

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES



Tesis

**Riesgo ecológico por concentración de metales pesados (Pb y Hg) en peces
en la cuenca media del río Araza en el tramo del km 175 al 185,**

Quispicanchis - Cusco 2024

Asesor (a):

Mgt. Arrieta Concha, Cynthia Cecilia

Autores:

Perez Cardenas, Aldanna Alexandra

Huamani Jihuallanca, Jhoel Augusto

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero (a) Ambiental

Cusco - Cusco - Perú

2025



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES
"Año de la Recuperación y Consolidación de la Economía Peruana"

Acta N°: 009

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Cusco, a los 14 días del mes de noviembre del año 2025, siendo las 09:00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Sub Directoral N° 158-2025-UTEA-FI-EPIARN-SD de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales, Facultad de Ingeniería

Presidente :	Mg. Pozo Gonzales José Salustio
Dictaminante :	Dra. Loayza Chácara Sonia María
Replicante :	Mg. Mollo Varillas Valex Raúl

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

☒ Tesis ☐ Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

Riesgo ecológico por concentración de metales pesados (Pb y Hg) en peces en la cuenca media del río Araza en el tramo del km 175 al 185, Quispicanchis – Cusco 2024.

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

Bach: Perez Cardenas, Aldanna Alexandra

Bach. Huamani Jihuallanca, Jhoel Augusto

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero (a) Ambiental

Concluido el acto de Sustentación, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) APROBADO (S):

Por: Unanimidad

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)
Bach: Perez Cardenas, Aldanna Alexandra	Aprobado
Bach. Huamani Jihuallanca, Jhoel Augusto	Aprobado

Siendo las 10:55 am horas concluyó el Acto Académico, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: Mg. Pozo Gonzales José Salustio

Dictaminante: Dra. Loayza Chácara Sonia María

Replicante: Mg. Mollo Varillas Valex Raúl

(*): Mayoría: Dos integrantes del jurado aprueban o desaprueban; Unanimidad: Todos los integrantes del jurado aprueban o desaprueban, Art. 18 RGGAT.

(**): 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción, Art. 18 RGGAT.

18% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 15%  Fuentes de Internet
- 6%  Publicaciones
- 11%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Metadatos

Datos del Autor		
Apellidos y nombres	:	Huamani Jihuallanca, Jhoel Augusto
Tipo de documento de identidad	:	DNI
Número de documento de identidad	:	73945254
URL ORCID	:	https://orcid.org/0009-0007-0851-2413
Apellidos y nombres	:	Perez Cardenas, Aldanna Alexandra
Tipo de documento de identidad	:	DNI
Número de documento de identidad	:	74154950
URL ORCID	:	https://orcid.org/0009-0001-6299-1407
Datos del Asesor		
Apellidos y nombres	:	Mgt. Arrieta Concha, Cynthia Cecilia
Tipo de documento de identidad	:	DNI
Número de documento de identidad	:	42221546
URL ORCID	:	https://orcid.org/0009-0009-1843-1064
Datos de la investigación		
Facultad	:	Ingeniería
Escuela profesional	:	Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales
Línea de investigación	:	Calidad Ambiental
Rango de años en que se realizó la investigación	:	Marzo del 2024 - febrero del 2025
Fuente de financiamiento	:	Autofinanciado
Porcentaje de similitud	:	18%
URL ORCID	:	https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.01

Dedicatoria

Dedico la presente tesis primeramente a Dios quien es mi guía espiritual, por haberme dado salud y sabiduría para permitirme llegar hasta esta instancia y nunca soltarme de su mano. A mis amados padres Godofredo Perez Vidal, Anggely Cardenas Ormeño y a mi hermana Alexia Perez Cardenas, por su apoyo incondicional que me han permitido alcanzar esta importante meta, por celebrar cada uno de mis logros y sobre todo por creer en mí. A mi pequeña Lulú, quien me acompañó todas las noches en mi regazo durante toda la carrera universitaria e infancia, A mis amigos y familia, por estar a mi lado y brindarme su amor, comprensión y apoyo en esta etapa tan importante de mi vida, por caminar a mi lado y sus palabras de aliento.

Aldanna.

Esta investigación está dedicada a Dios por darme la fortaleza en momentos difíciles y guiarme por el buen camino, en especial a mis queridos padres Augusto Huamani y Otilia Jihuallanca como agradecimiento eterno por siempre apoyarme y alentarme a culminar esta importante etapa de mi vida; asimismo, a mi hermana Miriam quien me acompañó gratamente en mi niñez generando gran armonía; por último, a mis sobrinos Rafael y Alondra que alegran mis días con sus ocurrencias hilarantes.

Jhoel.

Agradecimiento

En primer lugar, agradecemos a Dios por brindarnos salud, guiarnos con su infinita sabiduría, otorgarnos perseverancia para lograr nuestros objetivos y culminar con éxito esta investigación e iniciar con mayor ímpetu nuestra vida profesional.

A nuestra querida casa de estudio la Universidad Tecnológica de los Andes, a la escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales - Filial Cusco, por brindarnos siempre la información necesaria para nuestra formación profesional, a todos nuestros docentes de la Escuela Profesional por sus enseñanzas, guías y experiencias durante los 5 años universitarios.

A nuestra asesora Mgt. Cynthia Cecilia Arrieta Concha, por su invaluable dedicación, sus consejos de investigación, sus conocimientos han sido un apoyo incondicional en nuestra ruta para el aprendizaje constante.

A nuestro querido subdirector el Mgt. José Pozo Gonzales, al Mgt. Walter Choquevilca Lira, al Mgt. Wilfredo Vega Villafuerte, a la Mgt. Angela Fiorella Sota Cano, a la Mgt. Mireya Raurau Quisiyupanqui, a la Dra. Sonia Loaiza Chacara, al Dr. Samuel Kjiuro Arenas, a la Magt. Helidia Hanco Loaiza y a la Mgt. Gladys Allende Ramos, por sus consejos, observaciones, enseñanzas y recomendaciones en cada lección de nuestros últimos años universitarios, que serán útiles en nuestra vida profesional como personal.

Resumen

La presencia de metales pesados en ecosistemas acuáticos constituye un problema ambiental de alto impacto en la cuenca media del río Araza por actividades antrópicas, incrementando la contaminación del agua, afectando la flora y fauna local. Ante ello, surge la necesidad de investigar: ¿Cuál es el riesgo ecológico por concentración de metales pesados (Pb y Hg) en peces en la cuenca media del río Araza en el tramo del km 175 al 185, Quispicanchis - Cusco 2024?; asimismo, evaluar el riesgo ecológico por concentración de (Pb y Hg) en peces; aplicando un enfoque cuantitativo del tipo básico con nivel correlacional-causal, se tomaron 6 muestras de peces y agua, mediante un muestreo probabilístico aleatorio simple. Las muestras fueron analizadas en InterLabs - International Laboratories S.A.C y los datos analizados mediante estadística descriptiva e inferencial. Los resultados evidenciaron que las concentraciones de Pb (en el punto RA-PC1) y Hg (en todos los puntos) en agua superaron los ECA agua y los niveles de metales en el tejido muscular de *Rhamdia quelen* y *Pseudorinelepis genibarbis* estuvieron dentro de los límites permisibles para consumo humano. Se concluye que en peces existe riesgo ecológico significativo por exposición a mercurio (Hg), Se recomienda a las autoridades (SANIPES, ANA y OEFA) realizar un control periódico de las actividades antrópicas realizadas y monitorear la obtención de las especies *Pseudorinelepis genibarbis* y *Rhamdia quelen* para consumo humano por presencia de metales pesados.

Palabras clave: Mercurio, plomo, muestras de agua, tejido muscular de pez, riesgo ecológico.

Abstract

The presence of heavy metals in aquatic ecosystems constitutes a high-impact environmental issue in the middle basin of the Araza River, driven primarily by anthropogenic activities that intensify water pollution and adversely affect local flora and fauna. Consequently, this study seeks to address the following research question: What is the ecological risk associated with the concentrations of heavy metals (Pb and Hg) in fish within the middle basin of the Araza River, specifically between km 175 and 185, Quispicanchis – Cusco, 2024? In line with this objective, the ecological risk posed by Pb and Hg concentrations in fish was evaluated. The research employed a quantitative basic approach with a correlational–causal scope. Six samples of fish and water were collected using simple probabilistic random sampling. All samples were analyzed at InterLabs – International Laboratories S.A.C., and the resulting data were processed through descriptive and inferential statistical methods. Findings revealed that Pb concentrations at sampling point RA-PC1 and Hg concentrations at all sampling points exceeded the Environmental Quality Standards (ECA) for water. In contrast, metal concentrations in the muscle tissue of *Rhamdia quelen* and *Pseudorinelepis genibarbis* remained within the permissible limits established for human consumption. The study concludes that fish in the area are subject to significant ecological risk due to exposure to mercury (Hg). Accordingly, it is recommended that the competent authorities (SANIPES, ANA, and OEFA) strengthen periodic monitoring of anthropogenic activities in the basin and oversee the extraction of *Pseudorinelepis genibarbis* and *Rhamdia quelen* intended for human consumption, given the presence of heavy metals.

Keywords: Mercury, lead, water samples, fish muscle tissue, ecological risk.

Índice

Portada	i
Acta de sustentación	ii
Reporte de similitud	iii
Metadatos	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento	vi
Resumen	vii
Abstract.....	viii
Índice	ix
Índice de tablas	xi
Índice de figuras	xiii
Índice de ecuaciones.....	xv
Índice de anexos	xvi
Lista de acrónimos.....	xvii
I. Introducción.....	19
II. Planteamiento del problema.....	21
2.1. Descripción y formulación del problema.....	21
2.2. Objetivos.....	24
2.2.1. Objetivo general	24
2.2.2. Objetivos específicos	24
2.3. Justificación e importancia	25

2.4.	Hipótesis	27
2.5.	Variables	27
III.	Marco teórico	30
3.1.	Antecedentes	30
3.2.	Bases teóricas.....	37
3.3.	Definición de términos.....	70
IV.	Metodología.....	74
4.1.	Tipo y nivel de investigación.....	74
4.2.	Ámbito temporal y espacial	75
4.3.	Población y muestra.....	77
4.4.	Instrumentos.....	79
4.5.	Procedimientos.....	80
4.6.	Análisis de datos	98
4.7.	Consideraciones éticas	99
V.	Resultados y discusión.....	100
VI.	Conclusiones.....	140
VII.	Recomendaciones.....	141
VIII.	Referencias	142
IX.	Anexos.....	163

Índice de tablas

Tabla 1	Operacionalización de variables de estudio.....	28
Tabla 2	Descripción de las especies muestreadas	47
Tabla 3	Valores de referencia de metales pesados - SANIPES	52
Tabla 4	Valores de referencia de mercurio - Códex alimentarius	53
Tabla 5	Valores de referencia de mercurio - Unión Europea	54
Tabla 6	Valores de referencia de plomo - UE	56
Tabla 7	Disponibilidad hídrica en las subcuencas del río Araza	58
Tabla 8	Principales lagunas de la cuenca del Araza	59
Tabla 9	Categorías del ECA – agua.....	62
Tabla 10	Subcategorías del ECA - agua	62
Tabla 11	Categoría 4: Conservación del ambiente acuático.....	63
Tabla 12	Valores del factor de seguridad para derivar las concentraciones sin efecto previstas en función de la cantidad y el tipo de datos disponibles	67
Tabla 13	Interpretación del riesgo ecológico calculado (RQ)	68
Tabla 14	Puntos de muestreo identificados	81
Tabla 15	Coordenadas de los puntos de muestreo de agua y pez de la cuenca media del río Araza.....	82
Tabla 16	Datos obtenidos post muestreo para peces	92
Tabla 17	Metales pesados de interés en tejido muscular de peces muestreados	100
Tabla 18	Tabla de concentración de metal pesado (Pb) en tejido muscular de peces	102
Tabla 19	Tabla de concentración de metal pesado (Hg) en tejido muscular de peces	103
Tabla 20	Metales pesados tóxicos en muestras de agua	109
Tabla 21	Concentraciones del factor estresante (Pb) en agua	110
Tabla 22	Concentraciones del factor estresante (Hg) en agua.....	112

Tabla 23	Tabla para decisión estadística en muestras de agua.....	117
Tabla 24	Resultados del ECOTOX para plomo total	120
Tabla 25	Descripción de la especie <i>Salvelinus fontinalis</i>	124
Tabla 26	Comparación de especies de pez – analogías para mercurio y plomo.....	125
Tabla 27	Tabla comparativa de hipótesis para riesgo ecológico - plomo.....	128
Tabla 28	Resultados del ECOTOX para mercurio total	130
Tabla 29	Descripción de la especie <i>Etheostoma spectabile</i>	133
Tabla 30	Tabla comparativa de hipótesis para riesgo ecológico - mercurio	136

Índice de figuras

Figura 1	Tipos de tejido muscular en peces	51
Figura 2	Recopilación de información de la base de datos del ECOTOX	69
Figura 3	Área de estudio - río Araza	76
Figura 4	Procedimiento de obtención de muestras de agua – para ríos o quebradas con bajo caudal.....	84
Figura 5	Punto RA-PC-1	84
Figura 6	Punto RA-A-01	85
Figura 7	Punto RA-A-02	85
Figura 8	Punto RA-A-03	86
Figura 9	Punto RA-A-04	86
Figura 10	Punto RA-A-05	87
Figura 11	Procedimiento post muestreo de agua.....	88
Figura 12	Muestras de agua contenidas en los envases de botella PE-HD (1000ml)	88
Figura 13	Procedimiento de obtención de muestras de recursos hidrobiológicos (peces) y procedimiento post muestreo.....	89
Figura 14	Procedimiento detallado post muestreo de los recursos hidrobiológicos	91
Figura 15	Puntos de muestreo en el área de estudio.....	94
Figura 16	Flujograma para mercurio (Hg) - ECOTOX.....	96
Figura 17	Flujograma para plomo (Pb) - ECOTOX.....	97
Figura 18	Metales pesados en especies de peces.....	101
Figura 19	Concentraciones del plomo respecto a los valores de referencia para consumo humano	102
Figura 20	Concentraciones del mercurio respecto a los valores de referencia para consumo humano	104

Figura 21 Prueba de normalidad de IBM SPSS Statistics para metales pesados (Pb y Hg) en especies de peces aptas para consumo humano	105
Figura 22 Prueba T - student de IBM SPSS Statistics para el plomo	107
Figura 23 Prueba T - student de IBM SPSS Statistics para el Mercurio	108
Figura 24 Metales pesados tóxicos en muestras de agua	110
Figura 25 Concentraciones del plomo respecto a ECA agua (Cat. 4)	111
Figura 26 Concentraciones del factor estresante (Hg) respecto al ECA agua (Cat. 4) ...	113
Figura 27 Prueba de normalidad de IBM SPSS Statistics para metales pesados tóxicos en muestras de agua natural.....	114
Figura 28 Prueba de Wilcoxon de IBM SPSS Statistics para el factor estresante plomo (Pb)	116
Figura 29 Registro del punto de muestreo N° 1	172
Figura 30 Registro del punto de muestreo N° 2	173
Figura 31 Registro del punto de muestreo N° 3	174
Figura 32 Registro del punto de muestreo N° 4	175
Figura 33 Registro del punto de muestreo N° 5	176
Figura 34 Registro del punto de muestreo N° 6	177
Figura 35 Envases para la recolección de muestras de agua natural	182
Figura 36 Envases para la recolección de muestras de pez	182
Figura 37 Muestra del pez <i>Cetopsis coecutiens</i> - Punto RA-P-01	183
Figura 38 Muestra del pez <i>Rhamdia quelen</i> - Punto RA-P-02	183
Figura 39 Muestra del pez <i>Pseudorinelepis genibarbis</i> - Punto RA-P-03	184
Figura 40 Muestra del pez <i>Ancistrus marcapatae</i> - Punto RA-P-04.....	184
Figura 41 Muestra del pez <i>Rhamdia quelen</i> - Punto RA-P-05.....	185
Figura 42 Muestra del pez <i>Rineloricaria reisi</i> - Punto RA-P-06	185

Índice de ecuaciones

Ecuación 1: Fórmula del riesgo ecológico calculado	65
Ecuación 2: Fórmula de la concentración que no causa efectos sobre los organismos.....	66

Índice de anexos

Anexo 1: Matriz de consistencia	164
Anexo 2: Guía para la toma de muestras hidrobiológicas por SANIPES	166
Anexo 3: Guía para la toma de muestras de alimentos, ambientes y superficies vivas e inertes – Interlabs Internacional Laboratories S.A.C.	167
Anexo 4: Registro del muestreo biológico para peces - OEFA	168
Anexo 5: Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales	169
Anexo 6: Guía para la toma de muestras de agua – Interlabs Internacional Laboratories S.A.C.	170
Anexo 7: Registro de datos de campo (agua).....	171
Anexo 8: Registro de identificación del punto de monitoreo	172
Anexo 9: Declaración de carga no peligrosa.....	178
Anexo 10: Cadena de custodia – Interlabs International Laboratories S.A.C.	179
Anexo 11: Panel fotográfico de procedimientos.....	182
Anexo 12: Resultados de análisis de laboratorio	186
Anexo 13: Guía para la elaboración de estudios de evaluación de riesgos a la salud y el medio ambiente (ERSA) en sitios contaminados	210
Anexo 14: Galería de fotografías	211

Lista de acrónimos

ANA	: Autoridad nacional del agua
CEE	: Concentración de la exposición esperada
CE50 o EC50	: Concentración efectiva media
ERSA	: Evaluación de riesgo a la salud y al medio ambiente
ECA	: Estándar de calidad ambiental
ECOTOX	: Base de conocimiento completa que proporciona datos sobre la toxicidad ambiental de sustancias químicas individuales en especies acuáticas y terrestres
FAO	: Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura
GPS	: Sistema de posicionamiento global
INACAL	: Instituto nacional de calidad
MAPE	: Minería artesanal y de pequeña escala
MINAM	: Ministerio del ambiente
NEC	: Concentración que no causa efecto sobre los organismos
NOEC	: Concentración efectiva no observable
OEFA	: Organismo de evaluación y fiscalización ambiental
OMS	: Organismo mundial de la salud
RQ	: Riesgo ecológico
RA-PC-1	: Primer punto de muestreo de agua
RA-A-01	: Segundo punto de muestreo de agua
RA-A-02	: Tercer punto de muestreo de agua
RA-A-03	: Cuarto punto de muestreo de agua
RA-A-04	: Quinto punto de muestreo de agua

RA-A-05	: Sexto punto de muestreo de agua
RA-P-01	: Primer punto de muestreo de pez
RA-P-02	: Segundo punto de muestreo de pez
RA-P-03	: Tercero punto de muestreo de pez
RA-P-04	: Cuarto punto de muestreo de pez
RA-P-05	: Quinto punto de muestreo de pez
RA-P-06	: Sexto punto de muestreo de pez
PNUMA	: Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente
SANIPES	: Autoridad nacional de sanidad e inocuidad en pesca y acuicultura
SINIA	: Sistema nacional de información ambiental
UE	: Unión europea
USEPA	: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos

I. Introducción

En los últimos años, la presencia de metales pesados en ecosistemas acuáticos genera problemas ambientales de alto impacto, debido a su persistencia, toxicidad y capacidad de bioacumulación en organismos hidrobiológicos. En la cuenca media del río Araza, ubicada en la provincia de Quispicanchis - Cusco, debido a diversas actividades relacionadas con la minería, contribuyen al incremento de contaminantes como el plomo (Pb) y el mercurio (Hg), afectando la calidad del agua y alterando el equilibrio de la flora y fauna local. Esta situación ha generado preocupación en las comunidades aledañas, dado que la contaminación repercute en la biota acuática como en la salud humana.

Teniendo como tema de investigación al riesgo ecológico por concentración de Pb y Hg en la cuenca media del río Araza, entre los kilómetros 175 y 185. La investigación se realiza debido a la ausencia de estudios previos en esta zona que determinen el riesgo ecológico asociado a estos metales pesados, lo cual limita el entendimiento del impacto real de los contaminantes sobre el ecosistema y especies hidrobiológicas utilizadas como fuente de alimento.

La investigación se desarrolló empleando un enfoque cuantitativo, de tipo básico y nivel correlacional-causal, mediante la toma de 6 muestras de agua y 6 muestras de peces, analizadas en laboratorio (InterLabs – International Laboratories S.A.C.). Los datos fueron evaluados mediante estadística descriptiva e inferencial, incluyendo el cálculo del riesgo ecológico (RQ), comparando los resultados con los Estándares de Calidad Ambiental para agua (D.S. N° 004-2017-MINAM, categoría 4) y con los límites establecidos para consumo humano por organismos nacionales e internacionales.

El estudio presenta como limitaciones la accesibilidad geográfica de la zona, la disponibilidad temporal de especies hidrobiológicas para el muestreo y la falta de investigaciones previas que permitan análisis comparativos longitudinales. A pesar de ello,

constituye un aporte pionero para la zona, proporcionando información científica útil para las autoridades ambientales, sanitarias y de gestión territorial.

El informe se estructura en capítulos que abordan: (ii) el planteamiento del problema, (iii) el marco teórico, (iv) la metodología de campo y laboratorio, (v) resultados y discusión donde se evalúa el riesgo ecológico según lineamientos del MINAM, la guía ERSa y la base ECOTOX de la USEPA, (vi) conclusiones y (vii) recomendaciones, donde se enfatiza la necesidad de realizar campañas informativas sobre el consumo de *Pseudorinelepis genibarbis* y *Rhamdia quelen*, así como el análisis de la relación entre los factores estresantes (metales pesados) y las características morfológicas y comportamentales de las especies hidrobiológicas, atendiendo su vínculo directo con el consumo humano.

II. Planteamiento del problema

2.1. Descripción y formulación del problema

2.1.1. Descripción de la realidad problemática

A nivel internacional, la contaminación por metales pesados como mercurio (Hg) y plomo (Pb) constituye una problemática ambiental de alcance global debido a su persistencia, movilidad y capacidad para generar toxicidad en matrices ambientales, afectando a las poblaciones humanas y a ecosistemas expuestos (Aguirre et al., 2021; PNUMA, 2019). Estos contaminantes (metales pesados) incrementan los procesos de bioconcentración y bioacumulación en organismos acuáticos, comprometiendo la seguridad alimentaria y la integridad de la biota (Jordán & Mosquera, 2020; Martínez, 2017), siendo la biota acuática un indicador para estudios de riesgo que permite identificar factores estresantes y evaluar el impacto sobre receptores ecológicos expuestos de forma continua en ambientes contaminados (Ali & Khan, 2019). En Sudamérica, se reporta que 173 ríos presentan impacto por actividades mineras, incrementando los niveles de metales pesados transportados a ecosistemas acuáticos (Deltier et al., 2023). Esta situación ha generado bioacumulación tóxica en tejidos de peces (Taslina et al., 2022), de las poblaciones amazónicas expuestas a Hg y Pb, estableciendo una relación directa entre minería, contaminación metálica y riesgo para la salud humana (Ministerio del Ambiente, 2013). Problemas similares han sido identificados en la Amazonía ecuatoriana, donde especies como *Brachyplatystoma rousseauxii*, *Plagioscion squamosissimus* y *Zungaro zungaro* superan los límites establecidos por la OMS debido a la presencia de metales pesados (Echevarría et al., 2024).

A nivel nacional, la minería constituye una de las actividades económicas más relevantes; sin embargo, genera impactos ambientales significativos, especialmente en la

biodiversidad acuática y en el riesgo ecológico asociado (Attigbe et al., 2020). A pesar de ser uno de los países con mayor disponibilidad de recursos hídricos (Martínez, 2017), los cuerpos de agua presentan una elevada presión por contaminación metálica derivada de actividades extractivas, destacando la presencia de Pb y Hg que, al superar los Estándares de Calidad Ambiental, representan un riesgo ecológico considerable dada su persistencia y escasa biodegradabilidad (Minaya et al., 2021; Wu et al., 2025). Las especies hidrobiológicas expuestas a estos contaminantes presentan concentraciones que, superan los límites nacionales e internacionales para consumo humano, afectando la salud pública (Eduarte et al., 2022), como en Puerto Maldonado donde el 60 % de los peces consumidos superan los valores permitidos para Hg (Ministerio del Ambiente, 2013) y en Cerro de Pasco, donde Pb y Hg generan toxicidad ambiental y la bioacumulación progresiva en peces (Minners, 2021).

A nivel local, en las comunidades quechuas y k'ana de Espinar se presenta exposición a metales pesados por actividades mineras, afectando tanto la salud como el equilibrio ecológico (OXFAM, 2023). Asimismo, la ZEE de Quispicanchis señala que la cuenca del río Araza posee condiciones favorables para desarrollar actividad minera (Instituto de Manejo de Agua y Medio Ambiente, 2007). Esto ha generado un incremento en la carga de sedimentos y metales pesados en el río, según Montaña, OjoPúblico (2024), entre 2010 y 2021 los sedimentos suspendidos aumentaron en 400 %, frente a esta problemática socioambiental, surge la necesidad de evaluar la concentración de Pb y Hg en agua y en tejido muscular de peces en la cuenca media del río Araza, a fin de determinar el riesgo ecológico asociado.

Tomando en consideración los escenarios negativos, induce a incrementos en la toxicidad por bioacumulación a la red trófica, reduciendo la biodiversidad, afectando la estructura de la biota y función del ecosistema, deteriorando la calidad de agua, afectando

las actividades acuícolas y pecuarias que exponen a las poblaciones humanas metales tóxicos por consumo de peces contaminados, representando riesgos a la salud pública. Frente a estos escenarios se plantea la evaluación del riesgo ecológico como indicador de contaminación ambiental por metales pesados e implementar programas de monitores de calidad de agua y biota acuática; asimismo, la implementación de políticas de gestión ambiental y en salud pública. La investigación contribuye en cuanto a la obtención de datos pioneros en toxicología ambiental respecto a la determinación de riesgo ecológico por mercurio en la zona estudiada considerándose indispensables para la toma de decisiones ambientales, sanitarias y territoriales. Con ello se establece una base técnica y actualizada para reducir los riesgos ecológicos y proteger la salud de las comunidades que dependen de los recursos hidrobiológicos del río Araza.

2.1.2. Formulación del problema

2.1.2.1. Problema general

¿Cuál es el riesgo ecológico por concentración de metales pesados (Pb y Hg) en peces en la cuenca media del río Araza en el tramo del km 175 al 185, Quispicanchis - cusco 2024?

2.1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es la bioacumulación de metales pesados (Pb y Hg) en tejido muscular de peces para el cálculo del riesgo ecológico en la cuenca media del río Araza en el tramo del km 175 al 185, Quispicanchis - Cusco 2024?
- ¿Cuál es la exposición ambiental de los peces a factores estresantes (Pb y Hg) en la cuenca media del río Araza en el tramo del km 175 al 185, Quispicanchis - Cusco 2024?

- ¿Cuál es el índice de toxicidad por plomo (Pb) en especies análogas de peces en la estimación del nivel de riesgo ecológico en la cuenca media del río Araza en el tramo del km 175 al 185, Quispicanchis - Cusco 2024?
- ¿Cuál es el índice de toxicidad por mercurio (Hg) en especies análogas de peces en la estimación del nivel de riesgo ecológico en la cuenca media del río Araza en el tramo del km 175 al 185, Quispicanchis - Cusco 2024?

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo general

Evaluar el riesgo ecológico por concentración de metales pesados (Pb y Hg) en peces en la cuenca media del río Araza en el tramo del km 175 al 185, Quispicanchis - Cusco 2024.

2.2.2. Objetivos específicos

- Determinar la bioacumulación de metales pesados (Pb y Hg) en tejido muscular de peces para el cálculo del riesgo ecológico en la cuenca media del río Araza en el tramo del km 175 al 185, Quispicanchis - Cusco 2024.
- Determinar la exposición ambiental de los peces a factores estresantes (Pb y Hg) en la cuenca media del río Araza en el tramo del km 175 al 185, Quispicanchis - Cusco 2024.
- Determinar el índice de toxicidad por plomo (Pb) en especies análogas de peces en la estimación del nivel de riesgo ecológico en la cuenca media del río Araza en el tramo del km 175 al 185, Quispicanchis - Cusco 2024.

- Determinar el índice de toxicidad por mercurio (Hg) en especies análogas de peces en la estimación del nivel de riesgo ecológico en la cuenca media del río Araza en el tramo del km 175 al 185, Quispicanchis - Cusco 2024.

2.3. Justificación e importancia

2.3.1. Teórica

La presente investigación se justificó debido a que surge la necesidad de comprender cómo la exposición de metales pesados (Pb y Hg) influye en la biota acuática debido a actividades naturales y antrópicas. Las fuentes científicas indican impactos sobre la biodiversidad y la salud humana, pero con escasa información referente a la cuenca del río Araza. La investigación aporta conocimientos técnicos-científicos al generar datos de concentraciones de Pb y Hg en tejidos musculares de peces y agua, necesarios para la evacuación de riesgo ecológico (MINAM, 2015), permitiendo vincular los factores estresantes (metales pesados), rutas de exposición y los receptores ecológicos que se integran en la toxicidad ambiental. Se realiza la investigación para ampliar la base científica de la gestión ambiental y consolidar evidencia para futuras investigaciones en toxicología ambiental.

2.3.2. Práctica

Presenta justificación práctica, debido a que se fundamenta en la aplicación de metodologías establecidas y debidamente aprobadas por organismos nacionales e internacionales, como prácticas adecuadas para la obtención de muestras de los recursos hídricos e hidrobiológicos en base al Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de Recursos Hídricos Superficiales (R.J. N° 010-2016-ANA) para agua, contrastando la calidad del agua con los ECA agua (Cat. 4 - E2) aprobada por D.S. N°

004-2017-MINAM y a los métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos y necton en aguas continentales del Perú (MINAM;UNMSM, 2014) para peces, contrastando las concentraciones de metales pesados con los límites máximos permisibles para consumo humano establecidos por el Códex alimentarius, SANIPES, UE y el Ministerio de Producción; finalmente se utiliza la guía metodológica ERSA del MINAM (2015) como herramienta para estimar el nivel de riesgo ecológico que permiten sustentar acciones de fiscalización, control y prevención en áreas afectadas.

2.3.3. Social

Presenta justificación social, por estar dirigido a salvaguardar la salud del medio ambiente y del ser humano, incorporando análisis acreditados por el INACAL para la validación de los datos recopilados, y reportar los hallazgos a la población local para la prevención de los posibles riesgos socioambientales. La investigación ofrece a las comunidades un insumo científico para exigir la intervención de autoridades, promover prácticas productivas seguras y reducir la exposición a contaminantes tóxicos.

2.3.4. Ambiental

La investigación presenta justificación ambiental, debido a que permite identificar el nivel de riesgo ecológico por presencia de metales pesados en el ecosistema acuático, teniendo a los peces como unidad de análisis de la investigación por contaminación de metales pesados representando un indicador de contaminación, dando como aporte al proporcionar datos esenciales para diseñar herramientas y estrategias de mitigación manejo ambiental y restauración, garantizando la calidad socioambiental de las poblaciones aledañas.

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

El riesgo ecológico por concentración de metales pesados (Pb y Hg) en peces es “No aceptable” en la cuenca media del río Araza en el tramo del km 175 al 185, Quispicanchis - Cusco 2024.

2.4.2. Hipótesis específicas

- La bioacumulación de metales pesados (Pb y Hg) en tejido muscular de peces es mayor o igual a los valores de referencia para el cálculo de riesgo ecológico en la cuenca media del río Araza.
- La exposición ambiental de los peces a factores estresantes (Pb y Hg) es mayor o igual a los ECA agua (cat. 4) en la cuenca media del río Araza.
- El índice de toxicidad por plomo (Pb) en especies análogas de peces estima un nivel de riesgo ecológico “No aceptable” en la cuenca media del río Araza.
- El índice de toxicidad por mercurio (Hg) en especies análogas de peces estima un nivel de riesgo ecológico “No aceptable” en la cuenca media del río Araza.

