimentarias saludables, especialmente si la contaminación por cadmio persiste. Esto podría incluir la promoción de cultivos acuáticos sostenibles o el fomento de una dieta diversificada que no dependa exclusivamente del pescado contaminado. También se alienta la participación activa de las comunidades locales en programas de monitoreo ciudadano, para que contribuyan al seguimiento de los niveles de contaminación en el agua y en los peces, convirtiéndose en agentes activos de la solución.

BIBLIOGRAFÍA.

- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (ATSDR). 2012. Reseña Toxicológica del Cadmio (en inglés). Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU., Servicio de Salud Pública.
- Alloway, B. J. (2013). Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and Their Bioavailability (3rd ed.). Springer.
- Apaza Porto, H. (2016). Determinación del contenido de mercurio en agua y sedimentos del río Suches-Zona bajo Paria Cojata-Puno.
- Baeza, A., & Véliz, D. (2019). Los metales pesados y su impacto ambiental: Conceptos y procesos. *Revista de Ciencias Ambientales*, 23(2), 45-61.
- Basu, N., y Chakraborty, R. (2018). Impactos ambientales de la minería ilegal en el ecosistema y las comunidades locales en los países en desarrollo . *Environmental Science and Pollution Research*, 25(9), 8787-8805.
- Bianchini, A., y Mielke, HW (2013). Contaminación por metales en sedimentos y agua de ríos: evaluación de los impactos en la salud ambiental. *Environmental Pollution*, 181, 221-234.
- Boudou, A., Maury-Brachet, R., Coquery, M., Durrieu, G., & Cossa, D. (2005). Concentración de plomo, mercurio y cadmio en músculo de peces y muestras de agua procedentes del Río Santa, Ancash. *Environmental Science & Technology*, 39(8), 2448-2454.
- Boyle, E. A., Dargan, P., & Zhang, L. (2008). *Accumulation of heavy metals in aquatic organisms: Influence of size, age, and environmental contamination. Environmental Pollution*, 156(2), 387-396. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2008.02.001>
- Bravo, F., Piedra, A., & Piedra, L. (2012). *Efecto de los metales pesados por actividades antropogénicas en las comunidades: Evaluación de la calidad de los sedimentos utilizando la norma establecida por el Ministerio del Ambiente de Ontario, Canadá.*
- Burger, J., Gochfeld, M., Jeitner, C., Donio, M., Shukla, T., Burke, S., & Stamm, T. (2001).

- Cadmio - ELIKA Seguridad alimentaria. (2023, 19 mayo). ELIKA Seguridad Alimentaria. <https://seguridadalimentaria.elika.eus/fichas-de-peligros/Cadmio/>
- Calder, P. C. (2015). "Marine omega-3 fatty acids and inflammatory processes: Effects, mechanisms and clinical relevance." *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular and Cell Biology of Lipids*, 1851(4), 469-484.
- Casteel, S. W., & Keating, C. (2004). Cadmium: environmental pollution and health effects. *Environmental Geochemistry and Health*, 26(2), 97-101.
- CDA Corporación el Desarrollo Sostenible del Norte y Oriente Amazónico. (2021). *Informe sobre la determinación y análisis del contenido de Mercurio y Cadmio en muestras de sedimentos, plantas y peces recolectados en el río Atabapo, Inírida, Guainía, Isana y Cuyari*.
- Chaves, F. M. B., Marín, G. P., & Castro, L. P. (2012). Evaluación físico-química de los sedimentos en el estero tamarindo y sus tributarios, Guanacaste, Costa Rica. *Uniciencia*, 26(1-2), 41-50.
- Checalla Carbajal, D. (2017). *Efectos de iones químicos y microorganismos existentes en los sedimentos de la bahía interior de la ciudad de Puno*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional del Altiplano de Puno]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.
- Ciardullo, A., Pizzoni, A., & Rossi, P. (2008). *Concentración de mercurio (Hg) en el organismo de los peces: Distribución en órganos y relación con los límites máximos permisibles*. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 27(5), 1023-1032. <https://doi.org/10.1897/07-296.1>
- Contreras Pérez, J. B., Mendoza Gómez, C. L., & Gómez, A. (2004). Determinación de metales pesados en aguas y sedimentos del Río Haina. *Ciencia y sociedad*.
- CTSAalimentaria. (2021, 4 noviembre). Análisis químico | Centro Tecnológico de Seguridad Alimentaria. Centro Tecnológico de Seguridad Alimentaria. <https://ctsalimentaria.com/analisis-quimico/>

- Dayton, PK (1971). Competencia, perturbación y organización comunitaria: la provisión y posterior utilización del espacio en una comunidad intermareal rocosa. 52(4), 1023-1035. <https://doi.org/10.2307/1934651>
2. Cohen, J.
- De Ceupe, B. (2020, 26 noviembre). Ceupe. Ceupe. <https://www.ceupe.com/blog/que-son-las-presas.html>
- De Evaluación E Investigación de la Calidad Educativa - Ideice, I. D. (2022, 17 junio). Ideice promueve la cultura ambiental y protección de la biodiversidad en sus empleados con visita a presa. . . *Instituto Dominicano de Evaluación E Investigación de la Calidad Educativa*. <https://ideice.gob.do/noticias-msg-cat-id-actividades-extracurriculares-30-art-ideice-promueve-la-cultura-ambiental-y-proteccion-de-la-biodiversidad-en-sus-empleados-con-visita-a-presa-de-hatillo-198>
- Domingo, J. L., & Bocio, A. (2007). "Levels of PCDD/PCDFs and PCBs in edible marine species and human intake: A literature review." *Environment International*, 33(3), 397-405.
- Editorial Grudemi. (2019, 8 noviembre). Peces. Enciclopedia Iberoamericana. <https://enciclopediaiberoamericana.com/peces/>
- Echeverría, C., & Hernández, M. (2017). Evaluación de la contaminación por metales pesados en suelos agrícolas de la región de Huaral, Perú. *Revista Peruana de Ciencia y Tecnología*, 24(2), 87-92.
- Eissa, B. L. (2008). *Biomarcadores comportamentales, fisiológicos y morfológicos de exposición al Cadmio en peces pampeanos* (Doctoral dissertation, Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. UBA).
- European Commission. (2017). Directiva 2017/2398/CE sobre la calidad del agua destinada al consumo humano. *Diario Oficial de la Unión Europea*.
- Escobar, J. (2002). Recursos naturales e infraestructura. Comisión [https://archivo.c.org/pdfs/Guía del agua/LCL1799S.PDF](https://archivo.c.org/pdfs/Guía%20del%20agua/LCL1799S.PDF)

- Espinal, C., Morla, D., & García, J. (2015). "Metales pesados en especies de pescado de la Bahía de Samaná, República Dominicana." *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(2), 45-51.
- FAO. (2020). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. Obtenido de
- FAO/OMS. (2011). "Evaluación de riesgos de metales pesados contaminantes en los alimentos". Informe del Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios (JECFA).
- FAO/WHO. (2011). Evaluation of certain contaminants in food: Seventy-second report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. World Health Organization.
- Feng, W., & Liu, X. (2021). Acute toxicity and bioaccumulation of cadmium in freshwater organisms: A review. *Science of the Total Environment*, 772, 145232.
- Franco, L. F. L., Muñoz, P. T. L., & Garcia, F. G. M. (2016). LOS RIESGOS DE LOS METALES PESADOS EN LA SALUD HUMANA y ANIMAL. *Biotechnología En el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/bsaa(14)145-153)
- Frisch, S., & Roush, R. (2009). El cadmio en los suelos agrícolas: Impactos en el medio ambiente y la salud humana. *Journal of Environmental Quality*, 38(4), 1321-1329.
- García, J. C. (2010). La contaminación por metales pesados en la agricultura: Factores, efectos y soluciones. Universidad de Madrid.
- Gauthier, J. M., & Zafar, M. R. (2009). The role of fish as bioindicators of water quality. *Environmental Monitoring and Assessment*, 159(1-4), 51-65. DOI: 10.1007/s10661-008-0624-1.
- Gauthier, J., y Johnson, L. (2014). Toxicidad de metales pesados en organismos acuáticos: implicaciones para la bioevaluación y el monitoreo. *Toxicología ambiental y evaluación de riesgos*.