2.5. Variables

- **Variable independiente:** Concentración de metales pesados
- **Variable dependiente:** Riesgo Ecológico

Tabla 1*Operacionalización de variables de estudio*

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de Medición
Variable Independiente: Concentración de metales pesados (Pb y Hg)	Los metales pesados son contaminantes de alta densidad que presentan una toxicidad relativa en seres vivos (MINAM, 2016), se encuentran en cuerpos de agua y sedimentos produciendo un incremento en la concentración y bioacumulación en los organismos, debido a la contaminación por exposición ambiental a metales que expulsan las actividades mineras, agricultura y otras, afectando a organismos acuáticos (Baladi et al., 2021; Márquez et al., 2008; Moscoso, Sánchez & Espinoza, 2021).	Se realizará la interpretación de la concentración de metales pesados en tejido muscular de las especies muestreadas y las muestras de agua de la cuenca media del río Araza, puesto que los metales pesados contaminan las fuentes de agua verificados por normativa (ECA agua) y a los peces que son base alimenticia de las poblaciones amazónicas en base a límites de concentración para su consumo (Correa, 2021; Jordán & Mosquera, 2020; Ministerio del Ambiente, 2013).	Toxicidad	Toxicidad aguda (CL ₅₀ y EC ₅₀)	mg/L
				Toxicidad crónica (NOEC)	mg/L
			Bioacumulación	Concentración de Pb total en músculo por ICP-MS	mg/kg
				Concentración de Hg total en músculo por ICP-MS	mg/kg
			Exposición ambiental	Concentración de Pb disueltos en agua por ICP-MS	mg/L
				Concentración de Hg disueltos en agua por ICP-MS	mg/L

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de Medición
Variable Dependiente: Riesgo Ecológico	Es la probabilidad de que el medio ambiente presenten efectos adversos sobre los receptores ecológicos debido a factores estresantes ambientales que provienen de sitios contaminados que son utilizados para determinar si el ecosistema colindante o exterior puede estar afectado negativamente. (EPA, 2024; Alaska Department of Environmental Conservation, s.f.)	Se realizará el cálculo del riesgo ecológico en las especies de peces debido a la exposición a metales pesados en agua (factores estresantes) (ISES Europe, s.f.)	Receptor ecológico (Peces)	Tejido muscular ICP-MS	mg/kg
			Factores estresantes (medio acuático)	Plomo (Pb) Mercurio (Hg)	mg
			Nivel de Riesgo	Riesgo aceptable Riesgo no aceptable	Adimensional Escala

Nota. Cuadro de operacionalización de variables

III. Marco teórico

3.1. Antecedentes

3.1.1. A nivel internacional

Aragón (2024) realizó su investigación en cuanto a la bioacumulación de metales pesados en la raya mariposa *Gymnura marmorata* (Cooper, 1864) capturada en Santa Rosalía, Golfo de California, como indicador de contaminación, en dicha investigación optaron por determinar las concentraciones de mercurio (Hg), cadmio (Cd), cobre (Cu) y zinc (Zn) en individuos de *G. marmorata*, que fueron capturados por pesca artesanal, además de evaluar el riesgo a la salud humana por su consumo, para dicha investigación obtuvieron muestras de hígado y músculo de 65 individuos, para determinar la concentración de los metales se utilizó el espectrómetro de absorción atómica, concluyeron que solo el 20% superaron la norma europea para el Cd ($0.05 \mu\text{g/g}$) y en cuanto al riesgo por consumo de la *G. marmorata* en el que se consideró la Tasa de Ingesta Semanal, se determinó un consumo seguro para la salud humana.

Andriyono et al. (2024) relizaron su investigación sobre la evaluación de riesgos ecológicos de los productos pesqueros debido a metales pesados en la provincia de Java Oriental, Indonesia, el estudio se centra en la detección y el monitoreo de la acumulacion de metales pesados en productos pesqueros clave (camarón y pescado), ademas de evaluar la influencia de la contaminación en la seguridad alimentaria mediante indices de riesgo ecológico potencial (PERI), la ingesta diaria estimada (EDI), el cociente de riesgo objetivo (THQ) y el riesgo objetivo de cáncer (RT); Los muestreos se realizaron directamente de estanques de cultivo y fueron transportadas a laboratorio

para su análisis, también se recolectaron muestras de agua y sedimento con tres replicas en cada punto de muestreo para su respectivo análisis mediante un espectrómetro de masas de plasma de acoplamiento inductivo (ICP-MS, Thermo Electron Corporation, X SERIES, East Lyme, CT, EE. UU.), utilizando dicho instrumento para detectar plomo (Pb), cadmio (Cd) y mercurio (Hg). Tuvieron como conclusiones que el plomo supera los niveles en la especie mero, la especie bagre superó los niveles de cadmio y mercurio; mencionan que según las directrices ambientales y de seguridad alimentaria (FAO y USEPA) todas las especies son aptas para el consumo humano; además se menciona que el consumo de pescado y camarones de Java no representan un riesgo para la salud humana, pero limitar el consumo en la población joven.

Tang et al. (2023) realizaron su investigación sobre la evaluación del riesgo ecológico de los organismos acuáticos inducido por metales pesados en las aguas estuarinas del río Perla, dado al crecimiento de la industria y la población y la descarga de metales pesados al océano, encontrando As, Cu, Pb, Zn y Hg en nueve puntos de muestras de agua por el espectrómetro de masas de plasma acoplado inductivamente, encontrando relación con la sensibilidad de las especies de peces, crustáceos y moluscos generando curvas SSD (Proporción de especies afectadas aumentó rápidamente a medida que la intensidad de los estresores aumentó (concentración de metales pesados en las aguas)) por solo superar valores de CE4 de unas pocas especies de la base de datos ECOTOX de la EPA de EEUU. Indicando que el contenido de As, Pb y Hg en las muestras de agua tuvo poco efecto en algunos organismos seleccionados, pero Cu y Zn fueron peligrosos representando un riesgo ecológico para los organismos acuáticos como en los crustáceos *Temora stylifera*.

Mancilla et al. (2023) investigaron sobre las concentraciones de metales pesados en agua y macroinvertebrados acuáticos en la cuenca hidrográfica del río Ayuquila-

América de México, para lo cual se utilizó espectrometría de emisión atómica, utilizando plasma acoplado inductivamente con el Perkin Elmer 5300 Optima ICP, dando como resultado que LMP en agua superan solo mercurio (Hg) y plomo (Pb) representando el 60% del área estudiada y que los máximos permisibles en macroinvertebrados superan seis metales como mercurio (Hg), metaloide arsénico (As) como los más representativos, así influenciando en sus parámetros fisicoquímicos siendo el pH y el caudal los que tienen mayor relevancia, dando así a conocer programas de compensación ambiental con fin de preservar la cuenca alta como un área de recarga de acuíferos para promover la importancia de la buena calidad ecológica de los ríos y estudios de toxicología sobre las concentraciones letales de metales pesados que perjudican a las especies de peces que se consumen en la zona.

Brito et al. (2022) realizaron su investigación basada en la evaluación de la contaminación por metales pesados del río Cuchipamba, Morona Santiago; en las que se basaron en evaluar la contaminación por metales pesados del río Cuchipamba mediante análisis fisicoquímico del agua que fueron obtenidas en cuatro puntos ubicados a lo largo del río, ubicado en la parroquia El Ideal de la provincia de Morona Santiago; en el laboratorio se analizaron los metales como mercurio (Hg), arsénico (As) y plomo (Pb) para luego ser comparados con los límites permisibles de la norma ecuatoriana; finalmente concluyeron que existe contaminación por metales pesados ya que el plomo presentó valores elevados, debido a la posible presencia de minería ilegal y la falta de tratamiento de las aguas residuales.

3.1.2. A nivel nacional

Veramatus et al. (2023) investigaron sobre el mercurio en peces y el riesgo ecotoxicológico para peces y aves piscívoras de Madre de Dios en la Amazonía peruana,

las cuales se basaron en evaluar el impacto de las MAPE en el riesgo ecotoxicológico, por exposición a mercurio (Hg) de peces y aves piscívoras que habitan el río Madre de Dios, en dicha investigación se colectaron muestras de peces de un muestreo de seis puntos, tres en el cauce principal del río Madre de Dios y uno en cada tributario (Chilive, Colorado e Inambari), el análisis de mercurio total en las muestras se realizó en el laboratorio de mercurio y química ambiental (LAMQA) ubicado en el Centro de Investigación Roger Beuzeville Zumaeta del Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP) en Puerto Maldonado, teniendo como conclusión que las cantidades de mercurio se incrementan en peces de las áreas mineras, además que los peces carnívoros presentan las concentraciones más altas de mercurio, sugiriendo que existe una biomagnificación en la cadena alimenticia local, además que el consumo de casi el 50% de los peces colectados (< 40 cm) en sitios con minería podrían ocasionar un deterioro reproductivo en aves piscívoras pequeñas y medianas.

Rodriguez & Sucuitana (2021) desarrollaron el trabajo de investigación referida al estudio de la concentración de metales pesados, como el arsénico, cadmio, mercurio y plomo, en el agua para consumo humano en el departamento de Arequipa, en las que se basaron en evaluar la concentración de dichos metales en el agua para consumo humano y compararla con los LMP del D.S. N° 031-2010-SA-MINSA, también con los LMP establecidos por la OMS, dicho trabajo de investigación se desarrolló en las provincias de Arequipa, Islay, Camaná, Condensuyos, Castilla y Caravelí, además que recolectaron los datos mediante un análisis documental utilizando técnicas de lectura rápida y analítica, usando las fichas de registro de datos, además de la observación sistemática indirecta y para el análisis estadístico utilizaron Microsoft Excel. El trabajo reveló que las concentraciones de mercurio superan los LMP establecidos por el D.S. N° 031-2010-SA-MINSA, en la provincia de Caravelí con un 0.0699 mg/L y que

también supera los LMP establecidos por la OMS en la misma provincia.

Panduro et al. (2020) desarrollaron una investigación referida a la bioacumulación por mercurio en peces y riesgo por ingesta en una comunidad nativa en la amazonia peruana, basándose principalmente en evaluar la biomagnificación por Hg en peces y el riesgo que trae consigo la ingesta de los mismos, el trabajo se realizó con la población de una comunidad nativa de 22 familias de 119 habitantes, además que la colecta de los peces se realizó del río Abujao considerándose las especies más consumidas por la comunidad, para determinar el mercurio se realizaron mediante espectrofotometría de fluorescencia atómica, dicha investigación concluyo mencionando que la concentración de mercurio en el músculo de los peces amazónicos aumenta en la estación húmeda en comparación a la seca, por inundaciones de los cuerpos de agua en la amazonia, las cuales incrementan la metilación del mercurio promoviendo la bioacumulación del mercurio en la fauna acuática, además que existe una eficiencia del 100 % de convertir el Hg en MeHg por consumo de los peces, por cuanto también se indicó que la exposición de la comunidad nativa es extremadamente alta, debido al uso masivo y dependencia del pescado en sus dietas alimenticias la especie huasaco (*Hoplias malabaricus*) es consumida en un 45% por la comunidad nativa, pero no fue tomada en cuenta para la determinación de mercurio, pero de las especies más consumidas, la que mayor concentración de mercurio tiene es la mota (*Calophysus macropterus*), con un 0.13 µg/g en estación húmeda y de 0.19 µg/g en estación seca, siendo la que tiene los mayores niveles de mercurio.

Toribio & Solano (2020) realizaron su investigación en la evaluación de la concentración de mercurio (Hg) y plomo (Pb) en bonito (*Sarda chiliensis chiliensis*) y caballa (*Scomber japonicus peruanus*) expendido en el terminal pesquero de Ventanilla de la región de Lima en el año 2019, basándose principalmente en determinar la

concentración de mercurio y plomo en las especies antes mencionadas y comparar sus concentraciones de mercurio y plomo con los límites establecidos por el Codex Alimentarius, SANIPES y Unión Europea, utilizaron el método deductivo y se analizaron muestras de pescados expendidos en el terminal pesquero de Ventanilla, como instrumento utilizaron los reportes de los análisis de las muestras remitidas por el laboratorio del Centro de Información, Control Toxicológico y Apoyo a la Gestión Ambiental (CICOTOX) de la UNMSM, en dicho trabajo concluyeron que las muestras de bonito (*Sarda chiliensis chiliensis*) poseen una concentración media de mercurio de 0.279 mg/kg y de las muestras de caballa (*Scomber japonicus peruanus*) poseen una concentración media de mercurio de 0.162 mg/kg, indicaron que ambas especies se encuentran dentro de los límites máximos permisibles, pero en el caso del plomo en ambas especies se superaron los límites máximos permisibles según la normativa del Codex Alimentarius, SANIPES y Unión Europea, en un 10% para las muestras de bonito (*Sarda chiliensis chiliensis*) y en un 20% de las muestras de caballa (*Scomber japonicus peruanus*).

Vercauteren (2020) en su investigación sobre los Metales pesados (Pb, Hg y Cu) en hígado y músculo de los peces ispi (*Orestias ispi*) y carachi negro (*Orestias agassii*) del lago Titicaca en la región de Puno, basó su investigación en la investigación de la presencia y concentración de los metales pesados Pb, Hg y Cu en trazas en las especies ispi (*Orestias ispi*) y carachi negro (*Orestias agassii*), en músculo e hígado, que son consumidos por la población del altiplano, teniendo en cuenta los límites permisibles la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) para consumo humano, desarrollando esta investigación en la extracción de los iones por bombeo diferencial en una interfaz de vacío, en las que se separaron iones en relación de su masa-carga por un espectrómetro de masas con plasma de acoplamiento inductivo

y se cuantificaron por un multiplicador de electrones de canal para los tejidos de los peses, concluyendo de manera que para valores de plomo (Pb) y mercurio (Hg) no presentaron valores elevados en cuanto a la cantidad en los tejidos de los peces, por lo cual el cuerpo de agua no presentó contaminación por metales pesados Pb, Hg y Cu, ya que se encuentran por debajo de los límites de detección analítica a ($Pb \leq 0.00020$ mg/L, $Hg \leq 0.00005$ mg/L y $Cu \leq 0.00030$ mg/L), en las que se asumió que la baja conductividad durante la recolección de muestra de agua ha influenciado en la baja concentración de metales en los tejidos blandos de los ejemplares, por tanto los especímenes ispi (*Orestias ispi*) y carachi negro (*Orestias agassii*) no presentaron contaminación por metales pesados, que los hacen aptos para la alimentación de la población de Puno.

3.1.3. A nivel regional y local

Arriola et al. (2021) realizaron la evaluación de la concentración de metales pesados en pescados de la ciudad del Cusco dado que son una fuente principal de alimento poblacional, basando su investigación principalmente en evaluar los tejidos donde exista bioacumulación de metales pesados tales como Pb, Hg, Cd y As, utilizando el método de espectrofotometría de Emisión Óptica por plasma de acoplamiento inductivo ICP-OES y el método de espectrofotometría de Absorción atómica con vapor frío, determinando que la concentración de Cd fue 0,2 mg/kg en la cabeza de jurel y en el músculo se detectó 0,09 mg/kg de Hg, estando dentro de los límites máximos permisibles y las concentraciones de Pb, Cd y As encontradas en el músculo del jurel y trucha están por debajo de los niveles de concentración permisibles indicados por los organismos internacionales, así concluyéndose que la especie de menor riesgo para el consumo es la trucha.

Quispe (2021) Realizó su investigación relacionada a la biomagnificación por mercurio y plomo en el tejido muscular trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en el río Salado del distrito de Pallpata en el año 2021, enfocando su investigación en evaluar la bioacumulación de mercurio (Hg) y plomo (Pb) en el tejido muscular de la especie mencionada; para el muestreo se determinaron cuatro puntos de monitoreo del río Salado, la captura fue mediante pesca eléctrica y la determinación del mercurio se dio mediante el método de ensayo EPA method 200.3 Rev. 1 April (1999) / EPA Method 6020 B Rev. 2 July (2014) de determinación de metales: mediante el procedimiento de preparación de muestras para la determinación espectroquímica de elementos recuperables en tejido biológico por ICP-MS, dicha investigación mostró que las concentraciones de metales (Hg y Pb) en el tejido muscular de las truchas arcoíris no superan lo indicado por la normativa, por las que no afectan la salud de la población que usa dicho recurso biológico para su consumo.

3.2. Bases teóricas

3.2.1. Minería

Es toda actividad en la que se desarrollan los procesos de reconocimiento, exploración y explotación de productos mineros, también considerada como aquella actividad de índole industrial que permite y facilita la extracción y obtención de sustancias mineras sólidas como pueden ser los minerales, combustibles y otras fuentes utilizadas como energía; sustancias líquidas como el petróleo y sustancias gaseosas como el gas natural, que existen en la corteza terrestre, las cuales son transformadas en materias primas y otros minerales como productos energéticos que permiten cubrir las necesidades de las naciones para el desarrollo de la humanidad (Herrera, 2017), donde las actividades mineras desarrolladas en la zona de estudio por los pobladores son

extractivas, obteniendo minerales que son liberados al ecosistema sin control ambiental, generando presencia de metales pesados en los cuerpos de agua, como menciona Jordán & Mosquera (2020) y Cornejo & Pacheco (2009) la presencia de metales pesados se deben a actividades mineras informales desarrolladas a lo largo de los ríos.

3.2.1.1. Minería aurífera artesanal o aluvial

Es aquella actividad que no proviene de vetas o zonas sin bosque (Kuramoto, 2001), en las que el mineral se encuentra en superficies altas (quebradas y laderas), fangos y suelos a consecuencia de fenómenos naturales (erupciones volcánicas, precipitación, terremotos, otros) se distribuye el mineral a lo largo de los cauces, zonas ribereñas o tierras secas y no posee mucha profundidad por no provenir del subsuelo (Ministerio del Ambiente, 2016), destruyendo la biodiversidad como los bosques amazónicos y disminuyendo en cantidad/calidad los recursos naturales disponibles para los seres vivos (Kuramoto, 2001).

En la zona de estudio se presenta la minería que no proviene de vetas, ya que las obtienen de las laderas que distribuyen los metales hacia los ríos, afectando a los individuos de los poblados más cercanos.

3.2.2. Fases toxicocinéticas

3.2.2.1. Exposición

En todo fenómeno tóxico se diferencian tres fases, las cuales son la exposición, la toxicocinética y la toxicodinámica, la exposición es la fase en la que los productos químicos entran en contacto con el ser vivo y por ende tienen la capacidad de que puedan ser absorbidos por el organismo del ser vivo expuesto, esta absorción se denomina al proceso por el cual el tóxico ingresa a la sangre y puede ser distribuido por todo el organismo del ser vivo (Salsamendi et al., 2022). En la investigación la fase de

exposición se desarrolla por el contacto de los metales pesados presentes en el ecosistema con los peces, ya que estos pueden bioacumular dichos metales.

Al ser el contacto entre el factor estresante y el objetivo, se puede medir mediante la concentración o cantidad en la que un agente específico alcanza a un organismo, sistema o población, con una duración y frecuencia de exposición definida (ISES Europe, s.f.). Para fines de la investigación, dicha concentración que alcanza al organismo (peces) es la cantidad de metal pesados disuelto en agua del río Araza.

3.2.2.2. Biodisponibilidad ambiental

Es la proporción del total de la masa que tiene un contaminante y que se encuentra hallada en un espacio ambiental, este puede encontrarse en forma química (biodisponible) que puede ser absorbida por organismos vivos para luego producir un efecto adverso biológico, dicho espacio ambiental puede encontrarse en fase sólida, gaseosa, acuosa y en biota, es por ello que los factores influyen sobre la biodisponibilidad de los contaminantes presentes (Carriquiriborde, 2021). Como menciona el autor, los metales pesados se encuentran biodisponibles de manera orgánica e inorgánica en el ecosistema, teniendo la capacidad de ser absorbidos por los organismos (peces).

3.2.2.3. Biotransformación

Cuando un contaminante ingresa a la estructura de un organismo, este puede ser biotransformado o modificado por la acción biológica de microorganismos que actúan con diferentes enzimas, dicha biotransformación puede ayudar a la eliminación, secuestro, detoxificación, redistribución o hasta incluso la activación del contaminante, potenciando su toxicidad en el organismo o derivando su toxicidad al medio ambiente.

En el caso de los metaloides y metales, también pueden ser biotransformados,

biomineralizados o también secuestrados, en cuanto a la capacidad de algunas bacterias de metilar o etilar el metal, siendo el caso específico de la transformación del mercurio iónico a metilmercurio. De entre las distintas transformaciones los metales pueden ser secuestrados por algunas proteínas específicas como pueden ser las metalotioleínas y las fitoquelatinas (plantas), que son proteínas muy bajas en peso molecular y con grandes cantidades de cisteína (Carriquiriborde, 2021).

3.2.2.4. Bioacumulación

Consiste en un incremento progresivo, secuencial de la cantidad de un compuesto químico en la estructura de un ser vivo, también es denominado como el proceso por el cual la cantidad de un compuesto químico se ve incrementado en los organismos que pertenecen a una cadena alimentaria, a medida que sube la cadena trófica se presencia una mayor bioacumulación hasta llegar al predador que se encuentra en la cima, siendo éste quien tendrá la máxima concentración (Salsamendi et al., 2022).

En relación a la investigación, los metales pesados tienen la capacidad de bioacumularse en los peces y afectar progresivamente a la cadena trófica.

3.2.2.5. Toxicodinámica

Se denomina así al conjunto de reacciones que tienen lugar desde el instante en el que el tóxico entra en contacto o interacciona con su receptor biológico, estos hechos tienen lugar cuando se interactúa la estructura activa del xenobiótico con una molécula endógena, que esta puede ser una proteína estructural, un ácido nucleico, un enzima o también los lípidos, a consecuencia de dicha interacción se presentan lesiones que pueden ser primarias (a nivel bioquímico o molecular) o puede ser una lesión celular, desde la perspectiva estructural, se puede ver afectada la membrana plasmática de los órganos celulares o hasta el citoesqueleto de las células, desde la perspectiva funcional,

se puede llegar a alterar las funciones generales de las células o también específicas; ambas perspectivas conllevan a alteraciones a nivel celular, ya siendo a nivel estructural y funcional (Salsamendi et al., 2022). Concordando con el autor, las reacciones tóxicas por interacción de los metales pesados y los peces, presentan cambios estructurales que afectan el crecimiento de las especies.

3.2.2.6. Toxicidad

Es la capacidad de una sustancia química de producir efectos adversos sobre un organismo, a consecuencia de una ruta de exposición a determinada dosis, concentración y durante un periodo de tiempo (ATSDR, 2024), para fines de la investigación, la sustancia química que puede llegar a producir efectos adversos sobre los organismos (peces) son los metales pesados que llegan por el medio acuático. La toxicidad se clasifica en toxicidad aguda y crónica.

La toxicidad acuática es el estudio de los efectos que causan las sustancias químicas sobre las especies acuáticas de los tres niveles tróficos: plantas (algas), invertebrados (crustáceos) y vertebrados (peces) (U.S. EPA, 1994).

3.2.3. Metales pesados

Cúmulo de elementos químicos que poseen relativamente una alta densidad (mayor a 5 g/cm^3) y acorde a su peso atómico que se encuentra comprendido entre 63.55 u y 200.59 u (MINAM, 2016), además presentan una toxicidad relativa para los seres humanos, plantas y animales, tales como mercurio (Hg), cadmio (Cd), plomo (Pb), cromo (Cr), manganeso (Mn), cobre (Cu), plata (Au), zinc (Zn), níquel (Ni) y arsénico (As) (Moscoso et al., 2021), estos metales tienen la capacidad de provocar cambios estructurales y evolutivos debido a sus efectos dañinos (Ministerio de Salud, 2023) como en el caso de los peces, que se llegan a ver comprometidos con el normal

desarrollo corporal, entre sus características se encuentran que: son parte de la corteza terrestre, pueden incorporarse al cuerpo humano por medio de los alimentos, el aire, el agua y otras formas; estos metales no pueden ser biodegradables o eliminados de los organismos en condiciones normales, químicamente ni biológicamente, más bien son bioacumulados y biomagnificados a medida que se avanzan en las cadenas alimenticias, provocando efectos adversos en los organismos expuestos (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Sf.).

En el libro de las estadísticas sanitarias mundiales realizadas por la OMS en el 2010, incluye a los metales As, Pb, Cd y Hg entre las 10 sustancias químicas de interés para la salud pública (OMS, 2010).

3.2.3.1. Contaminación por metales pesados

La contaminación por dichos metales se ve incrementada en el tiempo, debido al desarrollo industrial que incrementan los niveles de concentración de los metales pesados en agua y suelos del ambiente (Moscoso et al., 2021), también se ve incrementada por diferentes actividades antropogénicas que incrementan sus niveles de concentración en especies acuáticas, entre los principales focos contaminantes se encuentra la minería, la agricultura y otras formas de industria, en Latinoamérica la contaminación se relaciona directamente con el uso de las fuentes energéticas no renovables que provocan daños en los suelos, aire y agua (Benítez et al., 2015), de estos los principales metales contaminantes son el plomo y el mercurio, que son utilizados en la explotación minera, generando efectos perjudiciales importantes para la salud humana y el medio ambiente, así como en los sistemas acuáticos, a consecuencia de diversos procesos de desgaste y erosión que se ven desprendidos naturalmente (Rivera & Moccetti, 2018), muchos de estos metales son vitales para los organismos, pero en cantidades traza, como lo son el cobre y el zinc, pero estas cantidades no deben ser

excedidas o estar en deficiencias puesto que pueden ser perjudiciales para los organismos, por su toxicidad que presenta y su capacidad para acumularse (Arrieta et al., 2016; Rojas & Romero, 2018).

3.2.3.2. Toxicidad por metales pesados

Los metales tóxicos son un grupo de elementos químicos dependiendo a las concentraciones a las que se encuentren se determina una cierta toxicidad para el ser humano (Cota et al., 2023) así como también para las especies acuáticas, estos metales poseen una mayor toxicidad por los iones y compuestos de los metales, ya que forman compuestos orgánicos que pueden llegar a adherirse a algunos órganos, permaneciendo por mucho tiempo en el cuerpo humano causando efectos adversos y generando intoxicación en el ser humano, siendo un problema de salud capaz de producir efectos tóxicos, como daños cerebrales, lesiones óseas, daños al riñón, hígado y pulmones, hasta pueden llegar a afectar el sistema nervioso central, el sistema reproductor e inmune, producir cáncer y la consecuente muerte (Instituto Nacional de Higiene Rafael Rangel, 2017).

- **Toxicidad aguda**

En este tipo de ensayos se expone al organismo a probar a unas condiciones determinadas de la sustancia tóxica que pueden garantizar una respuesta en tiempos cortos en relación al ciclo de vida del organismo, puesto que el ciclo de vida varía de especie a especie, se considera adecuado poner a prueba durante 48 y 96 horas o hasta incluso prolongarse durante semanas, hasta 2 o 3 semanas, en este tipo de ensayos generalmente no se llega a encontrar altas concentraciones de los contaminantes analizados, pero puede ayudar a inferir el origen de las fuentes contaminantes, además de brindar las bases para establecer la sensibilidad adecuada y relativa de los organismos (Ramírez C. A., 2021).

Esta toxicidad muestra la fatalidad de las sustancias tóxicas (metales pesados) en los organismos (peces), que evalúa los efectos a corto plazo que son medibles con la Concentración efectiva media (CE_{50}) con unidades de mg/L y la Concentración Letal Media (CL_{50}) con unidades de mg/L (U.S. EPA, 1994), en la investigación se utilizó la CE_{50} para peces.

- **Toxicidad crónica**

Estos ensayos se realizan en largos periodos de tiempo, en las cuales se estudian los efectos subletales de alteraciones en el metabolismo de los organismos acuáticos, ya sean el crecimiento, la reproducción, la respiración, la fotosíntesis, el comportamiento y otras en las que muchas generaciones de organismos fueron expuestas a sustancias tóxica (Ramírez C. A., 2021).

En la investigación se utilizó este índice de toxicidad para obtener la concentración sin efecto observado (NOEC) que depende de los factores de concentración del metal pesado, que son utilizados en estudios de toxicidad acuática crónica (OCDE, 1998).

3.2.3.3. Mercurio

El mercurio se encuentra en el medio natural por erosión de las rocas que contienen minerales con mercurio, también se encuentra por emisiones volcánicas y por actividades humanas como la combustión de petróleo y carbón, minería, producción de sustancias químicas, incineración de residuos y la extracción de oro, como de otros metales (Agencia Catalana de Seguridad Alimentaria, 2022) su símbolo químico es el Hg, con número atómico 80, un peso molecular de 200,6 g/mol, punto de fusión de -36,8 °C, presión de vapor de $1,22 \times 10^{-3}$ mm a 20 °C y con solubilidad en agua de 6×10^{-6} g/100 ml (25 °C), tiene una densidad de 13.456 g/ml y a los 20 °C la presión de vapor es de 0,00212 mm Hg, es un mal conductor del calor, pero buen

conductor de la electricidad (SOS ORINOCO, 2021; OPS, 2023), es un metal pesado potencialmente tóxico y muy venenoso en concentraciones bajas, no puede ser degradado o destruido por el organismo, se considera como uno de los tóxicos más peligrosos y puede ingresar al cuerpo humano por la ingesta de alimentos; todas las presentaciones del mercurio se diferencian por la toxicidad que presentan y por los efectos que pueden causar, ya siendo efectos sobre el sistema nervioso e inmunitario o hasta en el aparato digestivo, la piel, los pulmones, los riñones y hasta en los ojos (MINAM, 2016) ya que presenta características altamente liposolubles y con gran capacidad de fijarse (unirse) a proteínas, además de ser bioacumulable en el organismo de las especies expuestas (Agencia Catalana de Seguridad Alimentaria, 2022).

3.2.3.4. Plomo

De manera natural el plomo se presenta como galena o sulfuros y se considera como el metal más abundante en la superficie terrestre, en el ambiente se encuentra de manera natural (Rivera, 2016), este metal es altamente tóxico y su presencia en el aire se debe principalmente a la minería, la industria, a la pintura y a la quema de combustibles, este metal se puede fijar en las plantas, suelo y agua; puede ser absorbido por la ingesta, piel o por inhalación, este queda depositado en riñones, hígado y en el sistema cardiovascular, este metal causa daño en las células y produce radicales libres, tiene la capacidad de reemplazar a cationes de calcio, magnesio, hierro y sodio, en las cuales se ve afectado el metabolismo celular, su exposición aguda causa cefalea, hipertensión, pérdida de apetito, alucinaciones, fatiga y vértigo, mientras que una exposición crónica genera retrasos mentales, pérdida de peso, hiperactividad, daño renal, debilidad muscular y daño neurológico, además que este metal tiene potencial cancerígeno (Moscoso et al., 2021).

Elemento químico con símbolo Pb, número atómico 82 y peso atómico 207.2

g/mol, es un metal pesado (densidad relativa, o gravedad específica, de 11.4 a 16 °C), de color azulado, es flexible, inelástico y posee su punto de ebullición a 1740 °C y punto de fusión a 327.5 °C (MITECO; LENNTECH, s.f.). Este metal no se considera esencial y se presenta en todas las fases del entorno inerte y en los sistemas biológicos, la cantidad en el ambiente fue incrementando por la acción antrópica, las principales fuentes de emisión del metal se dan en la fabricación de pigmentos, baterías, reactivos químicos, explosivos y otros como por la recuperación de metales, de combustible fósil y por fundir el mismo metal (Pájaro & Sánchez, 2016).

En cuanto a la salud, este metal puede afectar a la mayoría de los sistemas del organismo y órganos en general, siendo el más sensible el sistema nervioso, pudiendo generar encefalopatía con letargo, vómito, anorexias, embotamiento mental, irritabilidad y otras, pero con mayor magnitud en niños, además que puede disminuir la función cognitiva y puede aumentar los trastornos de conducta como la agresión, confusión y psicosis (Pájaro & Sánchez, 2016).

El plomo ingresa al organismo por las vías respiratoria, digestiva y cutánea, siendo la última muy escasa en comparación con la digestiva, el metal atraviesa la piel pasando por los folículos pilosos y glándulas sebáceas y sudoríparas directamente al torrente sanguíneo. Se elimina del cuerpo principalmente por la orina (80%) y de forma secundaria por heces, saliva y faneras. La semivida del plomo circulante es de unos 25 días, la del plomo de los tejidos blandos de unos 40 días y la del plomo depositado en los huesos puede ser de hasta 30 años (Rubio et al., 2004).

3.2.4. Peces

Tabla 2

Descripción de las especies muestreadas

Nombre científico	Nombre común	Taxonomía	Morfología	Características		
				Distribución y hábitat	Comportamiento y alimentación	Importancia ecológica
<i>Cetopsis coecutiens</i>	Bagre tiburón azul o Bagre ciego	• Reino: Animalia • Filo: Chordata • Clase: Actinopterygios • Orden: Siluriformes • Familia: Cetopsidae • Sub Familia: Cetopsinae • Género: Cetopsis • Especie: <i>Cetopsis coecutiens</i>	La especie presenta cuerpo alargado, comprimido lateralmente hacia la parte posterior con región dorsal arqueada y con perfil ventral del cuerpo convexo en el abdomen. Posee cabeza grande, ancha y deprimida con ojos pequeños, la boca ancha, terminal y mandíbula inferior proyectada hacia adelante, presenta numerosos dientes; la piel no posee escamas ni tampoco aleta adiposa. La especie es de coloración marrón o gris oscuro en el dorso y más claro hacia el	Se distribuye ampliamente en la cuenca del río Amazonas y Orinoco, en las que abarca países como Perú, Bolivia, Colombia, Brasil y Venezuela. Habita ríos que poseen corriente de entre moderada y rápida, prefiriendo	Considerada como especie carroñera y carnívora, que se alimenta de peces pequeños, algunos invertebrados acuáticos y también de restos orgánicos. Al poseer una agudez en el olfato localiza fácilmente alimentos y presas en aguas turbias.	La especie es importante en el ecosistema acuático puesto que controla las poblaciones de los peces pequeños e invertebrados, además de limpiar el medio, al alimentarse de la materia orgánica que está en descomposición. La especie es considerada “no apta” para el consumo humano.

			vientre. Es de tamaño de entre 15 – 30 cm y siendo los machos más delgados que las hembras.	fondos fangosos o arenosos.		
<i>Pseudorinelepis genibarbis</i> (Armbruster & Hardman, 1999) (Granada, Medina, Sebastián, Beltran, & Camilo, 2019) (Valenciennes, 1840)	Carachama	• Reino: animalia • Filo: chordata • Clase: Actinopterygii • Orden: Siluriformes • Familia: Loricariidae • Subfamilia: Rhinelepinac • Género: Pseudorinelepis • Especie: <i>Pseudorinelepis genibarbis</i>	La especie es de cuerpo robusto y alargado, dorsoventralmente en la región anterior y comprimido hacia el péndulo caudal, de cabeza grande, ancha y cubierta por placas óseas, presenta boca ventral en forma de ventosa, con dientes en forma de espátula. De coloración pardo oscuro a negro, con tonalidades marrones. Es de tamaño de hasta 50 cm de longitud.	La especie se distribuye a lo largo de la cuenca del río Amazonas, entre los países de Perú, Ecuador y Brasil; en zonas cálidas y templadas. Habita en pequeños arroyos o ríos de corriente lenta, así como grandes ríos y, también en lagos aluviales y de clima tropical.	En cuanto a su comportamiento se le considera como gregaria puesto que, generalmente se le encuentra agrupado. En cuanto a su alimentación esta especie la compone de detritos y materia vegetal que frota de las superficies sumergidas utilizando su boca. (forma de ventosa).	Su importancia yace en el controlar el incremento desmedido de las algas y en mantener óptima la calidad del agua en su hábitat natural. La especie es considerada “apta” para el consumo humano.
<i>Rhamdia quelen</i> (Oyala,	Bagre sapo o Bagre negro	• Reino: Animalia • Filo: Chordata • Clase: Actinopterygii	La especie es de cuerpo alargado, cilíndrico en la parte anterior y comprimido hacia el pedúnculo caudal,	La especie se encuentra desde Argentina hasta Venezuela,	Posee hábitos nocturnos, es por ello que presenta una mayor actividad por	Controla las poblaciones de invertebrados y de algunos peces de

Hernández, & Ayarza, 2010) (Quoy & Gaimard, 1824)	• Orden: Siluriformes • Familia: Heptapteridae • Género: <i>Rhamdia</i> • Especie: <i>Rhamdia quelen</i>	con cabeza aplastada dorsoventralmente, ancha y medianamente grande con ojos pequeños situados lateralmente, posee una boca terminal y amplia con labios carnosos, de piel desnuda sin escamas y con mucosa. La especie es de coloración variada, de gris oscuro a marrón verdoso, con flancos claros y vientre blanquecino. Su tamaño alcanza los 60 cm y con un peso aproximado de 2 a 3 kg.	abarcando gran parte de América del Sur Habita tanto en ríos, lagos y arroyos, algunas especies empezaron a vivir en cuevas presentando características morfológicas distintas como la reducción en los ojos y en su pigmentación.	las noches para alimentarse. Es una especie omnívora, pero con preferencias carnívoras en las que incluye a crustáceos, insectos y peces.	menor tamaño, siendo muy vital en la dinámica trófica de lugares donde habita Posee gran capacidad de adaptarse a nuevos ambientes como cuevas. La especie es considerada “apta” para el consumo humano.
Rineloricaria reisi (Almirón, Casciotta, Piálek, Ruiz, & Ricán, 2014) (Ghazzi, 2008)	• Reino: Animalia • Filo: Chordata • Clase: Actinopterygii • Orden: Siluriformes • Familia: Loricariidae • Género: Rineloricaria • Especie: <i>Rineloricaria reisi</i>	La especie es de cuerpo alargado y aplanado dorsoventralmente, con cabeza aplanada triangular cubierto por placas dérmicas óseas, con boca ventral en forma de ventosa y dientes en forma de espátula, su cuerpo posee hileras de placas dérmicas excepto en el abdomen y con cola con prolongación filamentosa. La especie presenta una coloración marrón claro o	La especie se encuentra en la cuenca del Amazonas, en los países de Brasil y Perú. Habita aguas dulces que posean fondos rocosos o arenosos, en donde se pueden adherir y	considerada como una especie alguívoro y detritívoro, así como también se alimenta de materia orgánica en descomposición y de algas de raspa de las partes profundas Posee hábitos nocturnos, por lo que es más activo durante las noches, utiliza su boca para adherirse y	Ayuda en el control de algas y de materia orgánica, manteniendo un equilibrio ecológico, es por ello que su presencia se considera como indicador de calidad de agua puesto que es sensible a cambios bruscos en su

			amarillenta con manchas oscuras o moteado en la cabeza, cuerpo y aletas. Su tamaño oscila entre los 8 y 12 cm.	también alimentarse.	resistir a elevadas corrientes de agua.	ecosistema. La especie es considerada “no apta” para el consumo humano
Ancistrus marcapatae (Regan, 1904)	Bagre con bigotes	• Reino: Animalia • Filo: Chordata • Clase: Actinopterygii • Orden: Siluriformes • Familia: Loricariidae • Género: Ancistrus • Especie: Ancistrus marcapatae	La especie presenta cuerpo cubierto de placas óseas, aplanado ventralmente y alargado, con boca succionadora ventral, con dientes cúspides primarias alargadas y tentáculos faciales (región cefálica), posee aleta pectoral. Presenta tonalidades marrones o grises con patrones moteados. El tamaño aproximado es de 12.4 cm.	La especie es endémica de Perú, con presencia en el río Inambari. Habita en ríos con corriente moderada y de agua dulce, además con la característica de lugares arenosos o rocosos en las que puedan adherirse y alimentarse.	Son especies detritívoras y herbívoras, en las que se alimentan de materia orgánica y algas que las obtienen gracias a su característica boca. Son considerados peces nocturnos y durante el día se esconden bajo rocas, son territoriales y con mayor intensidad en temporadas de reproducción.	Controlan el crecimiento descontrolado de algas en su hábitat, además que mantienen un equilibrio ecológico al disminuir la materia orgánica presente, también considerado como indicador ambiental puesto que es sensible a cambios bruscos en su hábitat. La especie es considerada “no apta” para el consumo humano.

Nota. Adaptado en base a fuentes bibliográficas, la tabla describe el nombre científico, nombre común y las características de las especies muestreadas en campo.

3.2.4.1. Tejido muscular de pez

El tejido muscular de peces se compone de músculos estriados que poseen células de sarcoplasma, consta de tres fibras musculares: lentas, rápidas e intermedias (Fig. 1), representando el 98% de la masa total del pescado (FAO, 1998). El tejido muscular (o porción comestible) de los peces se considera como un indicador para estudios de bioacumulación de factores estresantes ambientales ya que el músculo evidencia la exposición total a través del entorno acuático y al contener concentraciones significativas de metales pesados como mercurio (Hg), cadmio (Cd) y plomo (Pb), los cuales pueden superar los límites máximos permisibles para el consumo humano, representando un riesgo al medio ambiente y a la salud pública (EFSA, 2020).

Figura 1

Tipos de tejido muscular en peces



Nota. En base a EFSA (2020) se muestran los tipos de tejido muscular de peces: fibra muscular roja (lenta), fibra muscular moderado (intermedio) y fibra muscular rápida (blanco).

3.2.4.2. Valores de referencia de metales pesados en peces

Según a la Autoridad Nacional de Sanidad e Inocuidad en Pesca y Acuicultura, SANIPES (2010) en el manual de indicadores o criterios microbiológicos de seguridad alimentaria e higiene para alimentos y piensos de origen pesquero y acuícola, revisado en el 2010 por la División de Control Sanitario del Medio Ambiente Acuícola.

En dicho manual se menciona en la Tabla N° 15 de dicho manual, que trata sobre los contenidos máximos permitidos de metales pesados en productos pesqueros y acuícolas de consumo humano directo, teniendo lo siguiente:

Tabla 3

Valores de referencia de metales pesados - SANIPES

Elemento	Producto	Contenido Máximo (mg/kg peso fresco)
Mercurio	a. Productos de la pesca y carne de pescado, excepto de las especies indicadas en la letra b.	0.5
	b. Carne de los siguientes pescados: Bonito (<i>Sarda sarda</i>), anguila (<i>Anguilla spp.</i>), marlin (<i>Makaira spp.</i>), gallo (<i>Lepidorhombus spp.</i>), raya (<i>Raja spp.</i>), tiburón (todas las especies), pez espada (<i>Xiphias gladius</i>), atún (<i>Thunnus spp.</i> , <i>Euthynnus spp.</i>) y barrilete (<i>Katsuwonus pelamis</i>).	1.0
Plomo	a. Carne de pescado	0.3
	b. Crustáceos, excluida la carne oscura del cangrejo, así como la cabeza y el tórax de la langosta (<i>Palinuridae</i>) y de crustáceos similares de gran tamaño.	0.5
	c. Moluscos bivalvos	1.5
	d. Cefalópodos sin vísceras	1.0

Nota. Extraído de SANIPES (2010), la tabla determina los valores de referencia de metales pesados contenidos en especies acuáticas según el SANIPES, acorde a la normativa peruana.

Para el caso de la comisión del Códex Alimentarius, en el tema 17 del programa en conjunto de la FAO/OMS sobre las normas alimentarias y el comité del códex sobre aditivos y contaminantes de alimentos, en su 37° reunión en La Haya, presentaron el documento de debate sobre el nivel de mercurio y metilmercurio en el pescado (Codex Alimentarius, FAO, OMS, 2005), siendo así en el anexo de dicho documento que se presenta la siguiente tabla:

Tabla 4

Valores de referencia de mercurio - *Códex alimentarius*

Producto	Nivel de referencia del Codex (mg/kg de peso neto)
1. Pescado y productos pesqueros, salvo las especies enumeradas en el punto 2 siguiente.	0.5 mg/kg
2. Especies:	
• Alfonsinos (especie <i>Beryx</i>) • Rapes (especie <i>Lophius</i>) • Perro del norte (<i>Anarhichas lupus</i>) • Espetones (especie <i>Sphyræna</i>) • Perca gigante (<i>Lates calcarifer</i>) • Bonito (<i>Sarda sarda</i>) • Mielga (<i>Squalus acanthias</i>) • Anguilas (especie <i>Anguilla</i>) • Reloj anaranjado o atlántico, reloj mediterráneo (especie <i>Hoplostethus</i>) • Granadero (<i>Coryphaenoides rupestris</i>) • Meros/chernas (especie <i>Serranidae</i>) • Fletán (<i>Hippoglossus hippoglossus</i>) • Marucas (<i>Molva species</i>) • Carité lucio (<i>Scomberomorous cavalla</i>) • Marlines (especie <i>Makaira</i>) • Gallos (especie <i>Lepidorhombus</i>) • Salmonetes (especie <i>Mullus</i>) • Lucio (<i>Esox lucius</i>) • Tasarte (<i>Orcynopsis unicolor</i>) • Capellán (<i>Tricopterus minutes</i>) • Pailona (<i>Centroscymnes coelolepis</i>) • Rayas (especie <i>Raja</i>) • Gallinetas (<i>Sebastes marinus</i>, <i>S. mentella</i>, <i>S. viviparus</i>) • Pez vela (<i>Istiophorus platypterus</i>) • Pez cinto, sable negro (<i>Lepidopus caudatus</i>, <i>Aphanopus carbo</i>) • Besugos/brecas (especie <i>Pagellus</i>) • Tiburón (todas las especies) • Escolar negro, escolar, escolar de canal (<i>Lepidocybium flavobrunneum</i>, <i>Ruvettus pretiosus</i>, <i>Gempylus serpens</i>) • Esturiones (especie <i>Acipenser</i>) • Pez espada (<i>Xiphias gladius</i>) • Blanquillos (<i>Lopholatilus</i>, <i>Caulolatilus</i>, <i>Hoplolatilus</i>, <i>Malacanthus</i>)	1.0 mg/kg

-
- Atún (especies *Thunnus*, especie *Euthynnus*, *Katsuwonus pelamis*)
-

Nota. Extraído de Codex Alimentarius, FAO & OMS (2005), la tabla determina los valores de referencia para el mercurio en especies acuáticas según la normativa internacional del Codex Alimentarius en conjunto con la FAO y OMS.

Para la Unión Europea respecto a los límites de los niveles de metales pesados en los peces, según el Reglamento (UE) 2022/617, que modifica el Reglamento (CE) N° 1881/2006 que concierne al contenido máximo de metales pesados en pescado y sal (Unión Europea, 2022). En este Reglamento se presentan los nuevos siguientes límites:

Tabla 5

Valores de referencia de mercurio - Unión Europea

Producto	Contenido máximo (mg/kg de peso neto)
Carne de las siguientes especies de pescados:	
• Aligote (<i>Pagellus acarne</i>)	1 mg/kg
• Marta negra (<i>Aphanopus carbo</i>)	
• Besugo (<i>Pagellus bogaraveo</i>)	
• Bonito (<i>Sarda sarda</i>)	
• Breca (<i>Pagellus erythrinus</i>)	
• Escolar negro (<i>Lepidocybium flavobrunneum</i>)	
• Fletán (especie <i>Hippoglossus</i>)	
• Rosada del Cabo (<i>Genypterus capensis</i>)	
• Marlín (especie <i>Makaira</i>)	
• Gallo (especie <i>Lepidorhombus</i>)	
• Escolar (<i>Ruvettus pretiosus</i>)	
• Reloj anaranjado (<i>Hoplostethus atlanticus</i>)	
• Rosada (<i>Genypterus blacodes</i>)	
• Lucio (especie <i>Esox</i>)	
• Tasarte (<i>Orcynopsis unicolor</i>)	
• Capellán (<i>Trisopterus minutus</i>)	
• Salmonete de fango (<i>Mullus barbatus barbatus</i>)	
• Granadero (<i>Coryphaenoides rupestris</i>)	
• Pez vela (<i>Istiophorus platypterus</i>)	
• Sable plateado (<i>Lepidopus caudatus</i>)	
• Escolar de canal (<i>Gempylus serpens</i>)	

-
- Esturión (especie *Acipenser*)
 - Salmonete de roca (*Mullus surmuletus*)
 - Atún (especie *Thunnus*, especie *Euthynnus*, *Katsuwonus pelamis*)
 - Tiburón (todas las especies)
 - Pez espada (*Xiphias gladius*)
-

Para las siguientes especies:

- Anchoa (especie *Engraulis*)
- Abadejo de Alaska (*Theraga chalcogramma*)
- Bacalao (*Gadus morhua*)
- *Clupea harengus* arenque)
- Pez basa (*Pangasius bocourti*)
- Carpa (especie perteneciente a la familia *Cyprinidae*)
- Lenguadina (*Limanda limanda*)
- Caballa (especie *Scomber*)
- *Platichthys flesus* (Planta de la Platic)
- Solla (*Pleuronectes platesa*)
- Espadín (*Sprattus sprattus*)
- Pez gato del Mekong (*Pangasianodon gigas*)
- Abadejo (*Pollachius pollachius*)
- Carbonero (*Pollachius virens*)
- Salmón y trucha (*Salmo* especie y *Oncorhynchus* especie, excepto *Salmo trutta*)
- Sardina (*Dussumieria* spp., *Sardina* spp., *Sardinella* spp. y *Sardinops* spp)
- Lenguado europeo (*solea solea*)
- Pez gato iridiscente (*Pangasianodon* hipotálamo)
- Merlan (*Merlangius merlangus*)

0.3 mg/kg

Para productos de pesca y carne de pescado no mencionadas en los puntos anteriores

Para los crustáceos el contenido se aplica a la carne de los apéndices y del abdomen. 0.5 mg/kg

Para los cangrejos y crustáceos similares se aplica a la carne de los apéndices.

Para complementos alimenticios y la sal 0.10 mg/kg

Nota. Extraído de Unión Europea (2022), la tabla determina los valores de referencia para el mercurio en especies acuáticas según la normativa internacional de la Unión Europea.

Tabla 6*Valores de referencia de plomo - UE*

Producto	Contenido máximo (mg/kg de peso neto)
Carne de pescado	0.30
Cefalópodos	0.30
Crustáceos	0.50
Moluscos bivalvos	1.50

Nota. Extraído de Unión Europea (2022), la tabla determina los valores de referencia para el plomo en especies acuáticas según la normativa internacional de la Unión Europea.

3.2.5. Cuenca hidrográfica

Es aquella zona geográfica, área territorial por la que fluye una corriente de agua, ya sean que drenan superficies agrícolas que son atravesadas por ríos o hasta cuencas grandes o también denominadas lacustres, que están delimitados por parteaguas ubicadas en las partes más altas de las montañas (SEMARNAT, 2013); la cuenca fluvial es un sistema de cuencas y microcuencas hidrográficas que son atravesadas por un río principal conjuntamente con sus tributarios o afluentes, en un mismo curso, desde el punto de origen que esta fuente hasta la desembocadura que puede ser otro río, laguna o el mar; cumplen servicios y funciones vitales como el suministro de agua dulce, el mantenimiento de la calidad del agua, regulación del flujo del mismo, suministro de energía, conservación de la biodiversidad, así como también de protección frente a fenómenos naturales y de los recursos naturales, también para la recreación de las poblaciones para cada desarrollo productivo del hombre (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2019).

3.2.5.1. Cuenca del río Araza

a) Características generales

La cuenca del río Araza comprende 4552.8 km² de área (Instituto de Manejo de Agua y Medio Ambiente, 2007) y se encuentra distribuido entre los distritos de Quincemil (Camanti) y Marcapata, se encuentra entre las siguientes coordenadas: 13°31' 20'' y 13°52'25'' de latitud y 71°16'20'' y 70°40'26'' de longitud oeste (ELECTRO ARAZA , 2013).

La cuenca posee una variación altitudinal desde selva alta, comprendida entre los 500 m.s.n.m., hasta una zona nival comprendida a más de los 5000 m.s.n.m. (Instituto de Manejo de Agua y Medio Ambiente & Centro Bartolomé de las Casas, 2007), posee 7 subcuencas con régimen permanente (Junjunta, Nusinisato, Camanti, Azulmayo, Japumayo, Socapata y Araza Alto), el recurso hídrico proviene del deshielo del nevado de Carabaya que suministra alta cantidad de agua en la parte superior de la cuenca que es la subcuenca del Araza Alto, además de que es suministrada por lluvias de la cuenca media y baja, ya que en estas zonas existen fuertes precipitaciones pluviales de manera frecuente las cuales son generalmente convectivas y varían acorde al nivel, quiere decir que las precipitaciones en las partes altas es reducida y va aumentando a medida que se baja por la cuenca, ya que presenta áreas de sierra, ceja de selva y selva con bajas transiciones en altura. El régimen de sus aguas es permanente, en las que en partes altas son caudalosos y en las partes bajas presentan bajas pendientes con aguas caudalosas que son aprovechados por la población para la extracción de oro en algunos lavaderos ubicados a orillas de los ríos, también aprovechados para generar energía eléctrica mediante minicentrales hidroeléctricas. (Instituto de Manejo de Agua y Medio Ambiente, 2007).

En la cuenca predomina la ceja de selva, por las cuales se tienen los productos como hortalizas, rocotos, piñas, plátanos, madera, piedras, oro, la pesca y el turismo (Instituto de Manejo de Agua y Medio Ambiente & Centro Bartolomé de las Casas, 2007), en la parte media de la cuenca se presentan bosques montañosos y húmedos que se extienden por los distritos de Marcapata y Camanti, ocupando 52,782 ha de terreno de la provincia, de manera general en el río Araza presenta un clima dominante de muy lluvioso semicálido, con precipitaciones anuales de 2000 a 6000 mm y con temperaturas medias mensuales de 24°C, también presenta climas fríos lluviosos con precipitaciones de entre 700 a 900 mm y temperaturas medias anuales de 8°C. (Instituto de Manejo de Agua y Medio Ambiente, 2007).

b) Minería en la cuenca Araza

La cuenca presenta recursos mineros metálicos, las cuales se encuentran en forma de rocas primarias como estaño, plomo, cobre, hierro, plata y oro; que están integradas en formaciones de placer aluvial en las playas del río Araza, principalmente se encuentran en los distritos de Ocongate, Carhuayo, Camanti y Marcapata, en las zonas de explotación del oro existe una vegetación perteneciente a bosque húmedo montañoso de vegetación ribereña. (Instituto de Manejo de Agua y Medio Ambiente, 2007).

c) Disponibilidad hídrica en las subcuencas del río Araza

Tabla 7

Disponibilidad hídrica en las subcuencas del río Araza

Nº	Subcuencas/Microcuencas	Disponibilidad Q (m^3/s)
1	Nusiniscato	57.00
2	Camanti	31.00
3	Araza Alto	10.00

4	Azulmayo	10.00
5	Junjumunta	8.50
6	Japumayo	7.00
7	Socapata	4.40
Total		127.90

Nota. Extraído del Instituto de Manejo de Agua y Medio Ambiente (2007), la tabla muestra la disponibilidad hídrica de las subcuencas del río Araza, siendo la subcuenca Nusiniscato la que mayor disponibilidad presenta con 57 m³/s y la subcuenca Socapata quien presenta menor disponibilidad con 4.40 m³/s.

d) Lagunas de la cuenca

En la cuenca existen lagunas con origen glaciar, que pertenecen al flanco oriental y estas se concentran en las subcuencas del Japumayo, Socapata y Camanti (Instituto de Manejo de Agua y Medio Ambiente, 2007).

Tabla 8

Principales lagunas de la cuenca del Araza

Nombre Laguna	Área (km²)	Perímetro (km)	% Que ocupa en la cuenca de 2° Orden
Ccomercocha	0.123	13.80	--
Misarumiyoc	0.117	15.66	8.49
Choquechanca	0.294	25.63	--
Huaroscocha	0.073	11.75	--
Yanacocha	0.053	10.91	0.74
Ranracocha	0.122	13.98	--
Espeniune	0.160	16.91	--
Muyupunco	0.093	13.25	8.09
Queliata	0.201	20.89	--
Quisacocha	0.477	29.30	--
Huallatani	0.201	24.87	--
Huamanytulluyuc	0.290	25.62	--

Tianacocha	0.139	15.04	--
Surucoicha	0.128	15.76	27.91
Pinaya	0.201	24.87	--
Condorsenca	0.290	25.62	--
Cochapata	0.139	15.04	--
Tinquicocha	0.128	15.76	--
Phuñani	0.124	14.14	--
Quellococha	0.365	28.79	--
Juchuycoline	0.042	7.83	0.59
Otros	3.380	--	47.34
Total	7.140	--	100.00

Nota. Extraído del Instituto de Manejo de Agua y Medio Ambiente (2007), la tabla muestra las principales lagunas de la cuenca del río Araza, siendo Quisacocha la laguna más grande con un área de 0.477 km² y la laguna Juchuycoline la más pequeña con un área de 0.042 km².

3.2.5.2. Río

Es una corriente que discurre o fluye naturalmente con agua a profundidad y de tamaños variables que se ubican en relieves planos o con pendientes suaves, hasta algunas con relieves muy accidentados y con grandes pendientes. Estos flujos de agua poseen un caudal variable durante las épocas del año, siendo muy bajos en épocas secas (estiaje), pueden verter sus aguas a otros cuerpos de agua como ríos más grandes de los cuales son tributarios, a lagos y hasta los mares u océanos, dicho flujo de agua depende de las lluvias y del deshielo de los glaciares, es característica del mismo denominarse como quebradas o arroyos cuando su nivel de caudal es escaso (Ministerio del Ambiente, 2018).

a) Río Araza

Es uno de los más importantes afluentes del río Inambari, el cual desemboca por la margen izquierda, nace al sur de Marcapata en el nevado de Yanaloma (6111 m.s.n.m.), la cuenca del río Araza presenta yacimientos auríferos que se encuentran a lo largo de su lecho (MINAG, ANA, DCPRH, ASUP, ALA MALDONADO, 2010), presenta las siguientes coordenadas 13°12'27" S y 70°31'27" W o -13.2075 y -70.5242 en grados decimales (GetaMap, Sf.).

El río presenta dos tramos que son morfológicamente diferentes, en las cuales el primer tramo se comprende entre los 1800 y 4600 m.s.n.m., ocupando unos 1200 km² con pendiente media del 5%, este tramo está confinado por laderas con fuertes pendientes, de cauce estrecho y con régimen torrencioso; un segundo tramo comprendido entre los 600 y 1800 m.s.n.m., con pendiente media de 0.20%, en las que el agua posee un caudal considerable y con pendientes suaves (ELECTRO ARAZA , 2013).

3.2.5.3. Calidad del agua

La calidad del recurso en ambientes acuáticos es aquel manejo de concentraciones, especificaciones y condiciones en las que se encuentra el recurso hídrico, ya sean respecto a sus características químicas, físicas y biológicas de las sustancias orgánicas e inorgánicas que puedan generar una alteración en su estado natural por acciones antrópicas, dicha calidad puede variar debido a variaciones en el tiempo y espacio por factores externos o internos del cuerpo de agua (Ramírez, 2021; Departamento de Estudios, Extensión y Publicaciones, 2016).

a) Según normativa peruana – ECA para agua

En nuestro país, para evaluar la calidad de los cuerpos de agua se encuentran regidos por los estándares de calidad ambiental (ECA), las cuales indican los niveles

que son aceptables en cuanto a las sustancias, elementos o parámetros físicos y químicos que se encuentran en el agua y que no presentan un riesgo para el ambiente o a la salud humana (D.S. N°004-2017-MINAM, 2017).

Los estándares de la normativa se encuentran agrupados por 4 categorías, para los ECA - agua, siendo detallados en la Tabla 9.

Tabla 9

Categorías del ECA – agua

Componente	Categoría – ECA agua
AGUA	Categoría 1: Poblacional y recreacional
	Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales
	Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales
	Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

Nota. Extraído del MINAM (2017), la tabla muestra todas las categorías que se encuentran en los ECA para agua, normado según el D.S. N° 004-2017-MINAM, en los que se muestran las concentraciones de parámetros físicos, químicos y biológicos los cuales no representan riesgos para la salud humana y el ambiente, asociados a cada categoría mostrada en la tabla.

Para efectos de la presente investigación se desglosa la categoría 4 de la Tabla 9 mostrándose en la Tabla 10, con el fin de manejar correctamente las subcategorías asociadas a la investigación.

Tabla 10

Subcategorías del ECA - agua

Categoría – ECA agua	Subcategoría
Categoría 4	• E1: Lagunas y lagos.
	• E2: Ríos (costa y sierra, Selva).
	• E3: Ecosistemas costeros y marinos (estuarios y marinos).

Nota. Extraído de MINAM (2017), en la tabla se encuentran desarrollada la subcategoría 4 de los ECA para agua mostrados en el D.S. N° 004-2017-MINAM.

De la Tabla 10 se enfocó en la subcategoría E2 para la Cat. 4 de conservación del ambiente acuático en ríos de selva y se desarrollaron los ECA categoría 4, por tratarse de importancia para la presente investigación, que se encuentran detallados en la normativa peruana por D.S. N°004-2017-MINAM.

Tabla 11

Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

Parámetros Inorgánicos	Unidad de medida	E2: Ríos SELVA
Antimonio	mg/L	0,64
Arsénico	mg/L	0,15
Bario	mg/L	1
Cadmio Disuelto	mg/L	0,00025
Cobre	mg/L	0,1
Cromo IV	mg/L	0,011
Mercurio	mg/L	0,0001
Níquel	mg/L	0,052
Plomo	mg/L	0,0025
Selenio	mg/L	0,005
Talio	mg/L	0,0008
Zinc	mg/L	0,12

Nota. Extraído de MINAM (2017), la tabla presenta los ECA agua, para parámetros inorgánicos de categoría 4 – E2 (conservación del ambiente acuático para ríos de selva).

3.2.5.4. Contaminación del agua

La disponibilidad del recurso está directamente condicionado a la calidad del agua, ya que para minimizar los riesgos a la salud y al medio natural, este recurso debe ser fiable tanto en calidad como en cantidad, que provocan contaminación en las precipitaciones directas hacia las aguas subterráneas y superficiales; así como también los metales al ser sustancias peligrosas y tóxicas, ya que son bioacumulables en la biota acuática, producen efectos nocivos como malformaciones genéticas y el cáncer, su

presencia en los cuerpos de agua es por intervención humana principalmente por actividades industriales y explotaciones mineras, en las que el mercurio y el cadmio se las considera sustancias peligrosas prioritarias (Pérez & Picó, 2019).

3.2.6. Evaluación de riesgo ambiental

Es el proceso por el cual se determina si está presente una amenaza potencial que pueda comprometer la calidad del aire, agua y suelo, generando un peligro a la salud humana como consecuencia de la exposición a los tóxicos presentes en el medio, incluyendo los tóxicos generados por actividades industriales ajenas o por otras fuentes de contaminación (MINAM, 2010), además también considerado como una evaluación del riesgo de aquellos potenciales efectos de los impactos ambientales generados sobre el medio natural y los humanos. Tomando como referencia a Demetrio (2021), la presente evaluación implica un análisis en los efectos del medio natural, mas no en la salud humana de las poblaciones colindantes.

3.2.6.1. Riesgo ambiental

Es aquella probabilidad de la ocurrencia de un peligro y que afecte directa o indirectamente al ambiente y a su biodiversidad, siendo en un tiempo y lugar determinado, el cual posee origen antropogénico (humano) o natural (MINAM, 2010).

Considerando los efectos directos e indirectos de los metales pesados hacia las especies biológicas que generan efectos adversos, se puede determinar el riesgo ambiental por consumo de especies biológicas contaminadas; para fines de la investigación se consideró la evaluación del medio ecológico sin implicancia a la salud humana.

3.2.6.2. Riesgo ecológico

Se define como el proceso de identificar, evaluar, determinar y cuantificar la probabilidad de un determinado estrés para producir efectos ecológicamente perjudiciales, considerando los efectos potenciales en sus unidades ecológicas (Medio natural evaluado), se evalúa el riesgo sobre los receptores de preocupación o interés asociados con distintos estresores (entidad física, química o biológica con potencial de generar daño a los organismos vivos del medio evaluado) (Demetrio, 2021).