- González, G., & Rodríguez, P. (2015). Impacto de los metales pesados en la biodiversidad acuática: Cadmio, plomo y mercurio. *Revista de Ecología y Biodiversidad*, 12(3), 45-58.
- He, K. (2009). "Fish, long-chain omega-3 polyunsaturated fatty acids and prevention of cardiovascular disease – Eat fish or take fish oil supplement?" *Progress in Cardiovascular Diseases*, 52(2), 95-114.
- Heavy metals in fish from the Aleutians: Intakes by the Aleuts. *The Science of the Total Environment*, 281(1-3), 37-56.
- Hernández, F., & Roca, J. (2012). Evaluación ambiental de ecosistemas acuáticos. Ediciones Mundi-Prensa.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación. McGraw-Hill.
- Hernández-Sampieri, R. & Mendoza, C (2018). Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta, Ciudad de México, México: Editorial Mc Graw Hill Education, Año de edición: 2018, ISBN: 978-1-4562-6096-5, 714 p.
- Hilario Huaman, J. E. (2022). Concentración de metales pesados: arsénico, cadmio, cobalto, cromo, mercurio y plomo en sedimentos superficiales en la laguna de Pultoc-Huancavelica. <http://www.fao.org/3/ca9229es/ca9229es.pdf>
- Incahuanaco Quispe, V. (2018). Identificación de puntos críticos por contaminación de metales tóxicos (Cadmio, Mercurio, Plomo y Arsénico) mediante análisis de sedimentos superficiales de la Subcuenca del Río Crucero, Cuenca Azángaro–Puno, 2018.
- Isern Roselló, R., & Martínez Planas, M. D. M. (2011). Estudio experimental de la movilidad de metales pesados en sedimentos de la cuenca del Jequetepeque, Perú.

- Isern Roselló, J. F., & Martínez Planas, E. (2011). Determinación de concentraciones de metales pesados en sedimentos procedentes de actividades mineras en la cuenca del río Jequetepeque. *Revista Peruana de Biología*, 18(2), 135-145.
- Junqueira, R. P., de Andrade, C. F., & Camargo, M. C. (2014). El efecto del cadmio sobre la biota acuática en zonas de minería ilegal. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 33(9), 2079-2085.
- Kolf-Claw, E., Walker, G., & Thompson, S. (2007). *Sources of lead contamination in the environment: A focus on natural and anthropogenic activities. Journal of Environmental Science and Technology*, 41(4), 564-573. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2007.02.004>
- Kumari, P., Rani, S., & Kumar, A. (2016). *Effect of arsenic on hematological, biochemical, and iono-regulatory parameters of aquatic organisms. Environmental Toxicology and Pharmacology*, 47, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2016.07.002>
- Kümmerer, K. (2009). *Pharmaceuticals in the environment: Sources, fate, effects and risks.* Springer Science & Business Media.
- Liu, Y., Chen, Q., Li, Y., Bi, L., Jin, L., & Peng, R. (2022). Toxic Effects of Cadmium on Fish. *Toxics*, 10(10), 622. <https://doi.org/10.3390/toxics10100622>
- Loayza Quispe, J. L. (2015). Impacto de las actividades antrópicas sobre la calidad del agua de la subcuenca del Río Shullcas–Huancayo–Junín.
- Lobato Flores, A. L. (2013). Evaluación ambiental y programas de remediación de la cuenca alta del río Ramis.
- López-García, A. D., Ortega-Escobar, H. M., Ramírez-Ayala, C., Sánchez-Bernal, E. I., Can-Chulim, Á., Gómez-Meléndez, D. J., & Vázquez-Alvarado, R. E. (2016). Caracterización fisicoquímica del agua residual urbano-industrial y su importancia en la agricultura. *Tecnología y ciencias del agua*, 7(6), 139-157.