Es el proceso que consiste en evaluar la probabilidad de que el medio ambiente presente afecciones a consecuencia de una o más exposiciones a factores estresantes ambientales, como enfermedades, especies invasoras, cambios en el uso de tierra y productos químicos (EPA, 2024).

También definida como proceso científico que ayuda a determinar la probabilidad del daño causado a plantas y animales que pueden encontrarse expuestos a sustancias nocivas que provienen de sitios contaminados, las cuales se utilizan para estudios del cómo un animal o planta puede estar expuesto a contaminantes de su entorno y para determinar si el ecosistema colindante o exterior pueda estar afectado negativamente (Alaska Department of Environmental Conservation , s.f.).

Para efectos del cálculo del riesgo ecológico de la investigación, la fórmula es el cociente entre la concentración de la exposición esperada (CEE) y la concentración que no causa efectos sobre los organismos (NEC) que fueron extraídas de los procedimientos establecidos en las investigaciones de Planes & Fuchs (2015) y de la guía ERSA establecida por el MINAM (2015), teniendo la siguiente fórmula:

Fórmula del Riesgo Ecológico Calculado

$$\text{Riesgo (RQ)} = \frac{\text{CEE}}{\text{NEC}} \quad (1)$$

Donde:

- *RQ: Riesgo ecológico calculado*
- *CEE: Concentración de la exposición esperada*
- *NEC: Concentración que no causa efectos sobre los organismos*

Observaciones de la Ecuación (1):

- La CEE es aquella concentración a la cual el pez se encuentra expuesto en el medio acuático (valor de análisis de metal pesado en agua obtenido de laboratorio, [mg/L])
- La NEC es la concentración que no causa efectos sobre los organismos que posee su propia fórmula para calcularse, la cual es descrita en la Ecuación (2)

De la ecuación (1), del riesgo ecológico calculado, para el cálculo de la concentración que no causa efectos sobre los organismos (NEC), se emplea la siguiente fórmula:

Fórmula de la concentración que no causa efectos sobre los organismos

$$NEC = \frac{\text{Mayor NOEC o CE}_{50}}{\text{Factor}} \quad (2)$$

Donde:

- NOEC: Concentración efectiva no observable
- CE_{50} o EC_{50} : Concentración efectiva media

Observaciones de la Ecuación (2):

- El NOEC es la concentración en la cual no se observan efectos en la especie analizada y es obtenida de la base de datos del ECOTOX (Planes & Fuchs, 2015), representando la mayor concentración de metal pesado en la especie análoga.
- El CE_{50} o EC_{50} es aquella concentración en la que una sustancia provoca un efecto en la mitad de la población de especies expuestas al metal y este valor es obtenido de la base de datos del ECOTOX, representando la mayor concentración de metal pesado en la especie análoga.

- El factor o también denominado factor de seguridad son estándares en los cuales varían su valor de 10, 100 y 1000 (Callow & Forbes, 2003), no posee unidades (adimensional) y representa a la proporcionalidad inversa de la cantidad y calidad de datos de toxicidad que se disponga (Planes & Fuchs, 2015). Asimismo, Guo et al., (2020) menciona que para determinar el factor de seguridad que depende de las circunstancias específicas, la cantidad de especies y las cadenas tróficas, como se menciona en la siguiente tabla:

Tabla 12

Valores del factor de seguridad para derivar las concentraciones sin efecto previstas en función de la cantidad y el tipo de datos disponibles

N° de caso	Datos de toxicidad disponible	Factor de seguridad
1	Valores agudos de CL50 o CE50 disponibles para al menos 1 especie de 3 niveles tróficos (peces, dafnias y algas)	1000
2	Valores NOEC crónicos disponibles para 1 especie (pez o dafnia)	100
3	Valores NOEC crónicos disponibles para 2 especies de 2 niveles tróficos (peces, dafnias y/o algas)	50
4	Valores NOEC crónicos disponibles para 3 especies de 3 niveles tróficos (peces, dafnias y algas)	10
5	Valores NOEC crónicos disponibles para 3 filos y 8 familias disponibles utilizando el método SSD	1-5
6	Datos de toxicidad provenientes de observaciones de campo o simulación de sistemas ecológicos	Depende de las circunstancias específicas.

Nota. Extraído de Guo et al., (2020), se muestran los valores del factor de seguridad para toxicidad crónica y aguda, en función a la cantidad y tipo de dato disponible.

Interpretación del valor obtenido del riesgo (RQ)

Tabla 13

Interpretación del riesgo ecológico calculado (RQ)

Rango de Valores de RQ	Interpretación
$RQ \leq 1$	Riesgo aceptable
$RQ > 1$	Riesgo no aceptable

Nota. Extraído de Planes & Fuchs (2015) & MINAM (2015), en la tabla se muestra los rangos aceptables y no aceptables para la categorización del riesgo ecológico.

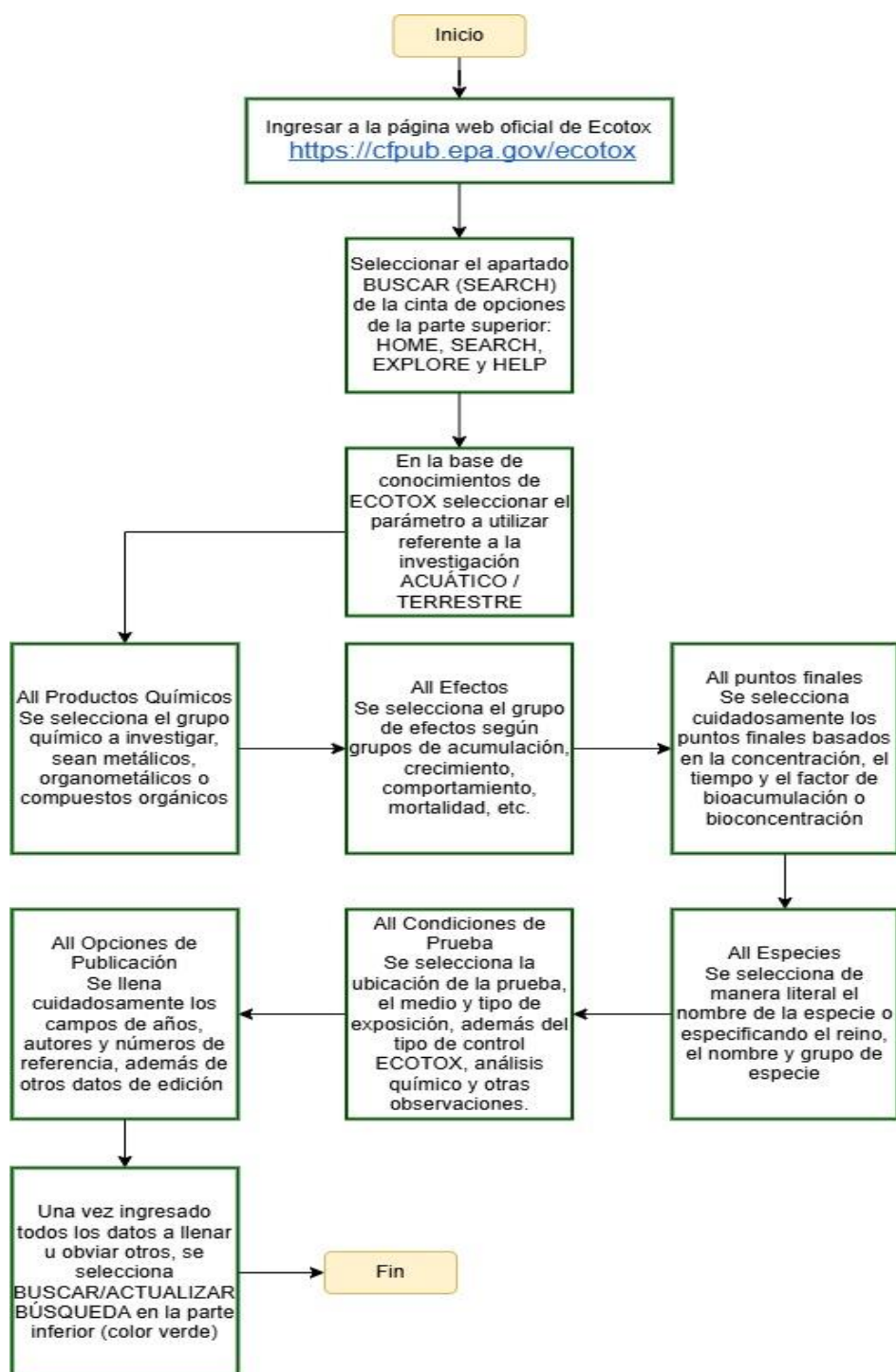
De la Tabla 13 se tiene en cuenta que el valor crítico para la categorización es 1, que tomaron como base la Guía para la elaboración de estudios de Evaluación de Riesgos a la Salud y el Ambiente dictado por el MINAM (2015).

3.2.6.3. Base de datos ECOTOX

Es una plataforma de conocimientos integrados que brinda datos respecto a toxicidad ambiental de sustancias químicas individuales en especies terrestres y acuáticas, además también considerado como una base de datos que contiene pruebas de toxicidad relevantes a nivel ecológico, para el cuidado del medio ambiente, para la investigación y evaluación de riesgos (EPA, 2024). Proporciona resultados de toxicidad ecológicamente relevantes a múltiples socios y aplicaciones, los resultados de ECOTOX brindan información sobre las tendencias históricas de las pruebas ecotoxicológicas, que respaldan el trabajo realizado en numerosos países de todo el mundo, la página de revisión está reconocida por la USEPA (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos) (Olker et al., 2022). Es importante mencionar que de no encontrarse las especies encontradas en la cuenca del río Araza, se pueden usar valores de CE50 o NOEC de especies análogas.

Figura 2

Recopilación de información de la base de datos del ECOTOX



Nota. El flujograma representa el procedimiento de la búsqueda de información de los datos de NOEC y CE₅₀ en las especies análogas para el cálculo del RQ.

3.3. Definición de términos

a) Ambiente Acuático:

Son ambientes que se localizan en cuerpos de agua, como por ejemplo los ríos, lagos, arroyos, lagunas, canales y esteros (MINAM, 2016).

b) Bioacumulación:

Es aquella concentración resultante de la acumulación en el ambiente o en tejidos de los organismos a consecuencia de la introducción, distribución y eliminación de contaminantes que se obtienen por rutas de exposición como son el agua, suelo, aire, sedimento y hasta por medio de los alimentos (MINAM, 2016).

c) Cadena de custodia:

Es aquel procedimiento documentado de la obtención de muestras, en el que se indican su transporte, conservación y la entrega de las muestras al laboratorio, para que se realicen las pruebas de análisis físico-químico, que es realizado por el personal especializado (MINAM, 2016).

d) Ecotoxicología:

Es aquel estudio que se realiza sobre poblaciones (son individuos de la misma especie), en comunidades (son un grupo de poblaciones de distintas especies) y ecosistemas, en las cuales las reacciones de los factores no controlados bióticos y abióticos, así como sus interacciones biológicas y sus respuestas a una contaminación se dirigen a una mayor complejidad en la que su interpretación es más complicada (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2021).

e) Efecto tóxico o respuesta tóxica:

Es cualquier cambio del funcionamiento normal de los organismos que pudieron haber sido producidas por la exposición a sustancias tóxicas, se consideran desviaciones significativas si los cambios son irreversibles o

permanecer durante mucho tiempo una vez que se haya terminado la exposición con el contaminante, el tipo de efecto tóxico que produce una sustancia se clasifica como: tóxicos para el normal desarrollo, además que pueden ser cancerígenos y no cancerígenos (MINAM, 2016).

f) Estándar de Calidad Ambiental:

Es aquella medida que establecen los niveles de concentración o los grados de sustancias, elementos o parámetros físicos, químicos y biológicos, que se encuentran presentes en el agua, aire o suelo, en condición de cuerpo receptor a manera que no representen riesgos para la salud ni para el ambiente, según sea el parámetro analizado, el grado o concentración de algunas sustancias se puede expresar, en rangos, mínimos o máximos (MINAM, 2016).

g) Exposición:

Co-ocurrencia del contacto entre el agente estresante y el componente ecológico (MINAM, 2016).

h) Factor estresante:

Es cualquier condición o factores físicos, químicos y biológicos, que modifica las condiciones y funciones normales de un organismo o ecosistema o inducirlo a respuestas adversas (ISES Europe, s.f.).

i) Impacto ambiental:

Es cualquier alteración, positiva o negativa de uno más de los componentes del ambiente, que provocado por la acción de un proyecto (MINAM & SENACE, 2018). También entendida como aquella modificación del ambiente que es ocasionada por acción natural o antrópica (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2018). Entendida también como aquella alteración de la calidad ambiental que resulta de modificar los procesos naturales o sociales que

fueron provocados por la acción humana, ya que el carácter dinámico del ambiente está netamente relacionado a las actividades humanas (Torrejón & Safra, 2014).

j) Muestreo:

Es aquella operación que consiste en sacar una cantidad de muestra muy representativa del cuerpo de agua que se desea investigar, en cuanto a la cantidad debe ser la adecuada para poder realizar las pruebas y análisis que se le desean realizar, además que la cantidad exacta y necesaria para poder ser trasladada al laboratorio para poderla analizar y que la cantidad de muestra no cambie apreciablemente en el transcurso del transporte (León, 2022).

k) Órgano diana:

Es aquel órgano principalmente afectado por el efecto tóxico (Salsamendi et al., 2022).

l) Puntos de exposición:

Son los lugares donde se puede encontrar la presencia de contaminantes y en la que los receptores pueden entrar en contacto con medios contaminados mediante las vías de exposición (MINAM, 2016).

m) Punto de muestreo:

Es aquel lugar o área determinada en el cual se toman las muestras, ya sean superficiales o a profundidad. (MINAM, 2016).

n) Receptor ecológico:

Es aquel organismo, población o comunidad biológica que se encuentra expuesta y afectado por contaminantes presentes en su entorno, seleccionados en base a su importancia ecológica, vulnerabilidad y representatividad en la cadena trófica o ecosistema de interés. Considerándose a los peces, aves y a seres bióticos del entorno que interactúan con el ecosistema contaminado (U.S. EPA, 1997).

o) Ruta de exposición:

Es aquel camino que prosigue un agente químico en el ambiente desde el lugar de procedencia (donde se emite) hasta el contacto con la población o individuo expuesto. El análisis de esta ruta describe la relación existente entre las fuentes y los receptores del contaminante, dichas rutas se denominan significativas si dan lugar a una exposición humana (MINAM, 2016).

p) Tóxico:

Una sustancia o agente peligroso que le puede hacer daño a un organismo expuesto (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, Sf.).

q) Toxicocinética:

Es aquel proceso que incluye la incorporación de un compuesto tóxico al cuerpo de un organismo receptor, su biotransformación, su distribución, sus metabolitos del tejido y su eliminación del cuerpo del organismo receptor (MINAM, 2016).

r) Toxicodinámica:

Es el proceso de interacción en la que los compuestos tóxicos con sitios disponibles a comparación y las consecuencias fisiológicas y bioquímicas que causan efectos adversos en el organismo (MINAM, 2016).

s) Vía de exposición:

Es el proceso mediante el cual un contaminante entra en contacto directo con el cuerpo, barreras o tejidos del organismo receptor, en el cual podrían ser por medio de la inhalación, ingestión o absorción dérmica (MINAM, 2016).

IV. Metodología

4.1. Tipo y nivel de investigación

4.1.1. Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo **básica** puesto que no se manipuló las dimensiones de la variable independiente de la investigación, buscando incrementar el conocimiento teórico dado al riesgo ecológico generado por las concentraciones de los metales pesados, sin la necesidad de aplicar soluciones inmediatas, además que genera aportes a la teoría existente para futuras investigaciones aplicadas. Según lo mencionado por Hernández et al. (2014) la investigación básica busca generar conocimientos y teorías, además que proporciona los fundamentos para la investigación aplicada.

En cuanto al enfoque metodológico de la investigación es **cuantitativo**, ya que se recolectan datos numéricos brindados por el laboratorio acreditado por INACAL (Interlabs International Laboratories S.A.C.), permitiendo medir variables de referencia y comparándolas con las normas nacionales e internacionales. Asimismo, según Hernández et al. (2014) dicho enfoque se basa en la recolección de datos numéricos, procesos y análisis estadístico para la prueba de hipótesis.

El diseño de la presente investigación es **observacional**, debido a que no se manipulan las variables de la investigación (tal y como se encontraron en el ambiente), éstas solo se registran para posteriormente ser analizadas (Tamayo y Tamayo, 2004). Es **transversal** ya que para la toma de datos de investigación se realizó en la segunda fase de la investigación, siendo un periodo único en el tiempo; la investigación es **no experimental** por no tener intervención sobre las variables ni en el entorno (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).

4.1.2. Nivel de investigación

La presente investigación es de carácter **correlacional-causal**, ya que al ser **correlacional** presenta causa (concentración de metales pesados) y efecto (riesgo ecológico), según lo mencionado por Hernández et al. (2014) este estudio mide la relación entre dos o más variables/categorías para determinar cómo se asocian o vinculan. Se menciona que es **causal** por buscar responder y/o explicar cómo la concentración de metales pesados influye en el riesgo ecológico, como lo menciona Hernández et al. (2014) este estudio busca responder las causas de los eventos y fenómenos físicos, además de explicar la ocurrencia de un fenómeno y cómo se manifiesta.

4.2. Ámbito temporal y espacial

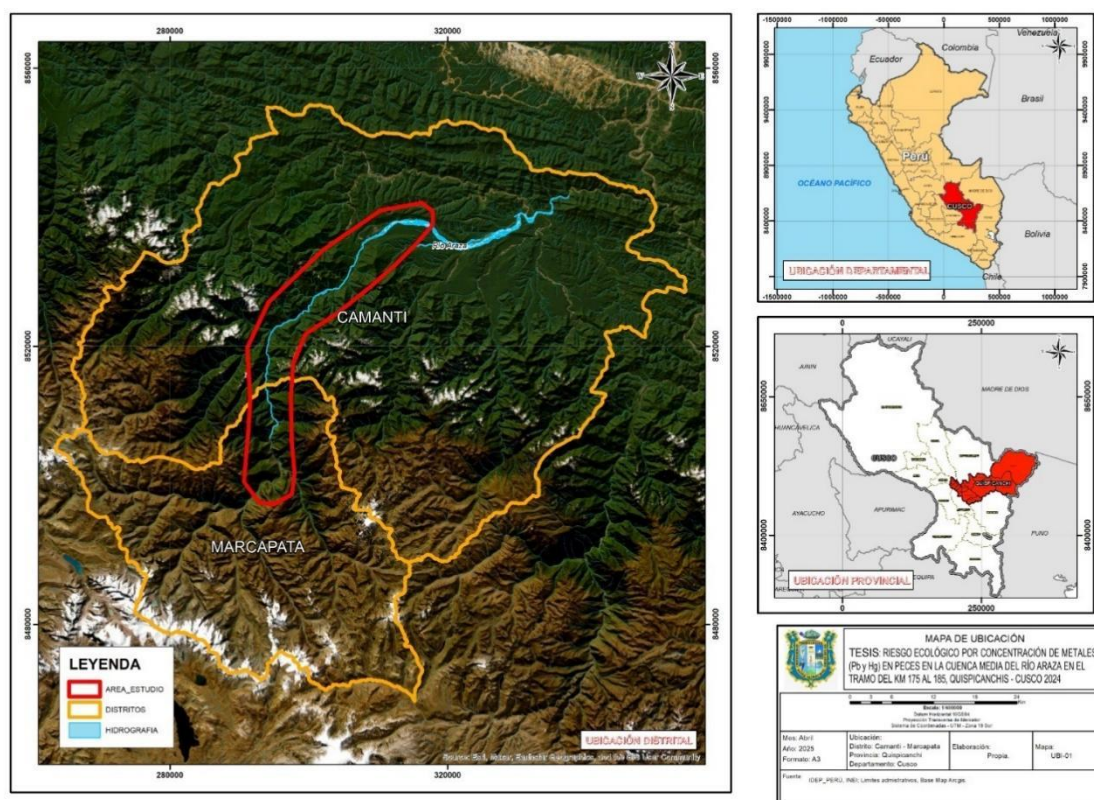
4.2.1. Espacial

Es presente estudio se realizó en la cuenca media del río Araza con coordenadas para el río Araza de 13°12'27" S y 70°31'27" W o las coordenadas: -13.2075 y -70.5242 en grados decimales, ubicado entre los poblados de Marcapata y Camanti de la provincia de Quispicanchis, región Cusco, de la carretera 30 C - Interoceánica Sur- Ruta Marcapata – Quincemil entre los kilómetros 175 a 185. En las cuales se tomaron 6 muestras de peces y 6 muestras de agua de río para el análisis de metales pesados, que fueron determinados en gabinete y ejecutados en la primera fase de reconocimiento de estudio, acorde a lo señalado en el protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales, en la fase de planificación del monitoreo iterativo 6.4. de dicho manual (ANA, 2016), asimismo según la guía metodológica de la USEPA, se aceptan 6 muestras de agua para evaluaciones exploratorias de metales pesados.

El análisis de las muestras obtenidas se desarrolló en el laboratorio InterLabs - International Laboratories S.A.C. de Lima, acreditada por el INACAL.

Figura 3

Área de estudio - río Araza



Nota. La imagen muestra el área de estudio de la primera visita de campo a los distritos de Marcapata y Camanti de la provincia de Quispicanchi.

4.2.2. Temporal

La presente investigación se desarrolló entre los meses de marzo del 2024 hasta febrero del 2025, de los cuales en el mes de mayo se realizó el primer reconocimiento del área de estudio y en setiembre se realizó la recolección de muestras de peces y agua del área de estudio, los datos de campo se tomaron en época seca o de estiaje, debido a la viabilidad para el ingreso al río por el bajo caudal, asimismo (Ahmen, Matsumoto,

Ozaki, Van, & Kurosawa, 2019) y (Ravilious, 2024) mencionan que durante el estiaje los ríos presentan mayor riesgo por la concentración de metales pesados debido a una menor capacidad de dilución y evaporación que incrementa las concentraciones de Pb y Hg en los cuerpos de agua, exponiendo al ecosistema y a las comunidades aledañas (Marcapata y Camanti) que depende de los recursos hidrobiológicos, representando escenarios críticos esencialmente útiles para la identificación del riesgo ecológico.

4.3. Población y muestra

4.3.1. Población

Según Hernández-Sampieri et al. (2014), la población es aquel conjunto total de individuos, elementos u objetos que tienen las mismas características comunes y que son el objeto del estudio de la investigación; en este sentido la población de la presente investigación está constituido por los peces del río Araza entre los tramos del km 175 al 185 de la carretera interoceánica sur (carretera 30 C – ruta Marcapata / Camanti), ubicada en la provincia de Quispicanchis del departamento de Cusco.

4.3.2. Muestra

Según Hernández-Sampieri et al. (2014) y Kumar & Kothari (2022), la muestra es un subconjunto o subgrupo representativo de la población o universo, que se selecciona por técnicas de muestreo, probabilísticos o no probabilísticos, que se extraen con el objetivo de inferir resultados sobre la población total; en ese sentido la presente investigación es probabilística con un muestreo aleatorio simple, donde todos los peces tuvieron la misma probabilidad de ser seleccionados y para el tamaño de muestra se tomaron 6 unidades de peces y 6 muestras de agua (1000 ml) debido a la precisión metodológica analítica (ICP-MS) y avalado por la guía metodológica de la USEPA,¹²⁵

que indica aceptable la cantidad de muestras para evaluaciones exploratorias de contaminación para establecer patrones preliminares de estudios de concentración de metales pesados.

4.3.3. Muestreo

Según Hernández-Sampieri et al. (2014) el muestreo es aquella técnica de selección de muestra representativa de la población, considerando al autor, la presente investigación es probabilística de muestreo aleatorio simple, que se realizó entre los tramos del km 175 al 185 de la carretera interoceánica sur (carretera 30 C – ruta Marcapata / Camanti).

Para la obtención de las muestras, tanto de peces y agua, se utilizaron los formatos de recopilación de datos brindados por el laboratorio (InterLabs - International Laboratories S.A.C) y la normativa vigente del SANIPES, y los formatos para el muestreo de agua según el protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales aprobado por Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA (ANA, 2016), considerando la fácil viabilidad de la obtención de las muestras, sus condiciones climáticas e hidrográficas.

➤ Unidad de análisis

Según Hernández-Sampieri et al. (2014) la unidad de analisis es el elemento o entidad específica sobre la cual se recolectan y analizan los datos de una investigación y es sujeto de una investigación, en ese sentido la presente investigación toma como unidad de análisis a los peces del río Araza entre los tramos del km 175 al 185 de la carretera interoceánica sur (carretera 30 C – ruta Marcapata / Camanti).

4.4. Instrumentos

- Fichaje
- Ficha de cadena de custodia
- Ficha de registro de datos de campo – agua - MINAM
- Ficha de registro de identificación del punto de monitoreo - MINAM
- Ficha de registro del muestreo biológico para peces - OEFA
- Etiquetas de rotulación de envases
- Fichas de informe de ensayo – Laboratorio InterLabs - International Laboratories S.A.C.

➤ Materiales

Para el desarrollo de la presente investigación se utilizaron una variedad de materiales para la recolección de muestras en campo, las cuales fueron:

- Materiales de escritorio
- Laptop
- Internet
- ArcGis/SAS planet
- Cuaderno de apuntes
- Implementos de bioseguridad
- GPS
- Cámara digital
- Recipientes esterilizados (botellas y táperes)
- Envases de plástico
- Anzuelo
- Cordel de pesca

- Otros materiales de pesca
- Caja cooler
- Balanza
- Cinta métrica/Regla
- Botas impermeables
- Guantes de neopreno
- Pinzas

4.5. Procedimientos

Para el desarrollo de la presente investigación se realizaron en tres fases, apoyados en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (ANA, 2016), se tiene:

A) Primera fase: Etapa de Premonitoreo

- Planificación del monitoreo: En esta sub fase se identificó el área propicia para la toma de muestras hídricas, apoyados en el SAS Planet y Google Earth, para la visualización de las rutas de acceso, áreas afectadas por minería y poblaciones/comunidades aledañas al río Araza. Asimismo, en trabajo de gabinete se realizó la obtención de información documentada para obtención de muestras de agua y muestras hidrobiológicas, tales como: el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los recursos hídricos superficiales (ANA, 2016) y los Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas en aguas continentales del Perú (MINAM, 2014).

Para el análisis de muestras se seleccionó el laboratorio Interntional InterLabs Laboratories S.A.C. de Lima, acreditado por el INACAL para la validación de los datos obtenidos y la obtención de los documentos de registro de datos de campo.

- Establecimiento de la red de puntos de muestreo: En esta sub fase se identificaron los posibles tramos de la cuenca media del río Araza para obtención de muestras.
- Parámetros de evaluación: Para esta sub fase se tomó en cuenta los parámetros inorgánicos (Pb y Hg).
- Preparación de materiales, equipos e indumentaria de protección: se enlistaron los EPP correspondientes a la toma de muestras y los materiales para la recolección de muestras según los documentos descritos en la sub fase planificación del monitoreo.

B) Segunda fase: Monitoreo I – Reconocimiento del entorno

Se realizó la primera visita a campo, que tuvo una duración de 1 semana, con la finalidad de identificar las características del área de estudio, como la coloración, tamaño, profundidad, caudal y especies de peces del río Araza, así como también con ayuda del GPS se visualiza el área para la delimitación de las zonas a estudiar según la clasificación de la cuenca e identificar a las poblaciones aledañas que se encuentran en la zona delimitada.

También se identificó posibles peligros y factores antropogénicos que puedan alterar los ecosistemas, en base a estos se identificaron los puntos de muestreo, basándose en la accesibilidad para la toma de muestras (Municipalidad Provincial de Quispicanchis, 2018).

Como resultado de la primera visita, se seleccionaron los puntos de muestreo para la segunda fase, las cuales son:

Tabla 14

Puntos de muestreo identificados

N° de muestra	Coordenada Identificada		Zona
	Este	Norte	
1	294456.323 E	8500360.897 N	19 L
2	293761.521 E	8513766.521 N	19 L

3	297290.046 E	8523737.514 N	19 L
4	305624.275 E	8530270.515 N	19 L
5	310299.106 E	8536261.244 N	19 L
6	312748.755 E	8537978.429 N	19 L

Nota. La tabla muestra las coordenadas de cada punto de muestra ubicada en la cuenca media del río Araza.

C) Tercera fase: Monitoreo II

Se realizó la segunda salida de campo desde la ciudad de Cusco hasta la cuenca media del Río Araza en los tramos 175 a 185 km de la ruta 30 C (Interoceánica Sur), considerando los puntos de la segunda fase de campo, en la que se recolectaron muestras de agua y de peces en puntos específicos, teniendo en total 12 muestras (6 muestras de agua y pez), esta fase se ejecutó desde el 20 al 23 de setiembre del 2024, considerando para ambas muestras los mismos puntos de monitoreo, detallados en la siguiente tabla:

Tabla 15

Coordenadas de los puntos de muestreo de agua y pez de la cuenca media del río Araza.

Coordenada	Muestras de agua	Muestras de peces
Este: 294456.323 E Norte: 8500360.897 N	RA-PC 1	RA-P-01 Especie de pez: <i>Cetopsis coecutiens</i>
Este: 293761.521 E Norte: 8513766.521 N	RA-A-01	RA-P-02 Especie de pez: <i>Rhamdia quelen</i>
Este: 297290.046 E Norte: 8523737.514 N	RA-A-02	RA-P-03 Especie de pez: <i>Pseudorinelepis genibarbis</i>
Este: 305624.275 E Norte: 8530270.515 N	RA-A-03	RA-P-04 Especie de pez: <i>Ancistrus marcapatae</i>
Este: 310299.106 E Norte: 8536261.244 N	RA-A-04	RA-P-05 Especie de pez: <i>Rhamdia quelen</i>
Este: 312748.755 E Norte: 8537978.429 N	RA-A-05	RA-P-06 Especie de pez: <i>Rineloricaria reisi</i>

Nota. La tabla representa las mismas coordenadas de ubicación de las muestras obtenidas tanto para pez y agua en la recolección insitu, considerando a la especie *Ancistrus taunayi* por *Ancistrus marcapatae*, debido a indicación del laboratorio que analizó las muestras.

➤ **Recolección de muestras**

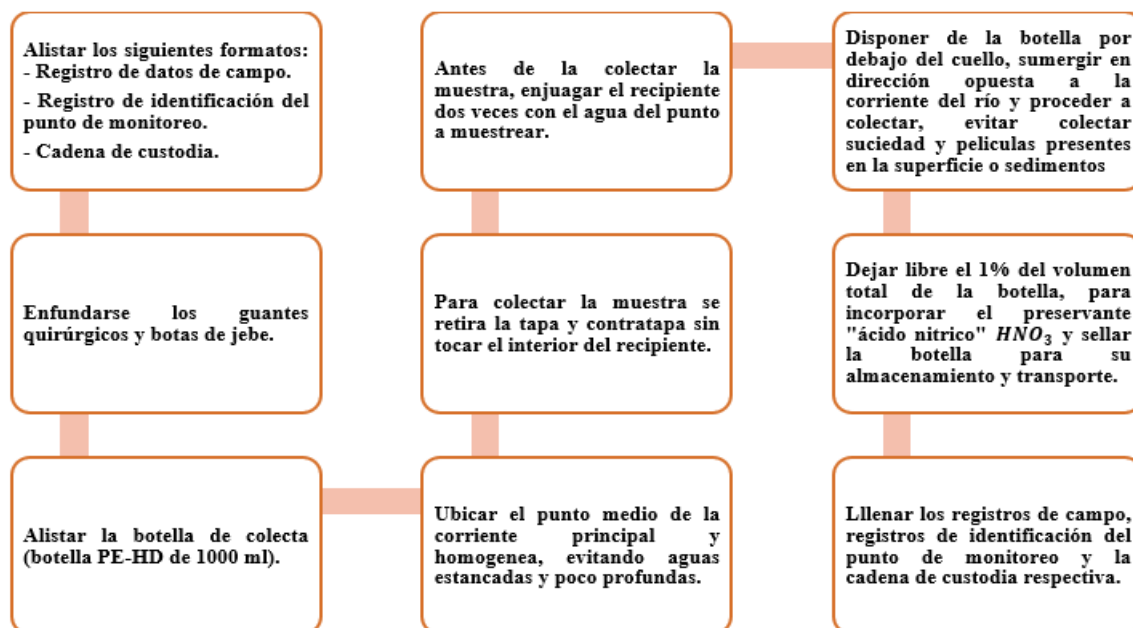
Como procedimiento de la toma de muestras tanto de las muestras de agua como la de peces, se ejemplifican en los siguientes procesos:

- **Muestreo de agua**

Para la colecta de muestras de agua en la cuenca media del Río Araza, se consideró el informe de procedimiento de toma de muestras de aguas enviado por el laboratorio certificado por el INACAL - InterLabs International Laboratories S.A.C., en el ítem 7.6. de Toma de muestras de Agua de río, específicamente en el sub ítem 7.6.1., para río con bajo caudal (Protocolo de la referencia: PM-003 V01 Toma de muestras de aguas 30-04-2024) (ANEXO F) y considerando también el protocolo en bioseguridad en toma de muestras de agua de la entidad ANA (Protocolo Nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales: R.J. N° 010-2016-ANA) que se encuentra dentro de las consideraciones y normativas del laboratorio, se presenta la siguiente ilustración:

Figura 4

Procedimiento de obtención de muestras de agua – para ríos o quebradas con bajo caudal



Nota. Adaptado en base a la ANA (2016), la información se obtuvo del Protocolo Nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales, para la obtención de muestras de agua naturales para ríos o quebradas con bajo caudal y desarrolladas insitu.

A continuación, se presentan los puntos de muestreo para las especies de peces y muestras de agua de la cuenca media del río Araza.

Figura 5

Punto RA-PC-1



Nota. La figura representa el punto de control de la cuenca media del río Araza, conforme

al protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales.

En la figura 5, presentó aguas turbulentas sin impedir la accesibilidad para la toma de muestras, se evidenció la presencia de rocas en los márgenes del río, presencia de actividades antropogénicas y poblaciones aledañas (Limapunco).

Figura 6

Punto RA-A-01



Nota. La imagen muestra el primer punto de muestreo que se realizó en la cuenca media del río Araza.

En la Figura 6, presentó un flujo constante con accesibilidad para las tomas de muestras, con zonas poco profundas, alta presencia de piedras medianas y alejadas de la población de Limapunco.

Figura 7

Punto RA-A-02



Nota. La imagen muestra el segundo punto de muestreo de agua que se realizó en el río Araza.

La Figura 7 mostró buena accesibilidad al punto con presencia de piedras medianas y pequeñas, tanto en las márgenes y al centro del río Araza que dividen el curso normal en dos flujos de agua continua, tomando como punto de referencia el flujo izquierdo.

Figura 8

Punto RA-A-03



Nota. La imagen muestra el tercer punto de muestreo de agua que se ejecutó en el río Araza.

La Figura 8 mostró poca presencia de piedras pequeñas en el margen derecho del río y población colindante alrededor del punto muestreado, con buena accesibilidad para la toma de muestra, se observó un flujo de agua uniforme.

Figura 9

Punto RA-A-04



Nota. La imagen muestra al cuarto punto de muestreo de agua de la cuenca media del río Araza, que se encuentra a nivel de la población de Camanti.

En la Figura 9 se observó una coloración anaranjada en aguas cercanas al margen

izquierdo del río, la zona presenta piedras medianas y grandes, que divide la corriente del río y la visualización de los afluentes a la corriente principal.

Figura 10

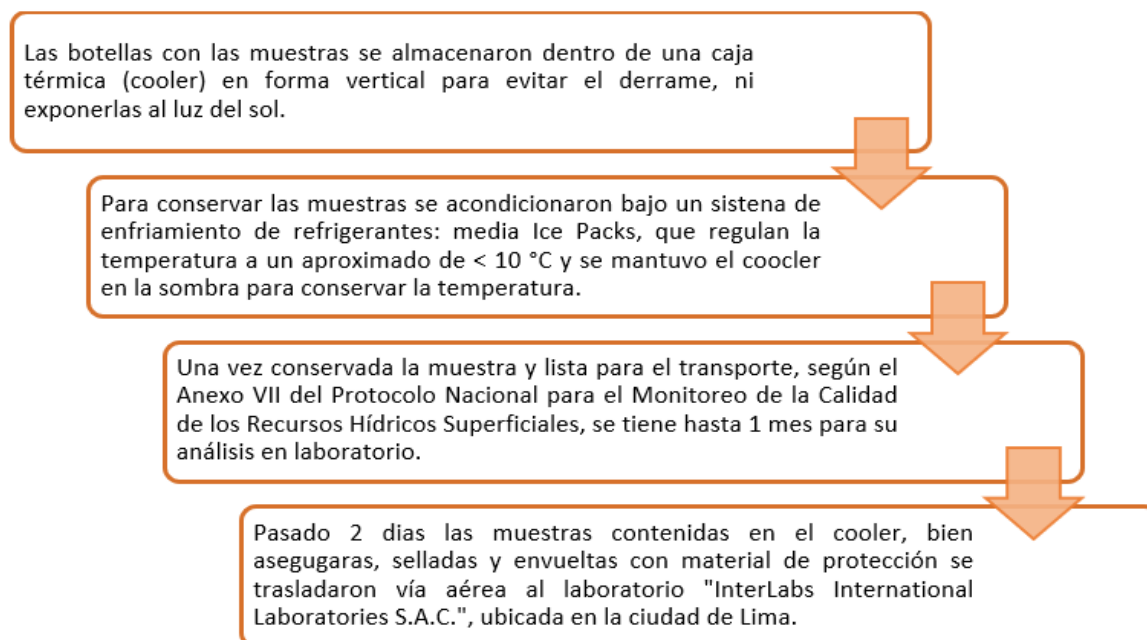
Punto RA-A-05



Nota. La imagen muestra el último punto de muestreo de agua de la cuenca media del río Araza.

En la Figura 10 se apreció mucha presencia de piedras de tamaño regular, tanto en la parte central y a las márgenes del río, una zona donde las aguas del río son tranquilas, con flujo constante, la obtención de la muestra se ejecutó de buena manera, gracias a las características que presentó en dicho momento y a su fácil accesibilidad.

Una vez obtenida las muestras de agua de los diferentes puntos de la cuenca media del río Araza, se procedió a almacenar y transportar de las muestras hacia el laboratorio InterLabs International Laboratories S.A.C., ubicada en la ciudad de Lima, para tal proceso se detalla en la siguiente figura:

Figura 11*Procedimiento post muestreo de agua*

Nota. Adaptado en base a la ANA (2016), la información describe el procedimiento y materiales que se utilizaron para el almacenaje, conservación y transporte de las muestras, que se tomaron del Protocolo Nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales.

Figura 12*Muestras de agua contenidas en los envases de botella PE-HD (1000 ml)*

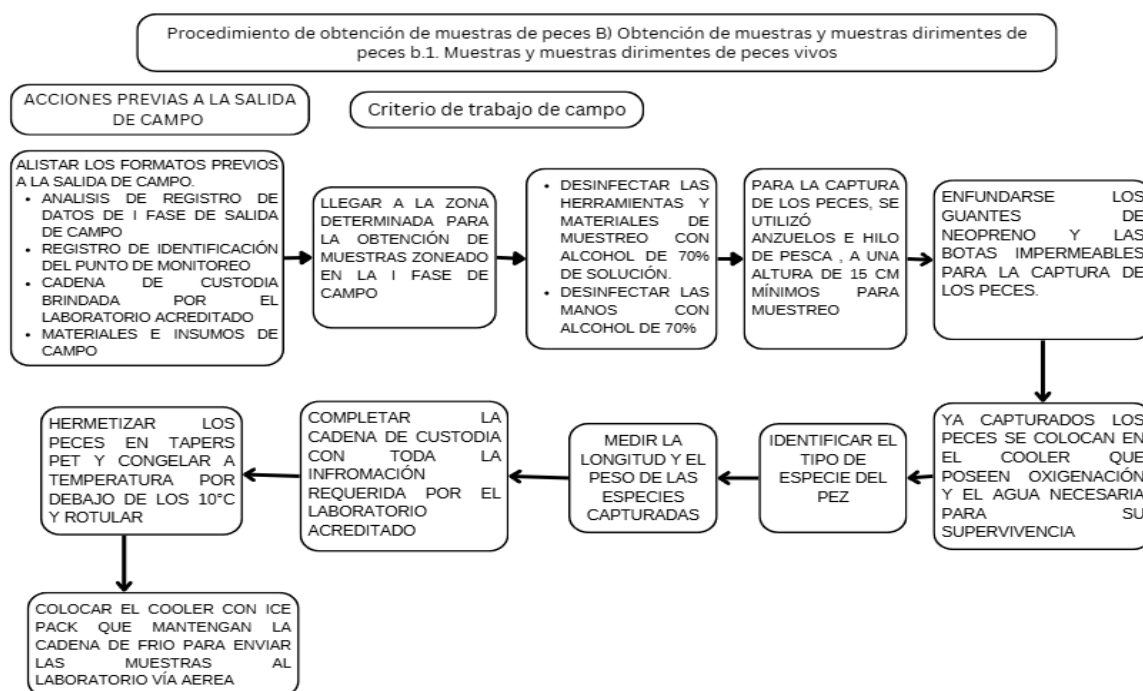
Nota. La ilustración muestra al cooler conteniendo las botellas PE-HD ya rotuladas y etiquetadas para su conservación en cadena de frío con ice packs.

- **Muestreo de peces**

Para la colecta de muestras de peces en la cuenca media del Río Araza, se consideró el informe de procedimiento técnico sanitario para el muestreo y envío al laboratorio de recursos hidrobiológicos para el diagnóstico de enfermedades (SANIPES) en el ítem 11.3. de ejecución de la actividad de muestreo, el 11.3.2. manipulación, uso de anestésicos y obtención de muestras y muestras dirimentes, del literal b.1. de muestras y muestras dirimentes de peces vivos, y las consideraciones para la cadena de frío enviado por el laboratorio certificado por el INACAL - InterLabs International Laboratories S.A.C. (Anexo L1), de toma de muestras de alimentos, ambientes y superficies vivas e inertes, para tal proceso se detalla en la siguiente figura:

Figura 13

Procedimiento de obtención de muestras de recursos hidrobiológicos (peces) y procedimiento post muestreo



Nota. Adaptado en base al SANIPES (2020), la información se obtuvo del informe de

procedimiento técnico sanitario para el muestreo y envío al laboratorio de recursos hidrobiológicos para el diagnóstico de enfermedades, para la obtención de muestras hidrobiológicas (peces) pertenecientes al río Araza desarrolladas insitu.

Considerando el procedimiento del Ministerio del Ambiente y Museo de Historia Natural – UNMSM (2014) la colecta de muestras hidrobiológicas (peces) también se realizaron según el documento: “Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: placton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú”, abordando el ítem 6.1 de la metodología de colecta de necton, el procedimiento se basó principalmente en método físico mediante anzuelo (método característico de los pobladores) referente a la pesca artesanal realizada en la zona, sin verter sustancias químicas al hábitat acuático, para la colecta se consideró lo siguiente:

- Indumentaria: Las personas que realizaron el muestreo contaron con equipos y materiales de protección personal como: Guantes descartables e indumentarias adecuadas según el clima y lugar.
- Materiales de pesca: Se utilizó líneas y anzuelos, balanza de campo, formularios de campo, rotulador de etiquetas y cámara fotográfica.
- Selección del tramo de estudio: Se seleccionaron los tramos de estudio según el hábitat y mayor encuentro de peces.
- Colecta de peces: Se realizó pesca con anzuelos de forma artesanal, por condiciones de seguridad.
- Identificación taxonómica: La identificación de peces se realizó con apoyo de la asesora y los especialistas del laboratorio certificado por el INACAL.

Según las consideraciones mencionadas el procedimiento de la colecta se desarrolló de la siguiente manera:

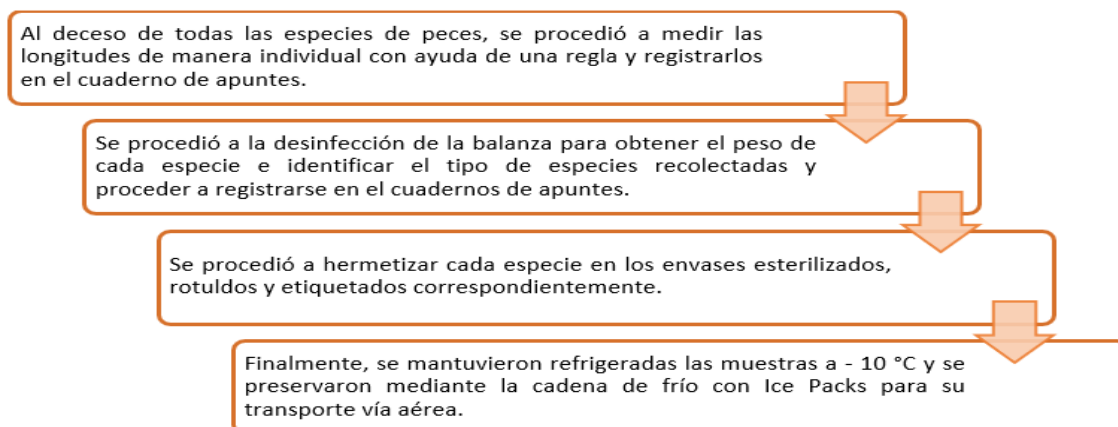
Los muestreos se realizaron en aguas frías, por lo tanto, se utilizó las botas

impermeables, guantes aislantes de neopreno y se evitó utilizar el guardapolvo puesto que la zona carece de vigilancia policial. Como se mencionó en anteriormente la pesca se realizó con anzuelos en los que intervinieron dos personas debidamente preparadas para la colecta, en cuanto al tramo y/o lugar de captura se ubicó en el área que incluía la mayoría de los hábitats donde se distribuyen las especies (zonas poco profundas, con presencia de piedras de gran tamaño), se respetó una altura promedio de 15 cm como superficie mínima de muestreo.

Al momento de ser capturadas las especies de pez, fueron fotografiadas, potencialmente identificadas con ayuda del experto y dispuestas en un cooler acondicionado con oxígeno permanente, para ser trasladados a la ciudad del Cusco y posteriormente ser enviados al laboratorio “InterLabs International Laboratories S.A.C.” para el análisis de metales pesados (Pb y Hg). Ya ubicados en las instalaciones de Cusco, según el documento de la referencia antes mencionada, las especies en condiciones de higiene fueron cubiertas con papel aluminio y se conservaron en hielo durante el transporte al laboratorio, previamente identificadas y rotuladas con ayuda del asesor de tesis. El procedimiento que se tuvo cuando las muestras colectadas llegaron a Cusco se muestra en la siguiente figura:

Figura 14

Procedimiento detallado post muestreo de los recursos hidrobiológicos



Nota. Adaptado en base a SANIPES (2020), la ilustración detalla el procedimiento de la

manipulación de muestra y la conservación previo envío al laboratorio para su respectivo análisis.

A continuación, en la siguiente tabla se muestran los datos obtenidos de proceso post muestreo para peces.

Tabla 16

Datos obtenidos post muestreo para peces

Código	Parámetros
RA-P-01 <i>Especie: Cetopsis coecutiens</i>	Largo: 14.5 cm Ancho: 3 cm Peso: 50 g
RA-P-02 <i>Especie: Rhamdia quelen</i>	Largo: 15 cm Ancho: 2.5 cm Peso: 30 g
RA-P-03 <i>Especie: Pseudorinelepis genibarbis</i>	Largo (1): 8 cm Ancho (1): 1.5 cm Largo (2): 7.5 cm Ancho (2): 1.5 cm Peso de ambas especies: 13 g
RA-P-04 <i>Especie: Ancistrus marcapatae</i>	Largo (1): 7.2 cm Ancho (1): 2.5 cm Largo (2): 8 cm Ancho (2): 2 cm Peso de ambas especies: 15 g
RA-P-05 <i>Especie: Rhamdia quelen</i>	Largo: 23 cm Ancho: 4 cm Peso: 100 g
RA-P-06 <i>Especie: Rineloricaria reisi</i>	Largo: 10 cm Ancho: 1.5 cm Peso: 10 g

Nota. En la tabla se muestran sus parámetros físicos de las especies recolectadas.

En cuanto a la identificación de las especies muestreadas se tomó en cuenta los procedimientos del documento: “Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: placton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú” (Ministerio del Ambiente; Museo de Historia Natural – UNMSM, 2014), abordando el ítem 6.2.1 identificación, teniendo como equipos y materiales para la identificación:

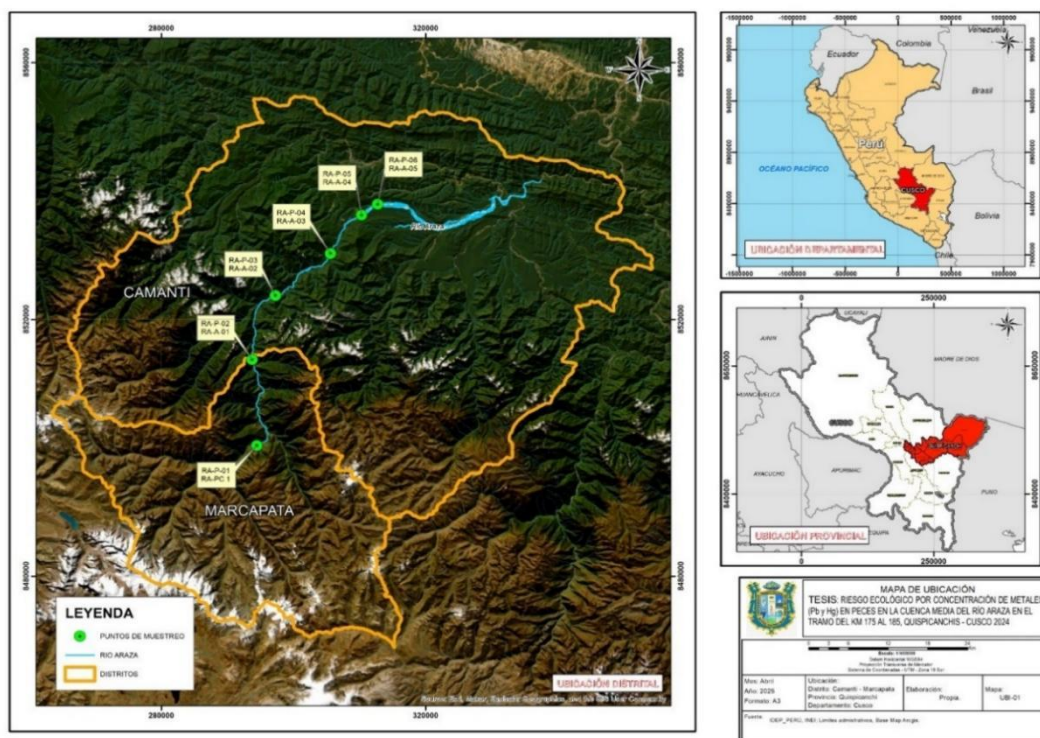
- Cinta métrica

- Cámara digital
- Material impermeabilizante
- Pinzas
- Lapiceros
- Programa especializado para datos
- Bibliografía especializada
- Colección ictiológica de referencia (Compendio biológico tecnológico)

De manera preliminar como se indica en el documento: “Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: placton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú”, del Ministerio del Ambiente, se identificaron tentativamente el nivel taxonómico de las especies muestreadas, mediante la observación directa y comparación de las fotografías tomadas con la bibliografía especializada y la colección ictiológica (IMARPE & ITP, 1996), para las especies con características particulares, se tomaron las referencias de los especialistas del laboratorio InterLabs International Laboratories S.A.C. para definir el nivel taxonómico y la especie netamente identificada y detallada en la Tabla 2, de manera consecuente para la identificación, se tomaron las medidas correspondientes a las especies de peces muestreadas, siendo el tamaño (largo y ancho), así como el peso de cada especie evidenciadas en la Tabla 16. Para definir la taxonomía de las especies, se estudiaron todas las características de las especies previamente identificadas y facilitadas a los expertos del laboratorio acreditado, quien luego de ser analizadas (según datos morfológicos, morfométricos, merísticos y osteológicos), fueron plenamente identificados y descritos mediante los resultados obtenidos en el Anexo L1.

Figura 15

Puntos de muestreo en el área de estudio



Nota. La imagen muestra todos los puntos analizados en la cuenca media del río Araza.

D) Cuarta fase: Post monitoreo

- Análisis de las muestras por el laboratorio acreditado por el INACAL: los resultados obtenidos se muestran en el ANEXO L.
- Procesamiento y revisión de datos de los análisis: Se analizaron en el apartado 5.1. Resultados de la presente investigación.

➤ Análisis de riesgo ecológico

Para la evaluación de riesgo ecológico se realizó a base de la comparación de los análisis de metales pesados de estudios verificados por la USEPA, que fueron obtenidos de la base de datos del ECOTOX (Olker, y otros, 2022), las cuales el riesgo ecológico (RQ) se determinó con los datos obtenidos del laboratorio empleando la metodología ERSA dictaminada por el (MINAM, 2015), estableciendo el rango del riesgo aceptable y no

aceptable para el factor biológico.

Para el cálculo del riesgo ecológico, se empleó el siguiente método descrito en los siguientes pasos:

- **Primer paso**

Determinación de los contaminantes de preocupación:

Se determinan analizando los resultados obtenidos de laboratorio, de factores estresantes que se presentan en la matriz agua, que se encuentren por encima o próximos a los ECA – agua. Se identificaron los puntos de monitoreo que presentan mayores concentraciones de metales pesados en comparación con los ECA de cat. 4 (conservación del ambiente acuático, para ríos de selva) y se priorizó los metales pesados con mayor toxicidad tales como el mercurio y plomo (OMS, 2010).

- **Segundo paso**

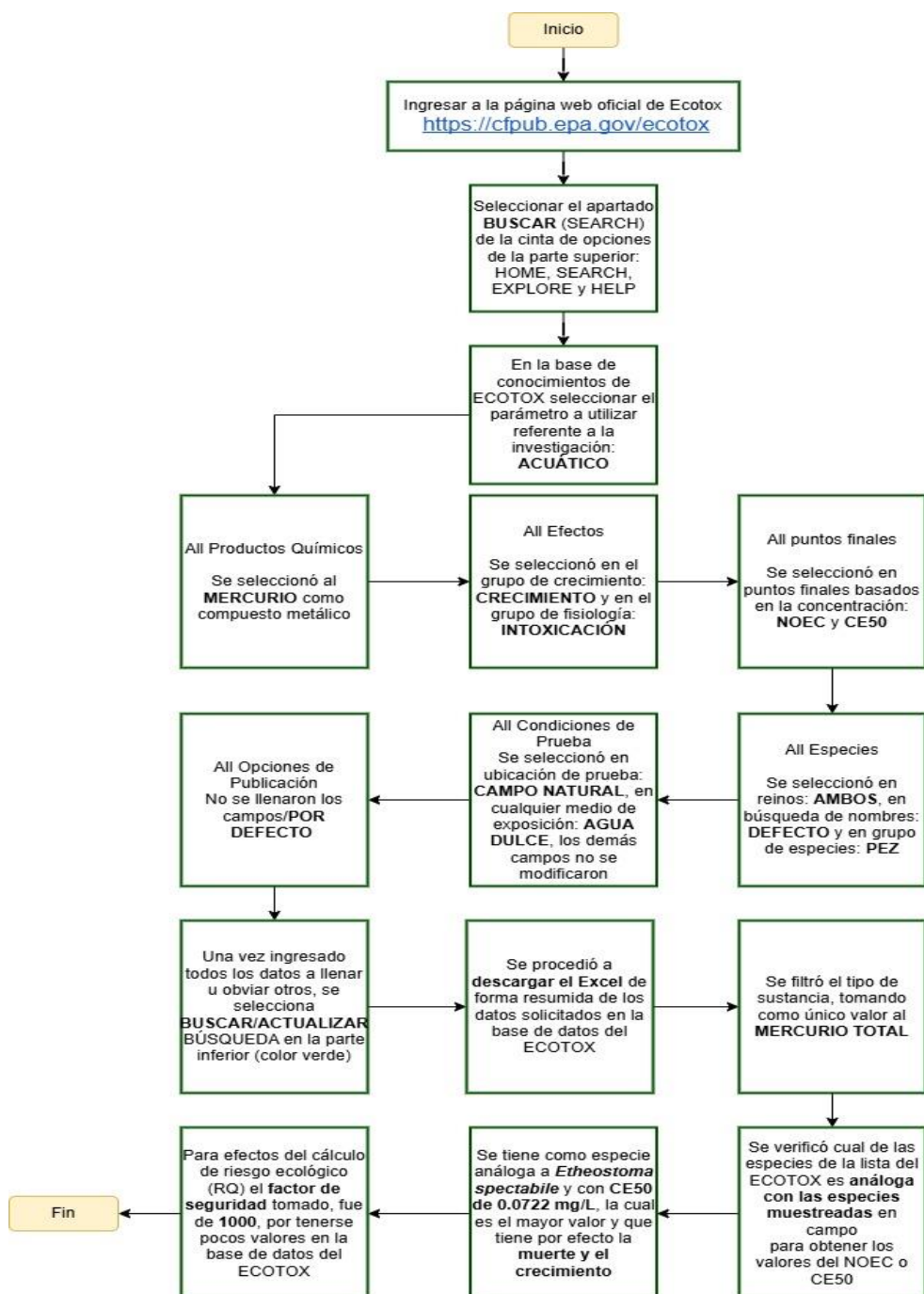
Se identificó, mediante la metodología de evaluación de riesgos a la salud y ambiente (ERSA), los campos necesarios para el cálculo de riesgo ecológico (RQ) que se encuentran en la Ecuación (2) de la fórmula del NEC, las cuales son la Concentración efectiva no observable (NOEC) o la Concentración efectiva media (CE50) de los metales pesados analizados en los estudios de la base de datos del ECOTOX, para el factor de seguridad se necesita información sobre la cantidad y calidad de los datos (Planes & Fuchs, 2015) y según las investigaciones realizadas por Guo et al., (2020) que será añadido en el siguiente paso.

- **Tercer paso**

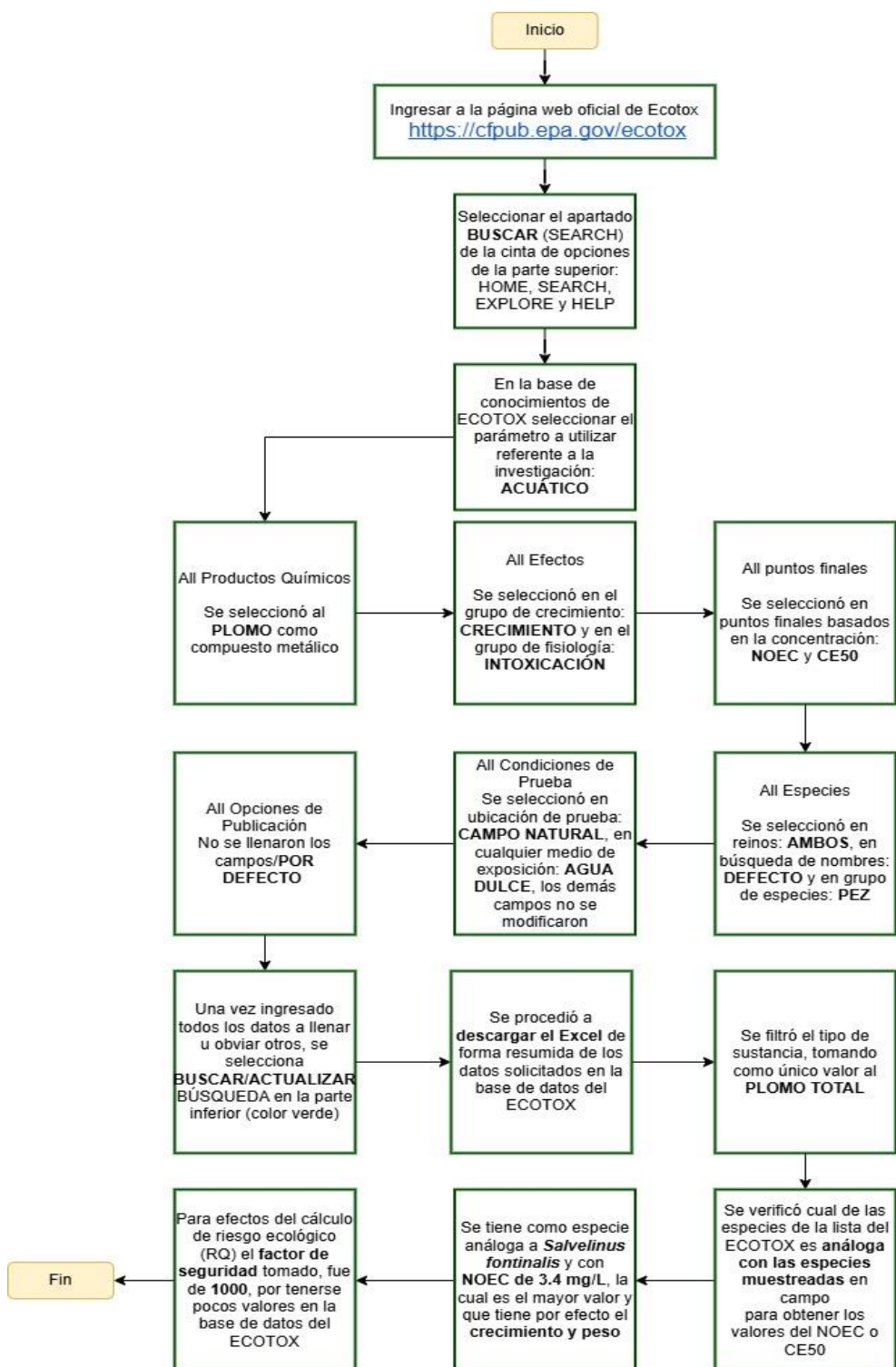
Se ingresó a la base de datos del ECOTOX para obtener los valores requeridos para el cálculo del riesgo ecológico (RQ), considerándose el NOEC y CE50 de los metales mercurio (Hg) y plomo (Pb) previamente identificados en pasos anteriores como dato relevante, para tales fines se siguió los siguientes procesos:

Figura 16

Flujograma para mercurio (Hg) - ECOTOX



Nota. Adaptado en base a EPA (2024), la ilustración representa los pasos a seguir para la obtención de los datos requeridos para el cálculo del riesgo ecológico del mercurio en base a las investigaciones del ECOTOX.

Figura 17*Flujograma para plomo (Pb) - ECOTOX*

Nota. Adaptado en base a EPA (2024), la ilustración representa los pasos a seguir para la obtención de los datos requeridos para el cálculo del riesgo ecológico del plomo en base a las investigaciones del ECOTOX.

- **Cuarto paso**

Se identificaron y compararon las analogías de acuerdo a la taxonomía, hábitat y hábitos de alimentación de las especies obtenidas de acuerdo a los datos del ECOTOX con los obtenidos en el muestreo de peces en campo.

- **Quinto paso**

Con todos los datos obtenidos, se realizó el cálculo del riesgo ecológico reformulado a base de Planes & Fuchs (2015) y en base a la metodología ERSA del MINAM (2015), siguiendo las ecuaciones (1) y (2) que se encuentra en las bases teóricas en el punto 3.2.6.2. Riesgo ecológico:

- **Sexto paso**

Se realizó la caracterización del riesgo ecológico mediante la Tabla 13 de la Interpretación riesgo ecológico calculado (RQ), previamente detallado.