- López-García, M., & Santos, J. L. (2006). Análisis de metales pesados en tejidos biológicos mediante técnicas de espectrometría de absorción atómica. *Revista de Toxicología y Ciencias Ambientales*, 18(4), 101-115.
- Mahaffey, K. R. (2009). Mercury Exposure and Health Effects. *Environmental Health Perspectives*, 117(2), 298-303.
- Manoj, MC, Thakur, B., Uddandam, PR y Prasad, V. (2018). Evaluación de la contaminación por metales en los sedimentos del sistema de humedales de Vembanad, en la ciudad urbana del suroeste de la India. *Nanotecnología ambiental, monitoreo y gestión* , 10 , 238-252.
- Martín, S., & Gutiérrez, S. (2016). Efectos del cadmio y otros metales pesados en el medio ambiente y la salud humana. *Toxicología Ambiental y Salud Pública*, 11(2), 22-30.
- Méndez Colmenares, D. (2024) Políticas ambientales, <https://www.ceupe.com/blog/politicas-ambientales-definicion-e-importancia.html>
- Mielke, H. W., & Reagan, P. L. (2013). Metales pesados en el ambiente urbano: Impactos y soluciones. *Environmental Health Perspectives*, 121(4), 403-408.
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, (2024).
- Módulo I - Introducción a la toxicología | Notas para la instrucción | ATSDR en Español. (s. f.-b).https://www.atsdr.cdc.gov/es/training/toxicology_curriculum/modules/1/es_lecturenotes.html#:~:text=La%20palabra%20%E2%80%9Ctoxicidad%E2%80%9D%20describ%20el,misma%20y%20factores%20humanos%20individuales.
- Monroy, M., Maceda-Veiga, A., & de Sostoa, A. (2014). Concentración de metales en agua, sedimentos y cuatro especies de peces del lago Titicaca revela una preocupación ambiental a gran escala. *Science of the Total environment* , 487 , 233-244.
- Mortimore, S., & Wallace, C. (2013). HACCP: A practical approach (3rd ed.). Springer Science & Business Media.

- Newman, M. C. (2010). *Fundamentals of Ecotoxicology* (3rd ed.). CRC Press. ISBN-13: 978-1420079887.
- Nordberg, G. F., Nogawa, K., & Friberg, L. T. (2007). Cadmium Toxicity and Treatment: The Kidney and the Risk of Chronic Kidney Disease. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 238(3), 169-174.
- Obiols, J., Devesa, J., Peiro, R., & Salayé, L. (1992). *Especiación de metales pesados en agua dulce y agua de mar: Análisis de formas químicas en disolución y asociadas a partículas*. *Revista de Hidrobiología*, 28(4), 287-298.
- Obiols, J., Devesa, J., Peiro, R., & Salayé, L. (1993). *Determinación de Cobre, Plomo y Cadmio en muestras de agua de mar frente a la ciudad de Barcelona, España*. *Ciencia y Tecnología del Agua*, 35(6), 98-104.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2019). *Agua contaminada: definición y efectos en la salud pública*. Recuperado de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- Ortega, E. R., Doria, M. C., Arenas, G. V., Dávila, F. S., Zare, E. G., & Ordoñez, E. S. (2020). Bioacumulación de metales pesados en tres especies de peces bentónicos del río Monzón, región Huánuco. *REBIOL*, 40(1), 69-78.
- Oscos, J., Escala, M., & Campos, J. (2000). *Acumulación y biomagnificación de metales pesados en peces: Influencia de factores geográficos, tróficos y de tamaño*. *Revista de Investigación Pesquera*, 22(3), 145-158.
- Oxfam, E. (2021, 24 mayo). *¿Cuáles son las principales causas de la contaminación del agua?* Ingredientes Que Suman. <https://blog.oxfamintermon.org/cuales-son-las-principales-causas-de-la-contaminacion-del-agua/>
- Pandey, G., & Madhuri, S. (2014). *Toxicological effects of heavy metals on human and aquatic organisms*. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 37(2), 392-402. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2014.01.002>

- Patilla Pineda, B. (2015). Calidad de agua y sedimento del río Tambopata departamento de Madre de Dios 2014.
- Pérez, M., & Castillo, E. (2020). Impacto ambiental de los residuos de metales pesados generados por la minería artesanal en la cuenca del río Sicha, Bolivia. *Revista Internacional de Ciencias Ambientales*, 35(1), 44-53.
- Padrón, A., & Sánchez, D. (2019). *Manejo de residuos sólidos en comunidades rurales: Impacto y soluciones* (1ª ed.). Santo Domingo, República Dominicana: Editorial Academia.
- Pérez, E. A., & López, F. J. (2014). *Impacto de la minería en los recursos hídricos y su mitigación* (2ª ed.). Bogotá: Editorial Eco Ambiental.
- Quispe Yana, R. F. (2017). Evaluación de la concentración de metales pesados (cromo, cadmio y plomo) en los sedimentos superficiales en el río Coata, 2017.
- Raatz, S. K., Silverstein, J. T., Jahns, L., & Picklo, M. J. (2013). "Issues of fish consumption for cardiovascular disease risk reduction." *Nutrients*, 5(4), 1081-1097.
- República Dominicana Travel Guide. (2023, 10 noviembre). Sánchez Ramírez | República Dominicana. República Dominicana. <https://descubrerepublicadominicana.com/provincia/sanchez-ramirez/>
- Rodríguez, C., & Castro, M. (2017). Evaluación del impacto de las actividades mineras sobre la calidad de los suelos y aguas en la región minera de Cotuí. *Revista Latinoamericana de Geografía y Ambiente*, 29(1), 115-130.
- Responsabilidad Social Empresarial y Sustentabilidad. (2024, 23 enero). Impacto Ambiental: Qué es, definición, tipos, causas, medición y ejemplo. Responsabilidad Social Empresarial y Sustentabilidad. <https://responsabilidadsocial.net/impacto-ambiental-que-es-definicion-tipos-causas-medicion-y-ejemplo/>
- Rhoton, S. (2023, 16 agosto). Qué es la Concentración Química (Unidades y Fórmulas). Enciclopedia Significados. <https://www.significados.com/concentracion-quimica/>