4.6. Análisis de datos

El análisis estadístico se procesó en el software IBS SPSS Statistics y en el programa Microsoft Excel. Los datos se procesaron en Microsoft Excel para posteriormente ingresarlos al software IBS SPSS Statistics para las pruebas de normalidad de los datos de investigación mediante la prueba de Shapiro-Wilks, por tratarse de un tamaño de muestra menor a 50 datos de investigación ($n < 50$), deduciendo a partir de esta la prueba paramétrica (T – student) para muestras independientes analizadas en base a la comparación de la media con un valor estándar (LMP para consumo humano) y no paramétrica (Wilcoxon) para muestras independientes que comparan datos numéricos con valores estándar (ECA agua cat. 4) para la interpretación de los resultados de la investigación.

4.7. Consideraciones éticas

La presente investigación considerará los protocolos establecidos por el ANA (2016) para la obtención de muestras de agua natural, también los procedimientos establecidos por el SANIPES (2020) para la toma de muestras de recursos hidrobiológicos (peces), por el laboratorio InterLabs International Laboratories S.A.C. autorizado por INACAL y por los métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: Plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú; para el caso del análisis de riesgo ecológico se empleó la guía ERSA para garantizar la veracidad de los resultados tanto de las muestras analizadas como del análisis del riesgo ecológico, dando transparencia y fidelidad a la presente investigación.

V. Resultados y discusión

5.1. Resultados

5.1.1. Bioacumulación de metales pesados (Pb y Hg) en tejido muscular de peces de la cuenca media del río Araza.

En el análisis realizado por el laboratorio se encontraron concentraciones Pb y Hg en tejido muscular de peces [mg/kg] de las diferentes especies por punto de muestreo obtenidos y ubicados en el (Anexo L). En la tabla 16 se muestran las concentraciones de plomo (Pb) y mercurio (Hg) como factores estresantes de interés a la salud pública (OMS, 2010).

Tabla 17

Metales pesados de interés en tejido muscular de peces muestreados

Metales pesados (mg/Kg)	RA-P-01 <i>Cetopsis coecutiens</i>	RA-P-02 <i>Rhamdia quelen</i>	RA-P-03 <i>Pseudorinelepis genibarbis</i>	RA-P-04 <i>Ancistrus marcapatae</i>	RA-P-05 <i>Rhamdia quelen</i>	RA-P-06 <i>Rineloricaria reisi</i>
Mercurio Total	0.00289	0.0642	0.00289	0.0534	0.043	0.0823
Plomo Total	0.0218	0.0075	0.019	0.0354	0.015	0.1253

Nota. La tabla presenta a las especies muestreadas en campo con las concentraciones de factores estresantes establecidos por la OMS.

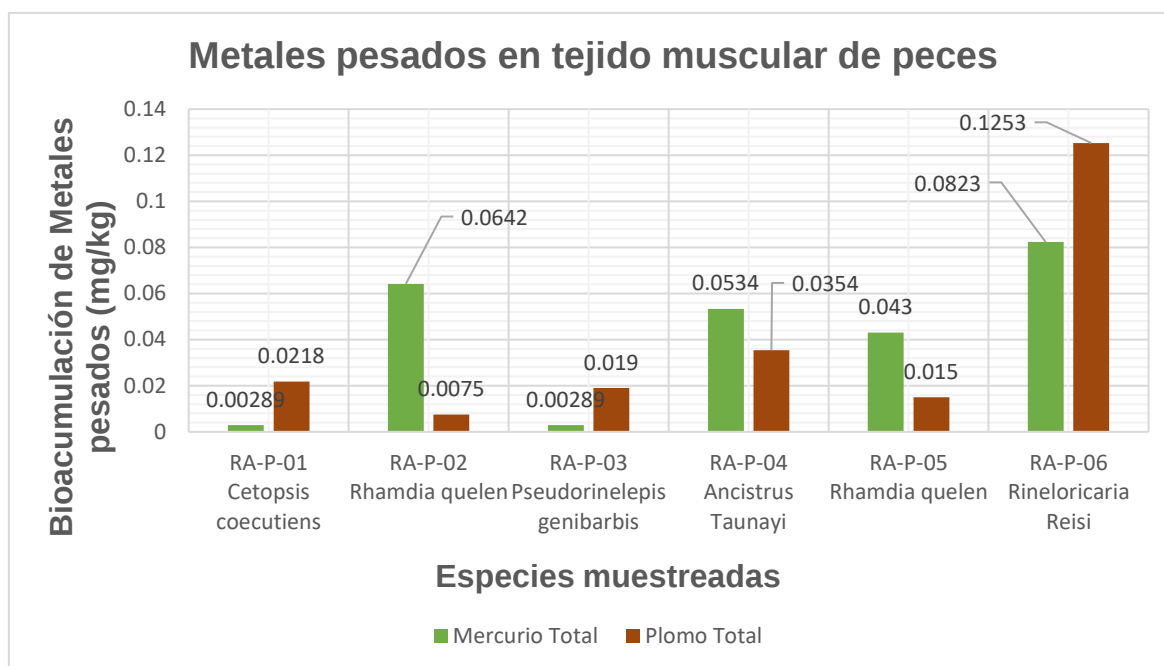
De la Tabla 17 se deduce que la especie con mayor concentración de metales pesados es la *Rineloricaria reisi* del punto RA-P-06, con cantidades elevadas de mercurio (Hg) con 0.0823 mg/kg y de plomo (Pb) con 0.1253 mg/kg, estas altas concentraciones se podrían dar principalmente por sus hábitos alimenticios (algas, materia orgánica y detritos), donde también se concentran y bioacumulan los metales pesados (Pb y Hg), además las especies de los puntos RA-P-02, RA-P-04 y RA-P-05 muestran elevadas concentraciones de mercurio respecto a las de plomo, sugiriendo que las especies biomagnifican en mayores cantidades de mercurio por sus hábitos omnívoros y con preferencias carnívoras en las que

incluyen insectos crustáceos y peces de menor tamaño.

Para fines gráficos de la bioacumulación de metales pesados en el tejido muscular de las especies, se muestra la siguiente figura:

Figura 18

Metales pesados en especies de peces



Nota. En la ilustración se muestran las concentraciones de metales pesados (mercurio y plomo) por especie muestreada.

Acorde a la tabla 2, de la descripción de las especies muestreadas, se seleccionó las especies aptas para consumo humano, siendo de interés para el cálculo del riesgo ecológico y futuras implicancias a la salud humana, en relación a las normas nacionales e internacionales respecto a las concentraciones de metales pesados (Pb y Hg) en sus tejidos musculares, se realizó una comparación con los valores de referencia (LMP), como se presenta a continuación:

A) Metal pesado plomo (Pb)

Tabla 18

Tabla de concentración de metal pesado (Pb) en tejido muscular de peces

Puntos de Muestreo	Metal Pesado (Plomo) (mg/kg)	SANIPES (mg/kg)	Norma Sanitaria - D.S N° 2021-PRODUCE (mg/kg)	UE - UNIÓN EUROPEA (mg/kg)
RA-P-02 <i>Rhamdia quelen</i>	0.0075	0.3	0.3	0.3
RA-P-03 <i>Pseudorinelepis genibarbis</i>	0.019	0.3	0.3	0.3
RA-P-05 <i>Rhamdia quelen</i>	0.015	0.3	0.3	0.3

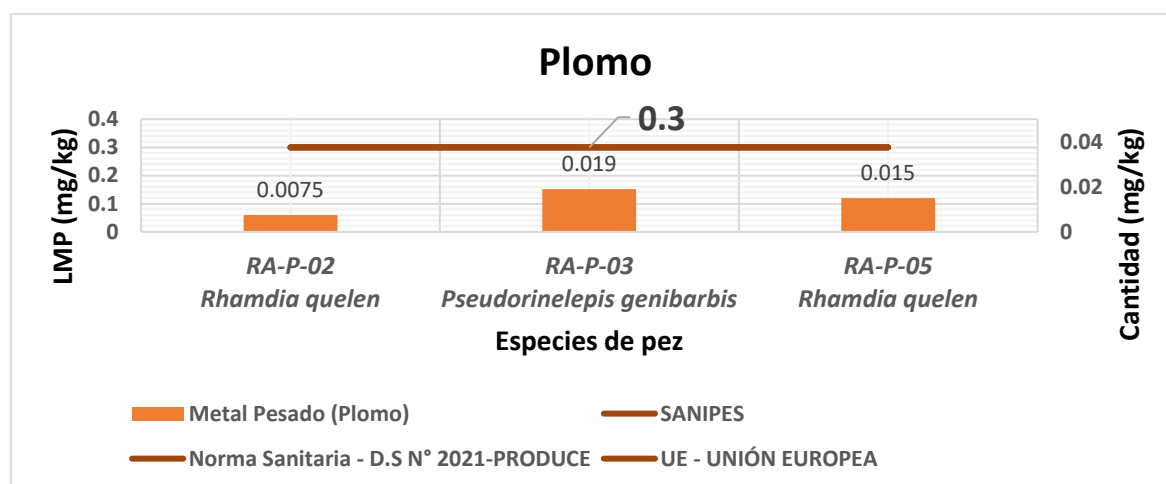
Nota. La tabla muestra las concentraciones de plomo y los valores de referencia para el plomo en tejido muscular de pez para consumo humano.

En la Tabla 18 se deduce que ninguna especie clasificada como “apta para el consumo humano” supera los valores de referencia (SANIPES, NORMA SANITARIA y UE), considerándose seguras para el consumo humano.

Para efectos de la comparación de la concentración máxima del metal pesado plomo (Pb) se visualiza en la siguiente figura:

Figura 19

Concentraciones del plomo respecto a los valores de referencia para consumo humano



Nota. La figura muestra la comparativa entre los resultados de los ensayos de laboratorio

con la normativa nacional (SANIPES y la Norma Sanitaria D.S. N° 2021-PRODUCE) e internacional (UE).

B) Metal pesado mercurio (Hg)

Tabla 19

Tabla de concentración de metal pesado (Hg) en tejido muscular de peces

Puntos de Muestreo	Metal Pesado (Mercurio) (mg/kg)	SANIPES (mg/kg)	CODE X (mg/kg)	Norma Sanitaria - D.S N° 2021-PRODUCE (mg/kg)	UE - UNIÓN EUROPEA (mg/kg)
RA-P-02 <i>Rhamdia quelen</i>	0.0642	0.5	0.5	0.5	0.5
RA-P-03 <i>Pseudorinelepis genibarbis</i>	0.00289	0.5	0.5	0.5	0.5
RA-P-05 <i>Rhamdia quelen</i>	0.043	0.5	0.5	0.5	0.5

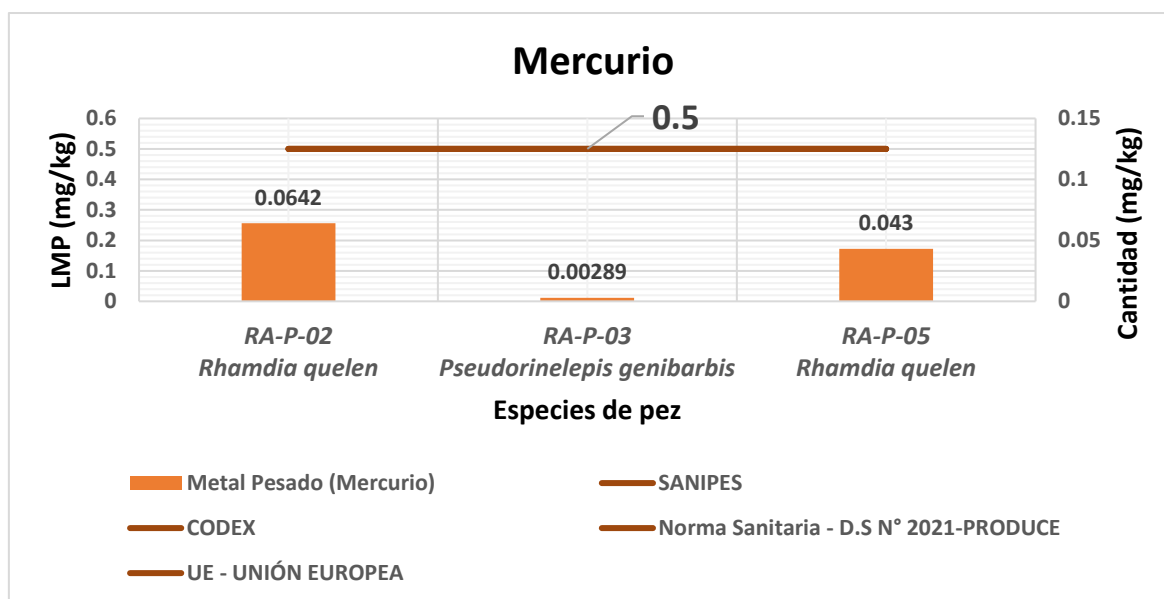
Nota. La tabla muestra las concentraciones de mercurio y los valores de referencia de mercurio en tejido muscular de pez para consumo humano.

En la Tabla 19 se observa que ninguna especie clasificada como “apta para el consumo humano” supera los valores de referencia (SANIPES, CODEX, NORMA SANITARIA y UE), considerándose seguras para el consumo humano.

Para efectos de la comparación de la concentración máxima del metal pesado mercurio (Hg) se visualiza en la siguiente figura:

Figura 20

Concentraciones del mercurio respecto a los valores de referencia para consumo humano



Nota. La figura muestra la comparativa entre los resultados de los ensayos de laboratorio con la normativa nacional (SANIPES y la Norma Sanitaria D.S. N° 2021-PRODUCE) e internacional (UE y CODEX).

➤ Resultados estadísticos del objetivo específico 1

Se utilizó el test de prueba Shapiro-Wilks para determinar si los datos son paramétricos o no, es decir, si los datos siguen una distribución normal y es aplicable por tratarse de un tamaño de muestra menor a 50 datos. La prueba se realizó en el programa IBM SPSS Statistics, dicho análisis toma como valor crítico a 0.05 y para interpretar los resultados del valor de significancia (p – valor), se considera lo siguiente:

- Si P-valor > 0.05, los datos siguen una distribución normal
- Si P-valor < 0.05, los datos no siguen una distribución normal

Simbólicamente se tiene:

$$\text{Si } p - \text{valor} > 0.05 \rightarrow X \sim N(\mu, \sigma^2)$$

$$\text{Si } p - \text{valor} < 0.05 \rightarrow X \neq N(\mu, \sigma^2)$$

Procediendo con la prueba de Shapiro-Wilks para las especies aptas para consumo humano, se obtuvieron los siguientes resultados en el programa IBM SPSS Statistics:

Figura 21

Prueba de normalidad de IBM SPSS Statistics para metales pesados (Pb y Hg) en especies de peces aptas para consumo humano

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Mercurio	.247	3	.	.969	3	.663
Plomo	.246	3	.	.970	3	.668

a. Corrección de significación de Lilliefors

Nota. Extraído de IBM SPSS Statistics. La imagen muestra los resultados de prueba de normalidad de Shapiro-Wilks para las especies de peces aptas para consumo humano.

Interpretación:

- A) Para el caso de la concentración de **plomo (Pb)** el programa muestra un valor de significancia (p - valor) de 0.970, siendo mayor al valor crítico (p - valor < 0.05), sugiriendo que los valores de metal pesado en muestras de tejido muscular de peces **siguen una distribución normal**.
- B) Para el caso de la concentración de **mercurio (Hg)** el programa muestra que el valor de significancia (p - valor) es de 0.969, siendo mayor al valor crítico (p - valor > 0.05), sugiriendo que los valores de metal pesado en muestras de tejido muscular de peces **siguen una distribución normal**.

Basado en los resultados obtenidos en el test de prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, se concluye en lo siguiente:

Los metales pesados analizados (Pb y Hg) sigue una distribución normal. Para

realizar la prueba de hipótesis de la investigación se consideró prueba paramétrica para ambos metales.

➤ **Contraste de hipótesis específica 1:**

Se disponen de las hipótesis de la investigación planteadas y relacionadas a la bioacumulación de metales pesados en las muestras de tejido muscular de peces, las cuales se plantearon de la siguiente manera:

- H_A : La bioacumulación de metales pesados (Pb y Hg) en tejido muscular de peces es mayor o igual a los valores de referencia para el cálculo de riesgo ecológico en la cuenca media del río Araza.
- H_0 : La bioacumulación de metales pesados (Pb y Hg) en tejido muscular de peces no es mayor o igual a los valores de referencia para el cálculo de riesgo ecológico en la cuenca media del río Araza.

Para proseguir con la prueba de hipótesis, se tiene la comparativa de las concentraciones con los estándares nacionales e internacionales, se realizó la toma de prueba T – student para muestras independientes, debido a que se comparan la media de la concentración de metales pesados de cada una de las especies de pescados con el valor teórico (LMP para consumo humano) correspondiendo a este diseño la prueba antes mencionada (Walpole, 2012; Montgomery, 2017), dicho análisis se realizó en el programa IBM SPSS Statistics, teniendo entonces:

1. Prueba T - student

Es esta prueba paramétrica se comparó las concentraciones del metal pesado (Pb y Hg) con los valores de referencia de normas nacionales como internacionales, analizadas en el programa IBM SPSS Statistics, para la interpretación de valores de significancia (p - valor) se consideraron las siguientes relaciones:

- Si p - valor > 0.05 , la concentración de metal pesado supera significativamente el valor de referencia nacional e internacional
- Si p - valor < 0.05 , la concentración de metal pesado es significativamente menor que el valor de referencia nacional e internacional

Para los analizar los resultados obtenidos se dividió por secciones a los metales pesados, teniendo así:

A. Para el caso del metal pesado plomo (Pb), con la prueba T - student analizada en el programa IBM SPSS Statistics:

Figura 22

Prueba T - student de IBM SPSS Statistics para el plomo

Prueba T

Estadísticas para una muestra

	N	Media	Desv. estándar	Media de error estándar
Plomo	3	.0138333	.00583809	.00337062

Prueba para una muestra

Valor de prueba = 0.3

	t	gl	Significación P de un factor	P de dos factores	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia Inferior	Superior
Plomo	-84.900	2	<.001	<.001	-.28616667	-.3006693	-.2716640

Tamaños de efecto de una muestra

	Standardizer ^a	Estimación de puntos	Intervalo de confianza al 95% Inferior	Superior	
Plomo	d de Cohen	.00583809	-.49.017	-94.156	-7.779
	corrección de Hedges	.01034775	-27.655	-53.122	-4.389

a. El denominador utilizado en la estimación de tamaños del efecto.
La d de Cohen utiliza la desviación estándar de muestra.
La corrección de Hedges utiliza la desviación estándar de muestra, más un factor de corrección.

Nota. Extraído de IBM SPSS Statistics. La imagen muestra los resultados obtenidos del estadístico de prueba paramétrica T – Student para el metal pesado plomo.

Interpretación

Para el caso de este metal pesado, el valor de significancia obtenido (p - valor) es de < 0.001 , siendo este valor mucho menor al valor crítico (p - valor $<< 0.05$), sugiriendo que la concentración del metal pesado plomo (Pb) es significativamente menor que el valor de referencia para consumo humano de 0.3 mg/kg, se observa también por el intervalo de

confianza que es de un 95% no incluye al cero, confirma que la diferencia es estadísticamente significativa.

B. Para el caso del mercurio (Hg), con la prueba T - student analizada en el programa IBM SPSS Statistics, se tiene:

Figura 23

Prueba T - student de IBM SPSS Statistics para el Mercurio

Estadísticas para una muestra				
	N	Media	Desv. estándar	Media de error estándar
Mercurio	3	.0366967	.03113725	.01797710

Prueba para una muestra						
Valor de prueba = 0.5						
	t	gl	Significación P de un factor	P de dos factores	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia Inferior Superior
Mercurio	-25.772	2	<.001	.002	-.46330333	-.5406525 - .3859541

Tamaños de efecto de una muestra				
	Standardizer ^a	Estimación de puntos	Intervalo de confianza al 95%	
			Inferior	Superior
Mercurio	d de Cohen	.03113725	-14.879	-2.300
	corrección de Hedges	.05518933	-8.395	-1.297

a. El denominador utilizado en la estimación de tamaños del efecto.
 La d de Cohen utiliza la desviación estándar de muestra.
 La corrección de Hedges utiliza la desviación estándar de muestra, más un factor de corrección.

Nota. Extraído de IBM SPSS Statistics. La imagen muestra los resultados obtenidos del estadístico de prueba paramétrica T – Student para el metal pesado mercurio.

Interpretación

Para el caso de este metal pesado, el valor de significancia obtenido (p - valor) es de < 0.001 , siendo este valor mucho menor al valor crítico (p - valor < 0.05), sugiriendo que la concentración del metal pesado mercurio (Hg) es significativamente menor al Límite Máximo Permisible para consumo humano de 0.5 mg/kg, siendo observable también por el intervalo de confianza (95%) que no incluye al cero, confirmando que la diferencia es estadísticamente significativa.

➤ **Resultado del análisis estadístico de hipótesis específica 1:**

Considerando la evidencia estadística para ambos metales pesados (Pb y Hg) se rechaza la hipótesis alterna y se acepta la hipótesis nula de la investigación: “ H_0 : La bioacumulación de metales pesados (Pb y Hg) en tejido muscular de peces no es mayor o igual a los valores de referencia para el cálculo de riesgo ecológico en la cuenca media del río Araza.”, siendo estos valores los considerados de referencia nacional e internacional para el consumo humano, deduciendo que **ningún metal pesado (Pb y Hg) presente en el tejido muscular de peces superan los valores de referencia para consumo humano.**

5.1.2. Exposición ambiental de los peces a factores estresantes (Pb y Hg) en la cuenca media del río Araza.

En el análisis realizado por el laboratorio se encontraron concentraciones de factores estresantes en mg/L de Pb y Hg, en los puntos de muestreo del Anexo L. Mostrándose en la tabla 19:

Tabla 20

Metales pesados tóxicos en muestras de agua

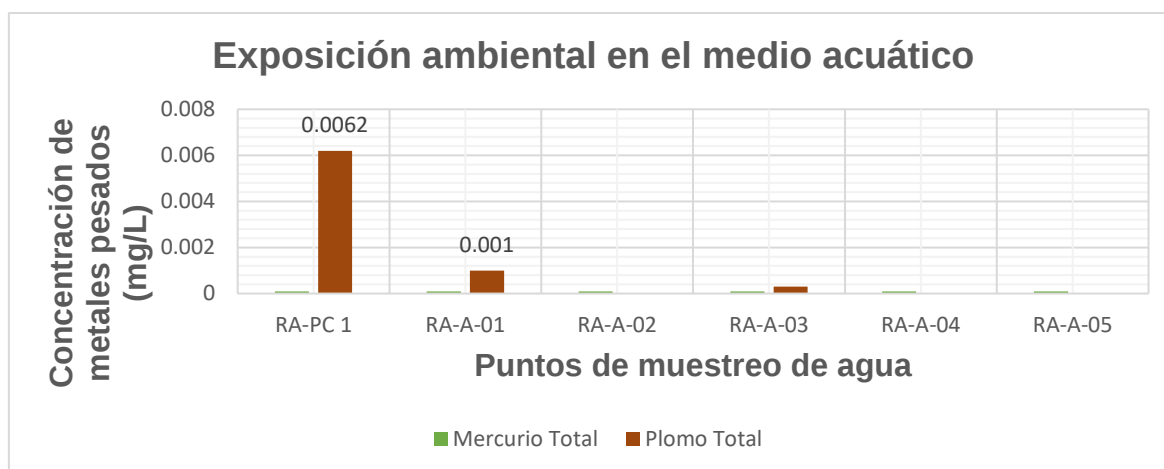
Metales pesados (mg/L)	RA-PC 1	RA-A-01	RA-A-02	RA-A-03	RA-A-04	RA-A-05
Mercurio Total	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Plomo Total	0.0062	0.001	0.00002	0.0003	0.00002	0.00002

Nota. La tabla presenta las concentraciones de los factores estresantes (Pb y Hg) en agua de la cuenca media del río Araza.

Para fines de la determinación de la exposición ambiental por factores estresantes en las muestras de agua, se tiene:

Figura 24

Metales pesados tóxicos en muestras de agua



Nota. La figura muestra la exposición ambiental en el medio acuático de mercurio y plomo por punto muestreado en la cuenca media del río Araza.

De la Figura 24 se deduce que en el punto de control (RA-PC 1) evidencia un incremento excesivo en los niveles de plomo (Pb) con un valor de 0.0062 mg/L, sugiriendo contaminación debida principalmente a factores antropogénicos, puesto que en la zona se evidenció presencia de poblaciones aledañas al río, minería metálica y no metálica.

Considerando las concentraciones de factores estresantes (Pb y Hg) en las muestras de agua, se vio por conveniente comparar dichas concentraciones con los ECA agua de Cat. 4, para determinar si la exposición ambiental en el medio acuático supera dichos estándares de la normativa nacional, teniendo así:

A) Factor estresante (Pb)

Tabla 21

Concentraciones del factor estresante (Pb) en agua

Puntos de Muestreo	Metal Pesado (Plomo) (mg/L)	ECA (CAT. 4 E2) (mg/L)
RA-PC 1	0.0062	0.0025
RA-A-01	0.001	0.0025

RA-A-02	0.00002	0.0025
RA-A-03	0.0003	0.0025
RA-A-04	0.00002	0.0025
RA-A-05	0.00002	0.0025

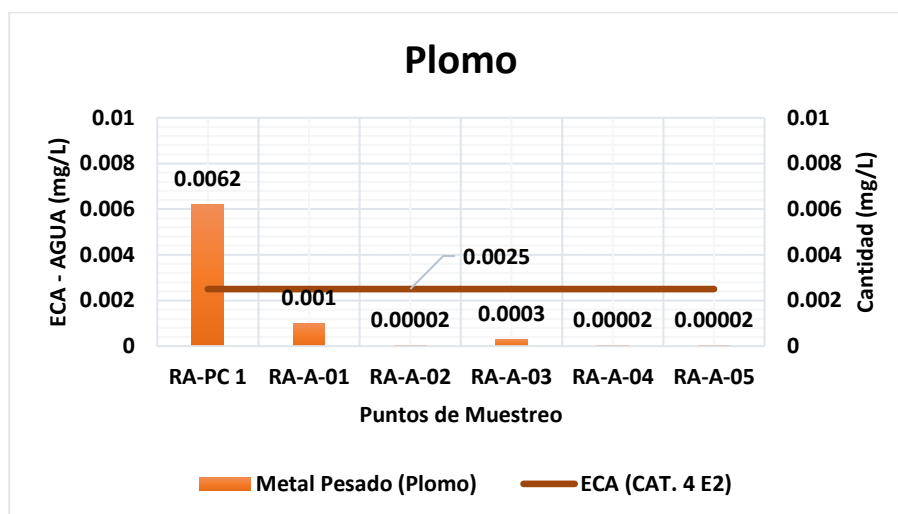
Nota. La tabla muestra las concentraciones del factor estresante (Pb) y los ECA agua de conservación del ambiente acuático para ríos de selva.

En la Tabla 21 se observa que la concentración máxima se encuentra en el punto de muestra RA-PC 1 con un valor de 0.0062 mg/L de agua, superando el ECA agua de Cat. 4 (E2) con relación a los 6 puntos muestreados, debido principalmente al bajo caudal del río al momento del muestreo (temporada de estiaje), ya que el plomo se encuentra en mayores concentraciones en el medio acuático.

Para efectos de la comparación de las concentraciones del factor estresante (Pb) se visualiza en la siguiente figura:

Figura 25

Concentraciones del plomo respecto a ECA agua (Cat. 4)



Nota. La figura muestra la comparativa entre los resultados de los ensayos de laboratorio con los ECA agua de Cat. 4 (para ríos de selva).

B) Factor estresante (Hg)

Tabla 22

Concentraciones del factor estresante (Hg) en agua

Puntos de Muestreo	Factor estresante (Mercurio) (mg/L)	ECA (CAT. 4 E2) (mg/L)
RA-PC 1	0.0001	0.0001
RA-A-01	0.0001	0.0001
RA-A-02	0.0001	0.0001
RA-A-03	0.0001	0.0001
RA-A-04	0.0001	0.0001
RA-A-05	0.0001	0.0001

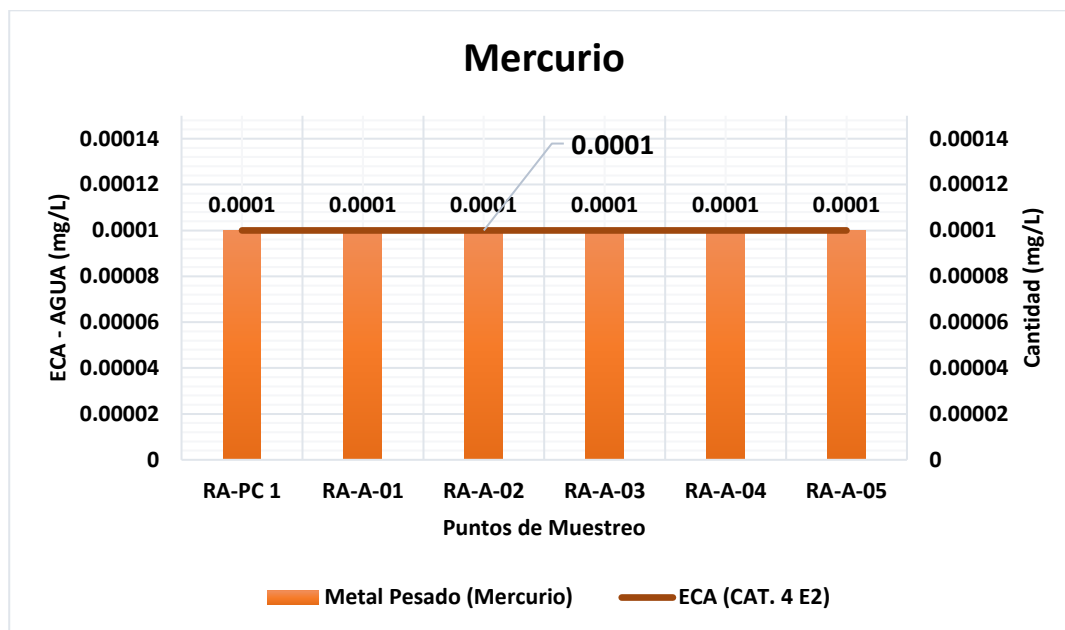
Nota. La tabla muestra las concentraciones del factor estresante (Hg) y los ECA agua de conservación del ambiente acuático para ríos de selva.

En la Tabla 22 se observa un mismo valor de concentración del factor estresante Hg en 0.0001 mg/L de agua, siendo el mismo valor del ECA agua para conservación del ambiente acuático (para ríos de selva), por lo tanto, se encuentra en el límite del ECA, debido principalmente a la baja dilución por la toma de muestras en temporada de estiaje que mantiene en mismas cantidades las concentraciones del mercurio en agua y viendo que a lo largo del área estudiada se visualizan extensiones agrícolas, influyendo en la presencia del factor estresante.

Para efectos de la comparación de las concentraciones del factor estresante (Hg) se visualiza en la siguiente figura:

Figura 26

Concentraciones del factor estresante (Hg) respecto al ECA agua (Cat. 4)



Nota. La figura muestra la comparativa entre los resultados de los ensayos de laboratorio con los ECA agua de Cat. 4 (para ríos de selva).

➤ Resultados estadísticos del objetivo específico 2

Se utilizó test de prueba para determinar si datos son paramétricos o no paramétricos, las cuales vienen indicadas por si los datos siguen una distribución normal, se realizó dicha prueba en el programa IBM SPSS Statistics, mediante la prueba de Shapiro-Wilks, se aplicó dicha prueba puesto que el tamaño de la muestra que se analizó es menor a 50, tomando como resultados para el valor de significancia (p – valor) teniendo como valor crítico a 0.05, se tiene lo siguiente:

- Si $P - \text{valor} > 0.05$, los datos siguen una distribución normal
- Si $P - \text{valor} < 0.05$, los datos no siguen una distribución normal

Simbólicamente se tiene:

$$\text{Si } p - \text{valor} > 0.05 \rightarrow X \sim N(\mu, \sigma^2)$$

$$\text{Si } p - \text{valor} < 0.05 \rightarrow X \neq N(\mu, \sigma^2)$$

Procediendo con la prueba de Shapiro-Wilks, se obtuvieron los siguientes resultados en el programa IBM SPSS Statistics:

Figura 27

Prueba de normalidad de IBM SPSS Statistics para metales pesados tóxicos en muestras de agua natural

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Mercurio	.	6	.	.	6	.
Plomo	.376	6	.008	.609	6	<.001

a. Corrección de significación de Lilliefors

Nota. Extraído de IBM SPSS Statistics. En la imagen se muestran los datos obtenidos en el test de prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para concentraciones de metales pesados en las muestras de agua.

Interpretación:

A) Para el caso del **mercurio (Hg)**, el programa no muestra el valor de significancia por tratarse de valores constantes, indicando que las muestras para este factor estresante **no siguen una distribución normal** ni ninguna otra.

B) Para el caso del **plomo (Pb)** el programa muestra un valor de significancia (p - valor) menor a 0.001, por tanto, sugiere que las muestras de agua para este factor estresante **no siguen una distribución normal**.

Basados en los resultados obtenidos en el test de prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, se concluyó en lo siguiente:

Los metales pesados mercurio (Hg) y plomo (Pb) no siguen una distribución normal. Para realizar la prueba de hipótesis se consideró una **prueba de datos no paramétricos**

➤ **Contraste de hipótesis específica 2:**

Se disponen de las hipótesis de la investigación planteadas y relacionadas a la concentración de metales pesados en las muestras de agua, las cuales se plantearon de la siguiente manera:

- H_A : La exposición ambiental de los peces a factores estresantes (Pb y Hg) es mayor o igual a los ECA agua (cat. 4) en la cuenca media del río Araza.
- H_O : La exposición ambiental de los peces a factores estresantes (Pb y Hg) no es mayor o igual a los ECA agua (cat. 4) en la cuenca media del río Araza.

Para proceder con la prueba de hipótesis se trabajó con el factor estresante plomo (Pb), al no seguir una distribución normal, se aplicó una prueba no paramétrica, se utilizó la prueba de signos o prueba Wilcoxon para una muestra, puesto que se comparan los datos de las concentraciones del factor estresante respecto a un valor fijo (ECA agua Cat. 4), evaluando así las diferencias respecto a dicho valor fijo cuando los parámetros no se cumplen (Siegel & Castellan, 1988), teniendo:

1. Prueba Wilcoxon

En esta prueba no paramétrica se comparó la concentración del factor estresante plomo (Pb) con el valor de 0.0025 mg/L que representa al ECA agua de Cat. 4 (conservación del ambiente acuático para ríos de selva), se analizó en el programa IBM SPSS Statistics; para la interpretación del valor de significancia (p – valor) se consideraron las siguientes relaciones:

- Si $p - \text{valor} > 0.05$, La concentración del factor estresante plomo (Pb) supera significativamente el valor 0.0025 mg/L (ECA agua).
- Si $p - \text{valor} < 0.05$, La concentración del factor estresante plomo (Pb) no supera significativamente el valor 0.0025 mg/L (ECA agua).

Procediendo con la prueba de Wilcoxon, se obtuvieron los siguientes resultados en el programa IBM SPSS Statistics:

Figura 28

Prueba de Wilcoxon de IBM SPSS Statistics para el factor estresante plomo (Pb)

Estadísticos descriptivos				
	N	Media	Desv. estándar	Mínimo Máximo
Plomo	6	.0012600	.00244972	.00002 .00620
Lim_PLOMO	6	.0025000	.00000000	.00250 .00250

Prueba de rangos con signo de Wilcoxon				
Rangos				
		N	Rango promedio	Suma de rangos
Lim_PLOMO - Plomo	Rangos negativos	1 ^a	6.00	6.00
	Rangos positivos	5 ^b	3.00	15.00
	Empates	0 ^c		
	Total	6		

a. Lim_PLOMO < Plomo
b. Lim_PLOMO > Plomo
c. Lim_PLOMO = Plomo

Estadísticos de prueba ^a	
	Lim_PLOMO - Plomo
Z	-.954 ^b
Sig. asin. (bilateral)	.340

a. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon
b. Se basa en rangos negativos.

Nota. Extraído de IBM SPSS Statistics. En la figura se muestra los resultados de la prueba de Wilcoxon para el metal pesado plomo en muestras de agua.

Interpretación

Se tiene que en la prueba de rangos, la primera muestra tiene una concentración mayor que el ECA Cat. 4 y las demas son menores, mediante el estadístico de prueba se tiene que el valor de significancia (p-valor) es de 0.340, siendo mayor al valor crítico (p - valor > 0.05), por ende, mediante este estadístico de prueba se menciona que el factor estresante plomo (Pb) supera significativamente el valor de 0.0025 mg/L (ECA agua - Cat. 4), para fines prácticos y comparativos sobre el resultado obtenido en el prueba Wilcoxon, se confirma de manera descriptiva observando la figura 25 de las concentraciones del plomo

respecto al ECA agua (Cat. 4), indicando que en mas del 50 % de los puntos muestreados no se superan los estándares.

Para probar la hipótesis de la investigación, se tiene el valor constante del factor estresante mercurio (Hg), para el cual se recomienda realizar una comparación descriptiva de los datos obtenidos con los estándares (Perkins et al., 2013) que representan sus valores referenciales y normados según el MINAM, además avalados en la noción descriptiva de la presente hipótesis, tenemos entonces:

Para el caso del mercurio (Hg), se tiene la figura 26 de las concentración de metal pesado mercurio en las muestras de agua, donde se evidenció que los valores se encuentran superponiéndose a los ECA para agua de Cat. 4 de conservación del ambiente acuático (0.0001 mg/L) para ríos de selva, por lo cual dichas concentraciones son iguales a los estándares normados, por ende, para este factor estresante se acepta que: “La exposición ambiental en el medio acuático por mercurio (Hg) es mayor o igual a 0.0001 mg/L”.

➤ **Resultado del análisis estadístico de hipótesis específica 2:**

Tabla 23

Tabla para decisión estadística en muestras de agua

Hipótesis Alterna	Prueba	Sig.	Decisión
La exposición ambiental de los peces a factores estresantes (Pb y Hg) es mayor o igual a los ECA agua (cat. 4) en la cuenca media del río Araza	Prueba Wilcoxon	0.340	Se acepta la hipótesis alterna

Nota. Se muestra la prueba no paramétrica para la decisión de la hipótesis de la investigación.

Finalmente, acorde al estadístico de prueba Wilcoxon y a la comparación descriptiva analizada para el factor estresante mercurio (Hg), ya se cuenta con suficiente evidencia

estadística para aceptar la hipótesis alterna de la investigación y rechazar la hipótesis nula “La exposición ambiental de los peces a factores estresantes (Pb y Hg) no es mayor o igual a los ECA agua (cat. 4) en la cuenca media del río Araza”, por lo tanto, los resultados sugieren que en el medio acuático existe un incremento en la concentración del factor estresante plomo (Pb) y para el factor estresante mercurio (Hg) al mantenerse en el límite del estándar con una concentración de 0.0001 mg/L, representa un posible riesgo que siga incrementando las concentraciones de los factores estresantes (Pb y Hg) en la matriz agua de la cuenca media del río Araza.

5.1.3. Índice de toxicidad por plomo (Pb) en especies análogas de peces en la estimación del nivel de riesgo ecológico.

Los índices se obtienen del tercer paso descrito en la metodología y para el cálculo del riesgo ecológico es necesario desarrollar todos los pasos identificados.

Para el riesgo ecológico del metal pesado plomo (Pb) a consecuencia de la concentración del índice de toxicidad por plomo, se emplearon los siguientes pasos:

- **Primer paso**

Determinar el contaminante de preocupación:

El contaminante de preocupación se considera al plomo (Pb) como factor estresante que superó la concentración en el punto RA-PC 1 y por proximidad del punto RA-A-01 con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA – Cat. 4).

- **Segundo paso**

Se identificó los campos necesarios para el cálculo del riesgo ecológico (RQ) ubicados en la ecuación (2).

Por lo tanto, para el cálculo del RQ, se necesitó determinar la concentración de los índices de toxicidad (NOEC o CE50) y el factor de seguridad de plomo total en la base de

datos del ECOTOX.

- **Tercer paso**

Obtención de la concentración de los índices de toxicidad para el cálculo del RQ

Para la obtención de dichos índices se siguieron los pasos identificados en el flujograma descrito en el Figura 17 (caso de plomo), de las cuales se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 24*Resultados del ECOTOX para plomo total*

Nombre Químico	Nombre científico de la especie	Nombre común de la especie	Grupo de especie	Tipo de medio	Tipo Concentración 1 (Estandarizado)	Concentración 1 Media (Estandarizada)	Unidades de concentración 1 (Estandarizadas)	Efecto	Medición de efectos	Punto final
Plomo	Clarias gariepinus	Bagre africano	Pez	Agua dulce	Total	0.45	mg/L	Bioquímica	Concentración media de hemoglobina corpuscular (celular)	NOE C
Plomo	Clarias gariepinus	Bagre africano	Pez	Agua dulce	Total	0.45	mg/L	Bioquímica	Hematocrito (anemia)	NOE C
Plomo	Salvelinus fontinalis	Trucha de arroyo	Peces, especies de prueba estándar	Agua dulce	Total	1.7	mg/L	Mortalidad	Supervivencia	NOE C
Plomo	Cyprinus carpio	Carpa común	Peces, especies de prueba estándar	Agua dulce	Disuelto	0.017	mg/L	Acumulación	Residuo	NOE C
Plomo	Cyprinus carpio	Carpa común	Peces, especies de prueba estándar	Agua dulce	Disuelto	0.128	mg/L	Acumulación	Residuo	NOE C
Plomo	Cyprinus carpio	Carpa común	Peces, especies de prueba estándar	Agua dulce	Disuelto	0.128	mg/L	Acumulación	Residuo	NOE C
Plomo	Cyprinus carpio	Carpa común	Peces, especies de prueba estándar	Agua dulce	Disuelto	0.00003	mg/L	Acumulación	Residuo	NOE C

Plomo	Cyprinus carpio	Carpa común	Peces, especies de prueba estándar	Agua dulce	Disuelto	0.017	mg/L	Acumulación	Residuo	NOE C
Plomo	Cyprinus carpio	Carpa común	Peces, especies de prueba estándar	Agua dulce	Disuelto	0.00007	mg/L	Acumulación	Residuo	NOE C
Plomo	Cyprinus carpio	Carpa común	Peces, especies de prueba estándar	Agua dulce	Disuelto	0.017	mg/L	Acumulación	Residuo	NOE C
Plomo	Salvelinus fontinalis	Trucha de arroyo	Peces, especies de prueba estándar	Agua dulce	Total	3.2	mg/L	Crecimiento	Peso seco (Solo adquirido)	NOE C
Plomo	Cyprinus carpio	Carpa común	Peces, especies de prueba estándar	Agua dulce	Disuelto	0.00003	mg/L	Acumulación	Residuo	NOE C
Plomo	Salvelinus fontinalis	Trucha de arroyo	Peces, especies de prueba estándar	Agua dulce	Total	2	mg/L	Mortalidad	Supervivencia	NOE C
Plomo	Salvelinus fontinalis	Trucha de arroyo	Peces, especies de prueba estándar	Agua dulce	Total	3.4	mg/L	Crecimiento	Peso seco (Solo adquirido)	NOE C
Plomo	Cyprinus carpio	Carpa común	Peces, especies de prueba estándar	Agua dulce	Disuelto	0.00007	mg/L	Acumulación	Residuo	NOE C
Plomo	Cyprinus carpio	Carpa común	Peces, especies de prueba estándar	Agua dulce	Disuelto	0.00003	mg/L	Acumulación	Residuo	NOE C
Plomo	Oncorhynchus mykiss	Trucha arcoíris	Peces, especies de prueba estándar, especies amenazadas y en peligro de extinción de E.E.U.U.	Agua dulce	Disuelto	0.0182	mg/L	Mortalidad	Mortalidad	NOE C
Plomo	Oncorhynchus mykiss	Trucha arcoíris	Peces, especies de prueba estándar, especies	Agua dulce	Disuelto	0.004	mg/L	Mortalidad	Mortalidad	NOE C

Plomo	Oncorhynchus mykiss	Trucha arcoíris	amenazadas y en peligro de extinción de E.E.U.U. Peces, especies de prueba estándar, especies amenazadas y en peligro de extinción de E.E.U.U.	Agua dulce	Disuelto	0.0072	mg/L	Mortalidad	Mortalidad	NOEC
-------	---------------------	-----------------	---	------------	----------	--------	------	------------	------------	------

Nota. Obtenido de la base de datos del ECOTOX en base al EPA (2024) para el plomo total

De la Tabla 24 se consideró la concentración del índice de toxicidad NOEC para la especie *Salvelinus fontinalis*, considerando el mayor valor de NOEC para dicha especie acorde a requerimiento para el cálculo del RQ (Planes & Fuchs, 2015; MINAM, 2015), tomando el valor de: $NOEC (Pb) = 3.4 \text{ mg/L}$ para la toxicidad crónica, que acorde a los objetivos de la investigación y la definición de toxicidad crónica según Ramírez (2021) se evalúan los efectos de sustancias tóxicas en el metabolismo de las especies en largos periodos de tiempo; asimismo, se considera el peso seco adquirido por el medio ecológico hacia los peces, teniendo como efecto el crecimiento de los peces, sin considerar los demás efectos de la sustancia tóxica obtenidos de la base de datos del ECOTOX.

Consiguientemente para el cálculo del RQ es necesario determinar el factor de seguridad, de la Tabla 23 se observan 6 investigaciones referentes al plomo total, además de la calidad de los datos se tomó como factor de seguridad el valor de 100, debido a la cantidad y calidad de los resultados obtenidos, puesto que el factor de seguridad es inversamente proporcional a estas, debido también a que los valores crónicos de la toxicidad NOEC en peces son disponibles para una especie de pez independiente como fueron analizadas en la presente investigación (Planes & Fuchs, 2015; Guo et al., 2020)

- **Cuarto paso**

Se Identificó y comparó la analogía de la especie *Salvelinus fontinalis*, con las demás especies muestreadas:

Para describir la analogía de las especies, se detalló la descripción de la especie *Salvelinus fontinalis* obtenidas por el ECOTOX:

Tabla 25

Descripción de la especie *Salvelinus fontinalis*

Nombre científico	Nombre común	Características y morfología	Taxonomía	Distribución y hábitat	Comportamiento y alimentación	Importancia ecológica
<i>Salvelinus fontinalis</i> (National Park Service, 2015) (Fishbase, s.f.) (Mitchill, 1814)	Brook Trout – trucha de arroyo	Pez de agua dulce, presenta cuerpo fusiforme, alargado y comprimido ligeramente por los laterales, con una cabeza aproximadamente grande con respecto al cuerpo y con hocico pronunciado, además de ojos de tamaño considerable para detección de presas en baja presencia de luz; presenta una coloración variable, pero de color verde con manchas claras en su dorso y con flancos de color anaranjado o blanco, su aleta adiposa se encuentra entre la aleta caudal y la aleta dorsal, así como también sus aletas anales y pélvicas muestran bordes blancos continuados de una franja negra.	• Reino: Animalia • Filo: Chordata • Clase: Actinopterygii • Orden: Salmoniformes • Familia: Salmonidae • Género: <i>Salvelinus</i> • Especie: <i>Salvelinus fontinalis</i>	Especie originaria del Norte de América, en ríos y lagos de aguas frías y bien oxigenadas, fue introducida en Europa y Sudamérica, prefiere hábitats con un medio de roca o grava y de aguas claras, con un rango de temperatura de entre 13 y 18 °C, que por adaptabilidad puede tolerar mayores temperaturas.	Es un pez carnívoro que tiene como dieta principal alimentarse de invertebrados acuáticos como crustáceos o insectos, pero también está basada en peces pequeños y anfibios, posee una actividad diurna para su alimentación, es una especie territorial con predominancia en época reproductiva.	Es importante en el ecosistema, al ser depredador de invertebrados y de otros organismos de menor tamaño, contribuye al equilibrio ecológico, pero en zonas introducidas como Sudamérica, compite con las especies oriundas y modifica su comportamiento ecológico normal.

Nota. La tabla muestra el nombre científico, nombre común, características, morfología, taxonomía, distribución e importancia ecológica de la especie *Salvelinus fontinalis*.

Se relacionó la Tabla 2 con la Tabla 25, para establecer las analogías entre dichas especies, ejemplificadas en la Tabla 25.

Tabla 26

Comparación de especies de pez – analogías para mercurio y plomo

Consideraciones análogas	Especies			
	<i>Pseudorinelepis genibarbis</i>	<i>Rhamdia quelen</i>	<i>Etheostoma spectabile</i> (mercurio)	<i>Salvelinus fontinalis</i> (plomo)
Distribución	• Clima Tropical • Habitan tanto en ríos, lagos y arroyos.			
Comportamiento y alimentación	• Comportamiento gregario • En cuanto a su alimentación esta especie la compone de detritos, materia vegetal que frota de las superficies sumergidas utilizando su boca (forma de ventosa) y también de insectos y pequeños peces • Posee hábitos nocturnos			
Importancia ecológica	12.1.1 Controlar el incremento desmedido de las algas y mantener óptima la calidad del agua en su hábitat natural.			
	12.1.2 Controla las poblaciones de invertebrados y de algunos peces de menor tamaño.			

Nota. La tabla muestra la comparación de las especies en cuanto a su distribución, comportamiento, alimentación e importancia ecológica; indicando la analogía entre ellas.

Teniendo como resultado de la comparación una analogía exitosa en cuanto a su distribución, comportamiento, alimentación e importancia ecológica en el ecosistema acuático, por consiguiente: las especies son análogas a la especie *Salvelinus fontinalis*.

- **Quinto paso**

Cálculo del riesgo ecológico:

Para el cálculo del RQ se diferenciaron por puntos de muestreo, tomando primeramente el punto RA-PC 1 y el punto RA-A-01, en la cual se utilizó la ecuación (2), desarrollando para el punto RA-PC 1 y RA-A-01 se tiene:

$$NEC = \frac{3.4 \text{ mg/L}}{100}$$

$$NEC = 0.034 \text{ mg/L}$$

Por consiguiente, la concentración efectiva no observable (NEC) tiene un valor de 0.034 mg/L.

Para finalmente calcular el RQ se emplea la ecuación (1), teniendo así:

Cálculo del riesgo para el punto RA-PC 1

Para desarrollar la ecuación (1), se determina la concentración de la exposición esperada (CEE) de las especies en la matriz agua, tomando como valor el punto RA-PC1 con un valor de 0.0062 mg/L obtenidos de los ensayos de laboratorio para las muestras de agua natural.

Desarrollando se tiene:

$$RQ = \frac{0.0062 \text{ mg/L}}{0.034 \text{ mg/L}}$$

$$RQ = 0.18235$$

Por consiguiente, el riesgo ecológico calculado (RQ) para plomo en el punto RA-PC 1, toma un valor de **0.18235**.

a) Cálculo del riesgo para el punto RA-A-01

Para desarrollar la Ec. (1), se determina la concentración de la exposición esperada (CEE) de las especies en la matriz agua, tomando como valor el punto RA-A-01 con un valor de 0.001 mg/L obtenidos de los ensayos de laboratorio para las muestras de agua natural.

Desarrollando se tiene:

$$RQ = \frac{0.001 \text{ mg/L}}{0.034 \text{ mg/L}}$$

$$RQ = 0.02941$$

Por consiguiente, el riesgo ecológico calculado (RQ) para plomo en punto RA-A-01, toma un valor de **0.02941**.

- **Sexto paso**

Caracterización del riesgo ecológico calculado

Para caracterizar al riesgo ecológico se utilizó la Tabla 13, que contiene la interpretación del valor obtenido del riesgo ecológico calculado (RQ).

a) Caracterización del riesgo ecológico para el punto RA-PC 1

Tomando como resultado del RQ para plomo en punto RA-PC 1 un valor de: 0.18235, es menor a 1, tomándose como interpretación de **“Riesgo aceptable”**, considerándose un **riesgo bajo** que las especies de la matriz agua toleran al metal pesado plomo.

b) Caracterización del riesgo ecológico para el punto RA-A-01

Tomando como resultado del RQ para plomo en punto RA-A-01 un valor de: 0.02941, es menor a 1, tomándose como interpretación de **“Riesgo aceptable”**, considerándose un **riesgo bajo** que las especies de la matriz agua toleran al metal pesado plomo.

➤ Contraste de hipótesis específica 3:

Para la prueba de hipótesis respecto a los resultados obtenidos resulta apropiado realizar una comparación puntual de los resultados obtenidos bajo los criterios externos del cálculo del riesgo ecológico en la matriz agua antes de recurrir a pruebas o análisis estadísticos, por preentar valores únicos y constantes que no reflejan una variabilidad muestral (Perkins et al., 2013), de igual forma Hernández-Sampieri et al. (2014) menciona que éstas hipótesis establecen valores de variables observadas que buscan describir un fenómeno natural sin requerir un contraste estadístico inferencial. Por ende, para la prueba de hipótesis respectiva a estos resultados, se compararon las concentraciones del plomo en especies análogas (base de datos del ECOTOX) en las que se observan efectos adversos con las concentraciones de los factores estresantes en la matriz agua (mg/L). A partir de dicha

comparación se determinaron los riesgos ecológicos para dicho metal, siendo estos los resultados obtenidos, se procedió a realizar la comparativa con la hipótesis de la investigación, para tales efectos se tiene las siguientes hipótesis:

- H_A : El índice de toxicidad por plomo (Pb) en especies análogas de peces estima un nivel de riesgo ecológico “No aceptable”.
- H_O : El índice de toxicidad por plomo (Pb) en especies análogas de peces estima un nivel de riesgo ecológico “Aceptable”.

Teniendo las hipótesis, se realizó la comparación en la siguiente tabla:

Tabla 27

Tabla comparativa de hipótesis para riesgo ecológico - plomo

Hipótesis de Investigación	Resultados Obtenidos
H_A : El índice de toxicidad por plomo (Pb) en especies análogas de peces estima un nivel de riesgo ecológico “No aceptable” en la cuenca media del río Araza	Se analizaron los dos puntos más elevados de concentración del metal pesado (RA-PC 1 y RA-A-01), resultando para el punto RA-PC 1 un valor de Riesgo ecológico (RQ) de 0.18235 y del punto RA-A-01 se obtuvo un valor de Riesgo ecológico (RQ) de 0.02941, considerándose en ambos casos un riesgo ecológico “Aceptable”.

Nota. La tabla muestra la comparativa entre los resultados obtenidos con la hipótesis planteada.

➤ **Resultado del contraste de hipótesis específica 3:**

Teniendo en cuenta la tabla 27, ya se tiene evidencia suficiente para rechazar la hipótesis alterna “ H_A : El índice de toxicidad por plomo (Pb) en especies análogas de peces estima un nivel de riesgo ecológico “No aceptable” y **aceptar la hipótesis nula**, puesto que en los puntos muestreados no existe riesgo ecológico, pero sugieren un leve incremento en

sus niveles de concentración de plomo.

5.1.4. Índice de toxicidad por mercurio (Hg) en especies análogas de peces en la estimación del nivel de riesgo ecológico.

Los índices se obtienen del tercer paso descrito en la metodología y para el cálculo del riesgo ecológico es necesario desarrollar todos los pasos identificados.

Para el riesgo ecológico del metal pesado mercurio (Hg) a consecuencia de la concentración del índice de toxicidad por mercurio, se emplearon los siguientes pasos:

- **Primer paso**

Determinar el contaminante de preocupación:

El contaminante de preocupación se considera al factor estresante (Hg) por la igualdad de la concentración de los puntos de muestreo con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA agua – Cat. 4)

- **Segundo paso**

Identificar los campos necesarios para el cálculo del riesgo ecológico (RQ) ubicados en la ecuación (2), por lo tanto, para el cálculo del RQ, se necesitó identificar la concentración de los índices de toxicidad (NOEC o CE50) y el factor de seguridad de mercurio total en la base de datos del ECOTOX.

- **Tercer paso**

Obtención de la concentración de los índices de toxicidad para el cálculo del RQ

Para la obtención de dichos valores se siguieron los pasos descritos en el Figura 16 (caso de mercurio), de las cuales se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 28

Resultados del ECOTOX para mercurio total

Nomb re Quimi co	Nombre cientifico de la especie	Nombre común de la especie	Grupo de especie	Tipo de medi o	Tipo Concentración 1 (Estandarizado)	Concentración 1 Media (Estandarizada)	Unidades de concentración 1 (Estandarizadas)	Efec to	Medici ón de efectos	Pun to final
Mercur io	Etheostoma spectabile	Darter de garganta naranja	Pez	Agua dulce	Total	0.0342	mg/L	Mort alida d	Escotill a	EC ₅₀
Mercur io	Etheostoma spectabile	Darter de garganta naranja	Pez	Agua dulce	Total	0.0344	mg/L	Mort alida d	Escotill a	EC ₅₀
Mercur io	Etheostoma spectabile	Darter de garganta naranja	Pez	Agua dulce	Total	0.0484	mg/L	Mort alida d	Escotill a	EC ₅₀
Mercur io	Etheostoma spectabile	Darter de garganta naranja	Pez	Agua dulce	Total	0.0401	mg/L	Crec imie nto	Anorma lidad	EC ₅₀
Mercur io	Etheostoma spectabile	Darter de garganta naranja	Pez	Agua dulce	Total	0.0608	mg/L	Crec imie nto	Anorma lidad	EC ₅₀
Mercur io	Etheostoma spectabile	Darter de garganta naranja	Pez	Agua dulce	Total	0.0352	mg/L	Mort alida d	Escotill a	EC ₅₀
Mercur io	Etheostoma spectabile	Darter de garganta naranja	Pez	Agua dulce	Total	0.0211	mg/L	Mort alida d	Escotill a	EC ₅₀
Mercur io	Etheostoma spectabile	Darter de garganta naranja	Pez	Agua dulce	Total	0.0185	mg/L	Mort alida d	Escotill a	EC ₅₀

Mercurio	Etheostoma spectabile	Darter de garganta naranja	Pez	Agua dulce	Total	0.0722	mg/L	Mortalidad	Escotilla	EC ₅₀
Mercurio	Etheostoma spectabile	Darter de garganta naranja	Pez	Agua dulce	Total	0.045	mg/L	Crecimiento	Anormalidad	EC ₅₀
Mercurio	Etheostoma spectabile	Darter de garganta naranja	Pez	Agua dulce	Total	0.0406	mg/L	Crecimiento	Anormalidad	EC ₅₀
Mercurio	Etheostoma spectabile	Darter de garganta naranja	Pez	Agua dulce	Total	0.0492	mg/L	Mortalidad	Escotilla	EC ₅₀

Nota. Obtenido de la base de datos del ECOTOX en base al EPA (2024) para el mercurio total

De la Tabla 28 se consideró al índice de toxicidad “EC₅₀ o CE₅₀” para la especie *Etheostoma spectabile*, considerando el mayor valor de EC50 para dicha especie acorde a requerimiento para el cálculo del RQ (Planes & Fuchs, 2015; MINAM, 2015), tomando el valor de: EC₅₀(Hg) = 0.0722 mg/L, para la toxicidad aguda, que acorde a los objetivos de la investigación y su definición según Ramírez (2021) se evalúan los efectos de sustancias tóxicas en la mortalidad de las especies de peces en cortos periodos de tiempo; asimismo se considera el peso seco adquirido por el medio ecológico hacia los peces, teniendo como efecto el crecimiento de los peces, sin considerar los demás efectos de la sustancia tóxica obtenidos de la base de datos del ECOTOX.

Consiguientemente para el cálculo del RQ es necesario determinar el factor de seguridad, de la Tabla 27, se observan 12 investigaciones referentes al mercurio total, además de la calidad de los datos se tomó como factor de seguridad el valor de 1000, debido a la cantidad y calidad de los resultados obtenidos, puesto que el factor de seguridad es inversamente proporcional a estas, debido también a que los valores agudos de la toxicidad CE50 en peces son disponibles para una especie de las tres cadenas tróficas (pez, dafnias y algas) como fueron analizadas en la presente investigación (Planes & Fuchs, 2015; Guo et al., 2020).

- **Cuarto paso**

Se identificó y comparó la analogía de la especie *Etheostoma spectabile*, con las demás especies muestreadas:

Para describir la analogía de las especies, se detalló la descripción de la especie *Etheostoma spectabile* obtenidas por el ECOTOX:

Tabla 29

Descripción de la especie *Etheostoma spectabile*

Nombre científico	Nombre común	Características y morfología	Taxonomía	Distribución y hábitat	Comportamiento y alimentación	Importancia ecológica
<i>Etheostoma spectabile</i> (Illinois Department of Natural Resources, s.f.) (DNR de Ohio, s.f.) (NatureServe, 2013) (Agassiz, 1854)	Orange throat Darter – dardo de garganta naranja	Es un pez de tamaño pequeño, el cual alcanza aproximadamente unos 7 cm de longitud, posee cuerpo alargado y comprimido a los laterales, presenta una cabeza pequeña en comparación al cuerpo, tiene ojos grandes y bien desarrollados, presenta una boca terminal y pequeña con dientes cónicos para atrapar invertebrados, la coloración varía entre verdosos y marrones, en el caso de los machos posee una coloración naranja en las aletas y garganta en época reproductiva	• Reino: Animalia • Filo: Chordata • Clase: Actinopterygii • Orden: Perciformes • Familia: Percidae • Género: Etheostoma • Especie: Etheostoma spectabile	Especie perteneciente a América del Norte, en la zona central de los EE.UU. (al sur de Ohio, en la cuenca del río Scioto), se encuentra en ríos y arroyos pequeños con fondos de grava fina o de arena gruesa, de corriente rápida a moderada, posee preferencias de aguas claras, refugiándose entre las piedras y vegetación acuática.	Considerado como una especie bentónica, que se alimenta de moscas, larvas y mosquitos, ninfas de efímeras, isópodos, anfípodos y larvas de tricópteros, pero principalmente de invertebrados acuáticos, son territoriales en época de reproducción y entierra los huevos en el sustrato.	Es muy importante en ecosistemas de agua dulce al controlar las poblaciones de invertebrados acuáticos, además que se considera como indicador de calidad de agua por su sensibilidad a la contaminación y alteraciones de su hábitat.

Nota. La tabla muestra el nombre científico, nombre común, características, morfología, taxonomía, distribución e importancia ecológica de la especie *Etheostoma spectabile*

Para ejecutar las analogías se relacionan la Tabla 2, con la Tabla 29, para establecer las analogías entre dichas especies, ejemplificadas en la Tabla 26.

Teniendo como resultado de la comparación una analogía exitosa en cuanto a su distribución, comportamiento, alimentación e importancia ecológica en el ecosistema acuático, por consiguiente: las especies son análogas a la especie *Etheostoma spectabile*.

- **Quinto paso**

Cálculo del riesgo ecológico

Para el cálculo del RQ, primeramente, se utilizó la ecuación (2), que desarrollando se tiene:

$$NEC = \frac{0.0722 \text{ mg/L}}{1000}$$

$$NEC = 0.0000722 \text{ mg/L}$$

Por consiguiente, la concentración efectiva no observable (NEC) tiene un valor de 0.0000722 mg/L

Para finalmente calcular el RQ se emplea la ecuación (1), se determina la concentración de la exposición esperada (CEE) de las especies en la matriz agua, tomando como valor 0.0001 mg/L obtenidos de los ensayos de laboratorio para las muestras de agua natural.

Desarrollando se tiene:

$$RQ = \frac{0.0001 \text{ mg/L}}{0.0000722 \text{ mg/L}}$$

$$RQ = 1.3850$$

Por consiguiente, el riesgo ecológico calculado (RQ) para mercurio toma un valor de **1.3850**.