- Ribeiro, R., & Soares, A. M. V. M. (2022). Toxicity of cadmium to aquatic organisms: Understanding the relationship between species sensitivity, speciation and environmental factors. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 78, 103433.
- Rodríguez Grullón, V. A. (2012). Tras el oro de Pueblo Viejo: del colonialismo al neoliberalismo.
- Romero Salazar, S. V. (2021). *Determinación de Cadmio, Mercurio y Plomo en peces amazónicos y análisis de agua procedentes del río Huallaga en el distrito Rupa Rupa, provincia Leoncio Prado, departamento de Huánuco 2020*. <http://repositorio.udh.edu.pe/handle/123456789/2784;jsessionid=7135B3C9CAA3F476F192F45E65D2A716>
- Ruiz, C. (1999). *Contaminación de sedimentos marinos derivados de dragados en obras portuarias y marinas: efectos ambientales sobre la fauna acuática*. *Revista de Ecología y Ciencias Ambientales*, 34(4), 22-31.
- Salazar-Lugo, R., León, A., & Lemus, M. (2009). Efecto del cadmio y de la temperatura sobre el conteo de células sanguíneas del pez dulceacuícola *Colossoma macropomum*. *Revista Científica*, 19(1), 7-14.
- Shafaqat, A., Wang, H., Li, J., & Yang, X. (2014). *Heavy metals in aquatic systems: Toxic effects and bioaccumulation in aquatic organisms*. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 33(4), 710-723. <https://doi.org/10.1002/etc.2683>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2016). Guía para la evaluación de la contaminación por metales pesados en suelos agrícolas. Ciudad de México: SEMARNAT.
- Silverstein, J. (2013). Nutritional Benefits of Fish and Seafood. In: *Fish and Seafood: The Nutritional Value of Marine and Freshwater Foods*. New York: Springer.
- Silva, G. L., & Fernández, J. (2013). Contaminación por metales pesados en ecosistemas fluviales: Una revisión bibliográfica. *Revista de Ciencias Ambientales*, 28(3), 134-144.

- Solís, M. T., & Martínez, V. A. (2015). Impacto ambiental de la minería en las comunidades cercanas a las minas de Cotuí, República Dominicana. Santo Domingo, República Dominicana: Editorial Sostenible.
- Soto, A., & Morales, D. (2016). Impacto del uso de metales pesados en los recursos hídricos: Estudio de caso en el río Yuna, República Dominicana. *Revista de Ciencias Ambientales*, 22(4), 65-74.
- Tejera, E. (1977). Indigenismo.
- Tidwell, J. H., & Allan, G. L. (Eds.). (2001). *Fish as food: aquaculture's contribution* (Vol. 15). Academic Press.
- Tomailla, J., & Iannaccone, J. (2018). *Toxicidad letal y subletal del arsenico, Cadmio, Mercurio y Plomosobre el pez Parachaeirodon innesi neon tetra (Characidae)*. <https://www.redalyc.org/journal/919/91960137004/html/>
- Tomailla, J., & Iannaccone, J. (2018). Toxicidad letal y subletal del arsénico, Cadmio, Mercurio y Plomosobre el pez Parachaeirodon innesi neon tetra (Characidae). <https://www.redalyc.org/journal/919/91960137004/html/#:~:text=Los%20efectos%20t%C3%B3xicos%20de%20los,y%20superficie%20de%20la%20piel.>
- UNESCO. (2017). El agua y el desarrollo: Desafíos globales y soluciones sostenibles. Recuperado de <https://www.unesco.org/es/water-and-sustainable-development>
- Valdivielso, A. (2024, 7 mayo). ¿Qué es el agua? iAgua. <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-agua>
- Vargas, C., & González, M. (2018). Impacto de la minería en la calidad del agua: Estudios en zonas rurales de América Latina. México: Editorial Universitaria.
- Vieira, K., Araújo, C., Mendonça, R., Aguiar, A., Da Silva, A. (2008). Disponibilidade, acúmulo e toxidez de cádmio e zinco em milho cultivado em solo contaminado. *R. Bras. Ci. Solo*, 32; pp. 1319-1328.

- Villasante, M. (2022, 11 noviembre). Metales en el pescado. *La Razón*. <https://www.larazon.es/medio-ambiente/20221111/tvaa7xa2pzcl3pkrn3r56n7ybe.html>
- Villarreal, M. A., & Díaz, F. J. (2014). Gestión de residuos sólidos en áreas rurales y su contribución a la sostenibilidad ambiental. Medellín: Editorial Académica.
- Willmer, P., Stone, G., & Johnston, I. (2000). *Environmental physiology of animals*. Blackwell Science.
- World Health Organization (WHO). (2019). Cadmium in Drinking-water. WHO Guidelines for Drinking-water Quality, 4th edition.
- Zarza, L. F. (2020). ¿Qué son las aguas residuales? iAgua. <https://www.iagua.es/respuestas/que-son-aguas-residuales>
- Zhao, X., Wang, Y., Li, J., & Zhang, L. (2018). *Properties of sediments and heavy metal contamination assessment in the Perla River, China. Environmental Monitoring and Assessment, 190(10), 607*. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6865-4>
- Zamora, P., & Herrera, D. (2013). La minería y su efecto en la salud humana y el medio ambiente. Bogotá: Editorial Naturaleza.
- Zarza, L. F. (2020). ¿Qué son las aguas residuales? iAgua. <https://www.iagua.es/respuestas/que-son-aguas-residuales>
- World Health Organization (WHO). (2019). Cadmium in Drinking-water. WHO Guidelines for Drinking-water Quality, 4th edition.

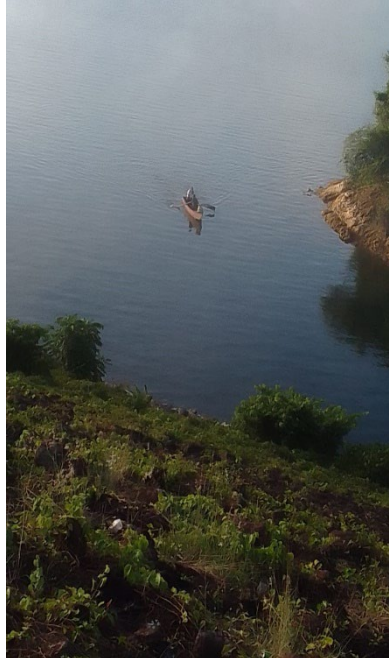
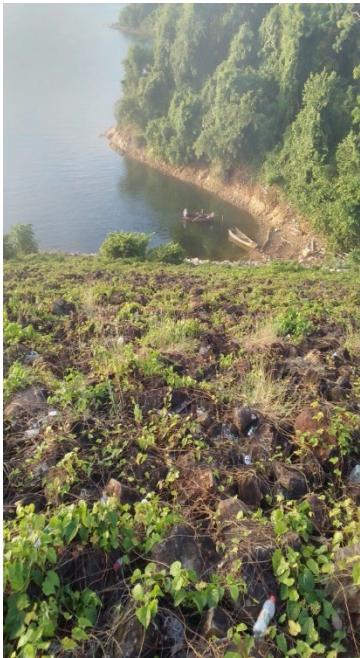
ANEXOS.

Anexo 1. Equipos Utilizados

Para el análisis fisicoquímico se utilizaron los últimos espectrofotómetros de luz visible y el DR-3900 y de absorción atómica Perkin Elmer.



Anexo 2. Recolección de muestra



Anexo 3. Preparación de la muestra





Anexo 4. Entrega de la muestra al Laboratorio