- **Sexto paso**

Caracterización del riesgo ecológico calculado

Para caracterizar al riesgo ecológico se utilizó la Tabla 14 que contiene la interpretación del valor obtenido del riesgo ecológico calculado (RQ).

Tomando como resultado del RQ para mercurio un valor de: 1.3850, es mayor a 1, tomándose como interpretación de **“Riesgo no aceptable”**, considerándose un **riesgo elevado** que las especies de la matriz agua no toleran el metal pesado tóxico mercurio.

- **Contraste de hipótesis específica 4:**

Para la prueba de hipótesis respecto a los resultados obtenidos resulta apropiado realizar una comparación puntual de los resultados obtenidos bajo los criterios externos del cálculo del riesgo ecológico en la matriz agua antes de recurrir a pruebas o análisis estadísticos, por preentar valores únicos y constantes que no reflejan una variabilidad muestral (Perkins et al., 2013), de igual forma Hernández-Sampieri et al. (2014) menciona que éstas hipótesis establecen valores de variables observadas que buscan describir un fenómeno natural sin requerir un contraste estadístico inferencial. Por ende para la prueba de hipótesis respectiva a estos resultados, se compararon las concentraciones del mercurio en especies análogas (base de datos del ECOTOX) en las que se observan efectos adversos con las concentraciones de los factores estresantes en la matriz agua (mg/L). A partir de dicha comparación se determina un riesgo ecológico por la presencia mercurio en todos los puntos, se procedió a realizar la comparativa con la hipótesis de la investigación, teniendo así:

- H_A : El índice de toxicidad por mercurio (Hg) en especies análogas de peces estima un nivel de riesgo ecológico “No aceptable”.
- H_O : El índice de toxicidad por mercurio (Hg) en especies análogas de peces estima un nivel de riesgo ecológico “aceptable”.

Teniendo las hipótesis, se realizó la comparación en la siguiente tabla:

Tabla 30

Tabla comparativa de hipótesis para riesgo ecológico - mercurio

Hipótesis de Investigación	Resultados Obtenidos
H_A : El índice de toxicidad por mercurio (Hg) en especies análogas de peces estima un nivel de riesgo ecológico “No aceptable”.	Para el metal pesado mercurio (Hg): El valor obtenido de Riesgo ecológico (RQ) es de 1.3850, se considera riesgo ecológico “No aceptable” que las especies de la matriz agua no toleran el metal pesado mercurio.

Nota. La tabla muestra la comparativa entre los resultados obtenidos con la hipótesis planteada.

➤ **Resultado del contraste de hipótesis específica 4:**

Teniendo en cuenta la tabla 30, ya se tiene evidencia suficiente para **aceptar la hipótesis alterna** “ H_A : El índice de toxicidad por mercurio (Hg) en especies análogas de peces estima un nivel de riesgo ecológico “No aceptable” y rechazar la hipótesis nula, puesto que en todos los puntos de agua muestreados se encuentran en el mismo valor del estándar de calidad de agua de Cat. 4 y que dichas concentraciones representan un riesgo ecológico elevado.

5.2. Discusión de resultados

Discusión con respecto a la bioacumulación de metales pesados (Pb y Hg) en tejido muscular de peces para el cálculo de riesgo ecológico.

Los resultados de la investigación, respecto a los análisis de laboratorio muestran que la especie *Rineloricaria Reisi* presentó alta bioacumulación de plomo (Pb) con 0.1253 mg/kg y de mercurio (Hg) con 0.0823 mg/kg; y según la clasificación de especies

consumibles por el ser humano, la *Pseudorinelepis genibarbis* presenta alta bioacumulación de plomo (0.019 mg/kg) y *Rhamdia quelen* presenta alta bioacumulación de mercurio (0.0642 mg/kg), sin embargo, no superan los valores de referencia nacionales e internacionales, así como también menciona Toribio & Solano (2020) las especies analizadas poseen una concentración media de mercurio de 0.162 mg/kg que no superan los LMP (CODEX alimentarius, SANIPES y UE) y difiriendo con el plomo, donde se superan dichos LMP. Concordando con Arriola et al. (2021) y Quispe (2021) donde mencionan que las especies muestreadas no superan los LMP para plomo y mercurio en tejido muscular, concluyendo que las especies son aptas para el consumo humano. Si bien los peces son indicadores de contaminación por metales pesados, la bioacumulación está directamente asociada a actividades mineras (Brito et al., 2022); dichas actividades mineras se visualizaron en la primera fase de campo. En la investigación, todas las especies presentan bioacumulación de Pb y Hg, sin embargo Zamani-Ahmadm Mahmoodi et al. (2020) menciona que las especies al no superar las concentraciones límites, pueden causar efectos adversos en organismos de la cadena trófica superior, es necesario tomar precaución en el consumo desmedido de las especies *Pseudorinelepis genibarbis* y *Rhamdia quelen* que son obtenidas entre los kilómetros 175 al 185 de la cuenca media del río Araza y que son base alimenticia de las poblaciones de Marcapata y Camanti.

Discusión con respecto a la exposición ambiental de los peces a factores estresantes (Pb y Hg).

Los resultados de la investigación, respecto a los análisis de laboratorio en muestras de agua evidencian altas concentraciones del factor estresante plomo (Pb) en el punto RA-PC1 con un valor de 0.0062 mg/L superando el ECA agua Cat. 4 y en el factor estresante mercurio (Hg) con un valor de 0.0001 mg/L en todos los puntos muestreados encontrándose al límite del ECA agua de Cat. 4; en cuanto al factor estresante mercurio concordamos con

Vercauteren (2020) ya que las muestras de agua no presentan contaminación por factores estresantes al encontrarse por debajo del nivel de detección analítica, sin embargo el valor se encuentra al límite del ECA agua de Cat. 4 (0.0001 mg/L) y difiriendo con Vásquez (2022) al mencionar que en el río Ichu, los valores de concentración del factor estresante mercurio (Hg) supera el ECA agua de Cat. 4 y el plomo no supera estos valores de referencia; por lo tanto, la presencia de los factores estresantes (Pb y Hg) en el medio acuático, representan un riesgo ecológico para el área de estudio, una vez que estas concentraciones son mayor o igual a los ECA agua según sea su categoría, donde Cornejo & Pacheco (2009) menciona que la presencia de los factores estresantes se deben a las actividades mineras desarrolladas a lo largo del río, también evidenciadas en la primera fase de campo; la exposición ambiental a la que se encuentran sometidos las especies hidrobiológicas poseen una relación directa con la bioacumulación de metales pesados en su tejido muscular y que la exposición no se encuentra dentro de los Estándares de Calidad Ambiental para agua de Cat. 4 (conservación del ambiente acuático para ríos de selva) en el apartado de parámetros inorgánicos.

Discusión con respecto al índice de toxicidad por metales pesados (Pb y Hg) en especies análogas de peces en la estimación del nivel de riesgo ecológico.

Los resultados de la investigación respecto al índice de toxicidad por metales pesados (Pb y Hg) en las especies análogas de peces se tiene que, para el Plomo, la especie muestreada *Rhamdia quelen* presenta una analogía con la especie *Salvelinus fontinalis*, que debido a los ensayos de toxicidad desarrollados en la base de datos del ECOTOX, se obtuvo el índice de toxicidad de 3.4 mg/L en la concentración efectiva no observable (NOEC) para la estimación del nivel de riesgo ecológico, siendo de nivel “Aceptable” para todos los puntos. Asimismo, para el mercurio la especie muestreada *Pseudorinelepis genibarbis* presentó una analogía con la especie *Etheostoma spectabile*, que debido a los ensayos de

toxicidad desarrollados en la base de datos del ECOTOX, se obtuvo el índice de toxicidad de 0.0722 mg/L en la concentración efectiva media (CE50) para la estimación del nivel de riesgo ecológico, siendo “No aceptable” en todos los puntos muestreados entre los km 175 al 185 de la cuenca media del río Araza.

A falta de investigaciones toxicológicas en especies autóctonas, como las encontradas en el Río Araza, concordamos con las investigaciones de Pérez (2019) y Güere et al. (2022) que fueron desarrolladas en el área de influencia minera Coricancha, que utilizaron la misma metodología para determinar el riesgo ecológico (guía ERSA), debido a que las concentraciones de los metales pesados (Pb y Hg) fueron incrementando, generando riesgo ecológico elevado en mercurio.

Los resultados evidencian riesgo ecológico en mercurio, que se ven reflejados en cuanto al tamaño y se ven limitados en número de la población de especies hidrobiológicas como lo mencionan los pobladores; también señalado por Jisr et al. (2018) donde las especies de peces muestran relación en un crecimiento alométrico negativo a nivel morfológico atribuyéndose principalmente a las condiciones ambientales como los factores estresantes (Pb y Hg), vinculando sus características en relación a la exposición y concentración del metal pesado, afectando la supervivencia de las especies acuáticas al ingresar a las cadenas alimenticias y a los individuos receptores como a los consumidores (Bianchini & Grassi, 2017). Es necesario seguir trabajando en estos temas, dado que el análisis de riesgo es una metodología más confiable que la comparación con valores de referencia para tejido de peces en el CODEX, PRODUCE, SANIPES o EU.

VI. Conclusiones

- El riesgo ecológico por concentración de metales pesados en peces, en mercurio representa un riesgo ecológico “No aceptable” en todos los puntos de muestreo y en plomo (Pb) representa un riesgo ecológico “Aceptable” en todos los puntos.
- La bioacumulación de metales pesados en tejido muscular de peces para el cálculo de riesgo ecológico, con respecto al plomo es de 0.019 mg/kg para la especie *Pseudorinelepis genibarbis* y para mercurio es de 0.0642 mg/kg para la especie *Rhamdia quelen*, siendo las concentraciones con mayor valor de referencia que no superan los LMP nacionales (SANIPES y PRODUCE) e internacionales (CÓDEX alimentarius y UE).
- La exposición ambiental de los peces a factores estresantes, respecto al plomo es de 0.0062 mg/L en el punto RA-PC 1 y mercurio es de 0.0001 mg/L en todos los puntos muestreados a lo largo del tramo del km 175 al 185 de la cuenca media del río Araza, superando los ECA agua de Cat. 4. Necesarios para el cálculo del riesgo ecológico.
- El índice de toxicidad por plomo (Pb) en especies análogas de peces es de 3.4 mg/L de la concentración efectiva no observable (NOEC), que incide en un nivel de riesgo ecológico “Aceptable” en todos los puntos muestreados.
- El índice de toxicidad por mercurio (Hg) en especies análogas de peces es de 0.0722 mg/L de la concentración efectiva media (CE50), que incide en un nivel de riesgo “No aceptable” en todos los puntos muestreados.

VII. Recomendaciones

- Se recomienda a las autoridades locales solicitar a las entidades como el ANA, SANIPES y OEFA tomar acciones inmediatas de regulación y fiscalización ambiental por el riesgo ecológico estimado en la presente tesis, con la finalidad de salvaguardar el ecosistema y la salud pública; asimismo, implementar planes de mitigación y control, para reducir la contaminación por el vertimiento de metales pesados en la zona y realizar investigaciones sobre enfermedades crónicas a la salud humana por exposición a metales pesados dirigidos a las poblaciones expuestas aledañas a los puntos críticos.
- Se recomienda que, en futuras investigaciones desarrolladas en la zona, se investiguen la relación existente entre los factores estresantes (Metales pesados) con las características morfológicas, de comportamiento de las especies hidrobiológicas y su relación con el consumo humano,
- Se recomienda a las autoridades locales y a la Autoridad Nacional de Sanidad e Inocuidad en Pesca y Acuicultura (SANIPES) realizar campañas informativas en cuanto al consumo de las especies *Pseudorinelepis genibarbis* y *Rhamdia quelen*, ya que a pesar de que la cantidad de metales pesados (Hg y Pb) se encuentra dentro de los límites permisibles para consumo, representan riesgos a la salud pública.
- Finalmente, se recomienda realizar futuros análisis en sedimentos del río Araza en puntos críticos, principalmente aguas debajo y focos de contaminación de la población de Camanti, para determinar la concentración, causa - efecto y los riesgos socioambientales relacionados en la zona de estudio, debido a que en agua ya se viene superando el ECA de cat. 4 (E2) establecida por el MINAM.

VIII. Referencias

- Agassiz, L. (1854). Notice of a collection of fishes from the southern bend of the Tennessee River, in the State of Alabama. *American Journal of Science and Arts*, 17(2), 297-365.
- Agencia Catalana de Seguridad Alimentaria. (2022). Metilmercurio. *Generalidad de Cataluña*, 1-2. Obtenido de https://scientiasalut.gencat.cat/bitstream/handle/11351/7933/metilmercuri_2022_ca.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (U.S. EPA). (1997). *Ecological Risk Assessment Guidance for Superfund (ERAGS)*. U.S. Environmental Protection Agency. Obtenido de <https://www.epa.gov/risk/ecological-risk-assessment>
- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. (Sf.). *Terminos T*. Obtenido de <https://espanol.epa.gov/espanol/terminos-t>
- Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA). (12 de diciembre de 2024). *Base de conocimientos de ECOTOX*. Obtenido de <https://cfpub.epa.gov/ecotox/>
- Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA). (21 de junio de 2024). *Evaluación de riesgo ecológico*. Obtenido de <https://www.epa.gov/risk/ecological-risk-assessment>
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). (09 de Abril de 2024). *Introducción a la toxicología*. Obtenido de https://www.atsdr.cdc.gov/es/training/toxicology_curriculum/modules/1/module-1.pdf?utm

- Aguirre, S. E., Piraneque, N. V., & Cueto, J. L. (2021). Heavy metals concentration and physical-chemical water quality of the Ciénaga Grande de Santa Marta. *Revista U.D.C.A Actualidad and Divulgación Científica*, 24(1), 1-10. doi:<https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1313>
- Alaska Department of Environmental Conservation . (s.f.). *Evaluación de Riesgos para la Salud Humana* . Obtenido de División de Prevención y Respuesta a Derrames : <https://dec.alaska.gov/spar/csp/faq/eco-risk/>
- Ali, H., & Khan, E. (2019). Trophic transfer, bioaccumulation, and biomagnification of non-essential hazardous heavy metals and metalloids in food chains/webs—Concepts and implications for wildlife and human health. *Human and Ecological Risk Assessment*, 25(6), 1353-1376. Obtenido de <https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1469398>
- Almirón, A., Casciotta, J., Piálek, L., Ruiz, F., & Ricán, O. (2014). First record of *Rineloricaria reisi*, *R. stellata* and *R. zaina* (Siluriformes: Loricariidae) from the Río Uruguay basin in Argentina. *Check List*, 10(6), 1528-1530. doi:10.15560/10.6.1528
- Andriyono, S., Hidayati, N., Fitriani, M., Manaf, L., Habib, A., Dewi, U., & Mukadar, S. (2024). Ecological risks assessment of fishery commodities from heavy metal in The East Java Province, Indonesia . *Journal of Water and Land Development*, 60, 183-193 . doi:<https://doi.org/10.24425/jwld.2024.149120>
- Aragón, C. F. (2024). *Bioacumulación de metales pesados en la Raya mariposa *Gymnur marmorata* (Cooper, 1864) capturada en Santa Rosalía, Golfo de California, como indicador de contaminación (tesis de grado)*. Instituto Politécnico Nacional.
- Armbruster, J., & Hardman, M. (1999). Redescription of *Pseudorinelepis genibarbis* (Loricariidae: Hypostominae) with comments on behavior as it relates to air-holding.

- Ichthyological Exploration of Freshwaters*, 10(1), 53-61. Obtenido de <https://webhome.auburn.edu/~armbrjw/Pseudorinelepis.pdf>
- Arrieta, A. S., Corredor, W., & Vera, J. M. (2016). Valoración y cuantificación de metales pesados en carne de cerdo, pescado, pollo y res comercializados en Pamplona Norte de Santander. @ *limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 13(2), 163-171.
- Arriola, M. L., Choquevilca, Y. C., Becerra, A. L., Loaiza, A. N., & Fuentes, J. S. (2021). *Evaluación de la concentración de metales pesados (Pb, Hg, Cd) y As en pescados expendidos en los mercados de la ciudad del Cusco, Perú* (2 ed., Vol. 12). Cusco: Revista Q'euña. doi:10.51343/rq.v12i2.975
- Attigbo, F. K., Mohammed, A. R., & Kingslove, Q. (2020). Assessing the potential health impact of selected heavy metals that pollute lake amponsah in Bibiani, Western North region, Ghana. *Scientific African*, 9. doi:<https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00531>
- Autoridad Nacional de Sanidad e Inocuidad en Pesca y Acuicultura (SANIPES). (2020). *Procedimiento técnico sanitario para el muestreo y envío al laboratorio de recursos hidrobiológicos para el diagnóstico de enfermedades*. Ministerio de la Producción.
- Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2016). *Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales*. Lima: SINIA. doi:<https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/siar-puno/archivos/public/docs/1475.pdf>
- Baladi, M., Naseri, K., Tahergorabi, Z., Reza, M., & Sadeghi, M. (2021). Toxic Mechanisms of Five Heavy Metals: Mercury, Lead, Chromium, Cadmium, and Arsenic. *Journal of Oral and Maxillofacial Pathology*, 25(1), 157–161. doi:10.3389/fphar.2021.643972

- Benítez, O. G., Álvarez, J. G., Leira, M. S., Rico, I. L., & González, Á. R. (2015). Potencialidades de un biosorbente algal para la remoción de metales pesados. *Scielo - Tecnología Química*, 34(1), 282–294. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852014000100008
- Bianchini, F., & Grassi, L. (2017). Estudios en poblaciones afectadas por metales pesados en Pasco: Análisis ambiental de la calidad de los recursos hídricos en la zona minera de Cerro de Pasco; Biomonitorio de metales en niños y niñas del centro poblado de Paragsha, Cerro de Pasco – Perú. (& M. Centro Labor, Ed.) *Source International*. Obtenido de <https://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/4957.pdf>
- Brito, M. A., Méndez, P. Z., Alvarado, R. B., & Vinuesa, C. X. (2022). Evaluación de la contaminación por metales pesados del río Cuchipamba, Morona Santiago. *Polo del Conocimiento*, 7(7), 1987-2013. doi:10.23857/pc.v7i7
- Calow, P., & Forbes, V. (2003). ¿Informa la ecotoxicología sobre la evaluación de riesgos ecológicos? *Environmental Science and Technology*, 37(7), 146-151. Obtenido de https://pubs.acs.org/doi/epdf/10.1021/es0324003?ref=article_openPDF
- Carriquiriborde, P. (2021). Biodisponibilidad, bioconcentración, bioacumulación y biomagnificación de los contaminantes. En P. Carriquiriborde, *Principios de la Ecotoxicología* (págs. 62-92). Buenos Aires : Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP).
- Codex Alimentarius, FAO, OMS. (2005). *DOCUMENTO DE DEBATE SOBRE LOS NIVELES DE REFERENCIA PARA EL METILMERCURIO EN EL PESCADO*. La Haya: CX/FAC. Obtenido de <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%2>

52Fcodex%252FShared%2BDocuments%252FArchive%252FMeetings%252FCC
FAC%252Fccfac37%252FFA37_35s.pdf

Cornejo, D., & Pacheco, M. (2009). Contaminación de aguas y sedimentos por As, Pb y Hg de la cuenca del río Ramis, Puno - Perú. *Revista de Investigaciones*, 5(4), 33–46. doi:<https://doi.org/10.26788/riepg.v5i4.13>

Correa, M. F. (2021). *Efectos de los Metales Pesados Asociados al Proceso de Extracción y Obtención de oro en la Calidad de los Cuerpos de Agua Subterráneos en el Páramo de Santurbán Reportados en la Literatura*. Pontificia Universidad Javeriana. doi:<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/59467/Trabajo%20de%20Grado%20-%20Laura%20Catalina%20Ruiz%20Duarte.pdf?sequence=5>

Cota, M. R., Sánchez, O. E., & Lozano, M. B. (2023). Metales pesados: antagonistas de la salud en México. *Revista de la Academia Mexicana de Ciencias*, 74(3), 99. Obtenido de https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/74_3/PDF/Ciencia74-3.pdf

D.S. N°004-2017-MINAM. (07 de junio de 2017). *Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen disposiciones complementarias*. Obtenido de <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-agua-establecen-disposiciones>

De pinna, M., Ferraris, C., Vari, & Richard. (2007). Un estudio filogenético de la familia neotropical de bagres Cetopsidae (Osteichthyes, Ostariophysi, Siluriformes), con una nueva clasificación. *Revista Zoológica de la Sociedad Linneana*, 150(4), 755-813. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1096-3642.2007.00306.x>

- Deltier, E. N., Silman, M., Leiva, J. D., Alqahtani, S., Fernández, L. E., Pauca, P., . . . Lutz, D. A. (2023). A global rise in alluvial mining increases sediment load in tropical rivers. *Nature*, 620(7975), 787-793. doi:10.1038/s41586-023-06309-9
- Demetrio, P. (2021). *Evaluación de Riesgo Ecotoxicológico*. Argentina: Edulp integra la Red de Editoriales Universitarias Nacionales (REUN).
- Departamento de Estudios, Extensión y Publicaciones . (2016). *Calidad del agua*. Santiago: Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.
- DNR de Ohio. (s.f.). *Guide to the Fish of Ohio*. Obtenido de Especies de peces en Ohio: Dardo de garganta anaranjada: <http://www.fishofohio.com/ohio-fish-orangethroat-darter.htm>
- Echevarría, G., Lujan, N. K., Montoya, J., Albuja, M. G., Rivera, J. V., Sánchez, F., . . . Touma, B. R. (2024).). Abiotic and biotic factors influencing heavy metals pollution in fisheries of the Western Amazon. *Science of The Total Environment*, 908(168506). Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969723071346>
- Eduarte, A. M., Quiroz, G. V., Cuenca, F. C., & López, L. Q. (2022). Estudio retrospectivo bibliográfico multidisciplinario de las investigaciones ecotoxicológicas desarrolladas en Ecuador hasta el 2022. *Revista Ciencia UNEMI*, 17(44), 15-32. doi:<https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol17iss44.2024pp15-32p>
- ELECTRO ARAZA . (2013). *Estudio de Aprovechamiento Hídrico del Río Araza para el Proyecto Central Hidroeléctrica Limacpunco*. Lima: HYDROTECH.

- European Association of Fish Pathologists. (Sf.). *Anatomía en Teleósteros. Sistema Tegumentario*. Recuperado el 11 de Mayo de 2024, de Necropsymanual: <https://www.necropsymanual.net/es/teleosts-anatomy/piel-e-integumentario/>
- Fishbase. (s.f.). *Salvelinus fontinalis (Mitchill, 1814). Trucha de arroyo* . Obtenido de <https://www.fishbase.se/summary/salvelinus-fontinalis.html>
- Galvis, G., Mojica, J., Duque, S., Castellanos, C., Sánchez, P., Arce, M., . . . Leiva, M. (2006). *Peces del medio Amazonas*. Conservación Internacional.
- GetaMap. (Sf.). *Río Araza*. Obtenido de https://es.getamap.net/mapas/peru/cusco/_araza_rio/
- Ghazzi, M. (2008). Nove espécies novas do gênero *Rineloricaria* (Siluriformes, Loricariidae) do rio Uruguai, do sul do Brasil. *Iheringia*, 98(1), 100-122.
- Granada, C., Medina, M., Sebastián, Beltran, & Camilo. (2019). Nuevo registro de la especie *Pseudorinelepis genibarbis* (Loricariidae: Rhinelepininae) para la cuenca del río Caquetá, Colombia. *Zootaxa* , 4658(1), 193-196. doi:<https://doi.org/10.11646/zootaxa.4658.1.12>
- Güere, S. F., Valencia, R. Z., & Paucar, W. P. (2022). Evaluación de riesgo ambiental por concentración de plomo y mercurio en el área de influencia minera Coricancha, distrito de Chosica. *Llamkasun*, 3(1). doi:<https://doi.org/10.47797/llamkasun.v3i1.93>
- Guo, Q., Wei, D., Zhao, H., & Du, Y. (2020). Predicted no-effect concentrations determination and ecological risk assessment for benzophenone-type UV filters in aquatic environment. *Environmental Pollution*, 256, 113460. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113460>

Hernández, S. R., Fernández, C. C., & Baptista, L. M. (2014). *Metodología de la investigación* (6.^a ed.). McGraw-Hill. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=775008>

Herrera, J. H. (2017). *Introducción a la Minería. Conceptos, tecnologías y procesos*. Universidad Politécnica de Madrid . doi:10.20868/UPM.book.63396

Illinois Department of Natural Resources. (s.f.). *La pasión por los peces de Illinois*. Obtenido de Dardos de garganta anaranjada: <https://dnr.illinois.gov/education/wildaboutpages/wildaboutfishes/waferperch/waforangethroatdarter.html>

Instituto de Manejo de Agua y Medio Ambiente & Centro Bartolomé de las Casas. (2007). *Identificación y Evaluación de Potencialidades en el Ámbito de Influencia de la Carretera Inter Océánica tramo Urcos - Puente Inambari*. Cusco: IMA & CBC.

Instituto de Manejo de Agua y Medio Ambiente. (2007). *Caracterización y Zonificación Ecológica Económica de la Provincia de Quispicanchis*. Cusco: IMA & CBC.

Instituto del Mar del Perú (IMARPE) & Instituto Tecnológico Pesquero del Perú (ITP). (1996). *Compendio biológico tecnológico de las principales especies hidrobiológicas comerciales del Perú*. Callao, Perú: IMARPE / ITP. Obtenido de <https://repositorio.imarpe.gob.pe/handle/20.500.12958/1387>

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (01 de Agosto de 2019). *Gobierno de México*. Recuperado el 15 de Septiembre de 2024, de ¿Qué es una cuenca?: <https://www.gob.mx/imta/articulos/que-es-una-cuenca-211369>

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (26 de Abril de 2021). *La ecotoxicología: una disciplina integrativa para la protección de los ecosistemas*. Obtenido de

<https://www.gob.mx/imta/articulos/la-ecotoxicologia-una-disciplina-integrativa-para-la-proteccion-de-los-ecosistemas>

Instituto Nacional de Higiene Rafael Rangel. (2017). *Metales Tóxicos en Alimentos*. Caracas: División de Productos Alimenticios de la Gerencia Sectorial de Registro y Control.

International Society of Exposure Science (ISES Europe). (s.f.). *Exposure Science Glossary of Terms – an ISES Europe Chapter statement*. Obtenido de ISES Europe: <https://ises-europe.org/exposure-science-glossary-terms-ises-europe-chapter-statement>

Jisr, N., Younes, G., Sukhn, C., & El-Dakdouki, M. (2018). Length-weight relationships and relative condition factor of fish inhabiting the marine area of the Eastern Mediterranean city, Tripoli-Lebanon. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 44(4), 299-305. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ejar.2018.11.004>

Jordán, J. R., & Mosquera, H. J. (2020). *La minería asociada con la contaminación de mercurio en el Chocó, Colombia, y posible estrategia de fitorremediación con macrófitas*. Choco: Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico. Obtenido de <https://bioetnia.iiap.org.co/index.php/bioetnia/article/view/253/284>

Kumar, U., & Kothari, D. (2022). *Research Methodology: Techniques and Trends* (Vol. 1). Chapman and Hall/CRC. doi:<https://doi.org/10.1201/9781315167138>

Kuramoto, J. R. (2001). *La minería artesanal e informal en el Perú*. Lima: Grade.

LENNTech. (s.f.). *Plomo - Pb*. Obtenido de Propiedades químicas del plomo: <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/pb.htm>

- León, J. A. (2022). *Calidad de agua para estudiantes de ciencias ambientales*. Colombia: Ecoe Ediciones.
- Lichtenstein, M. (1813). Ueber einige neue Arten con Fishen aus der Gattung Silurus. *Zoologisches Magazin*, 1(3), 57-63.
- Mancilla, O., Palomera, C., Gómez, L., Hernández, O., Guevar, R., Ortega, H., . . . Cruz, E. (2023). Metales pesados en agua y macroinvertebrados de la cuenca del río Ayuquila Armería (México) y sus afluentes. *Terra Latinoamericana*, 41. doi:<https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1603>
- Márquez, A., Senior, W., Martínez, G., Castañeda, J., & González, Á. (2008). Concentraciones de metales en sedimentos y tejidos musculares de algunos peces de la Laguna de Castellero, Venezuela. *Maracaibo*, 18(2), 121-133.
- Martínez, D. V. (2017). Calidad del agua. *Boletín Científico de La Escuela Superior Atotonilco de Tula*, 4(7), 1-42. doi:<https://doi.org/10.29057/esat.v4i7.2202>
- MINAG, ANA, DCPRH, ASUP, ALA MALDONADO. (2010). *Diagnóstico Hidrológico de la Cuenca Madre de Dios*. Lima: ANA.
- MINAM & SENACE. (2018). *Manual de Evaluación del Estudio de Impacto Ambiental Detallado-d*. Lima: SENACE.
- MINAM. (2016). *Aprende a Prevenir los Efectos del Mercurio. Salud y Ambiente* (1 ed.). Lima: Servicios Generales Q&F Hermanos S. A. C. Recuperado el 13 de Agosto de 2024, de <https://www.minam.gob.pe/educacion/wp-content/uploads/sites/20/2017/02/Publicaciones-1.-Texto-de-consulta-M%C3%B3dulo-1-1.pdf>

- Minaya, M. A., Sanabria, G. G., Marroquín, M. C., & Rojas, I. B. (2021). Impacto de la Minería en Aguas Superficiales de la Región Puno - Perú. *Fides et Ratio - Revista de Difusión cultural y científica de la Universidad La Salle en Bolivia*, 21(21), 187-208. Obtenido de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-081X2021000100011
- Ministerio de Salud. (03 de Octubre de 2023). *¿Qué son los metales pesados?* Obtenido de Salud Ambiental y Alimentaria: <https://www.gob.pe/47991-que-son-los-metales-pesados>
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2010). *Guía de evaluación de riesgos ambientales*. Q&F Hnos. S.A.C. Obtenido de <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/guia-evaluacion-riesgos-ambientales>
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2015). *Guía para la elaboración de estudios de Evaluación de Riesgos a la Salud y el Ambiente*. Lima.
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2016). *Glosario de Términos*. Lima: MINAM. Obtenido de <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2015/02/2016-05-30-Conceptos-propuesta-Glosario.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2013). Minería Ilegal. *Diálogos Ambientales con la Prensa*, 3-4. Obtenido de https://www.minam.gob.pe/prensa/wp-content/uploads/sites/44/2013/12/dialogo-con-la-prensa-2_Minereia_ilegal.pdf
- Ministerio del Ambiente. (2016). *Minería Responsable*. Lima : MINAM.
- Ministerio del Ambiente. (2018). *Definiciones Conceptuales de los Ecosistemas del Perú*. Lima: MINAM. Obtenido de

https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/definiciones_ecosistemas_peru.pdf

Ministerio del Ambiente; Museo de Historia Natural – UNMSM. (2014). *Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: Plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú (1.ª ed., ISBN 978-612-4174-15-5)*. Dirección General de Diversidad Biológica, Ministerio del Ambiente / Departamentos de Limnología e Ictiología, Museo de Historia Natural, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Obtenido de <https://www.minam.gob.pe/diversidadbiologica/wp-content/uploads/sites/21/2014/02/M%C3%A9todos-de-Colecta-identificaci%C3%B3n-y-an%C3%A1lisis-de-comunidades-biol%C3%B3gicas.compressed.pdf>

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). (s.f.). *PRTR España*. Obtenido de Arsénico y Compuestos: <https://prtr-es.es/Ar-Arsenico-y-compuestos,15604,11,2007.html>

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (Sf.). *Metales Pesados*. Recuperado el 09 de Agosto de 2024, de Problemática ambiental y contaminantes: https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/emisiones/prob-amb/metales_pesados.html

Minners, J. (28 de Mayo de 2021). *CooperAcción Opina*. Obtenido de El impacto de la minería ilegal para la conservación de especies amazónicas en Loreto: <https://cooperaccion.org.pe/opinion/el-impacto-de-la-mineria-ilegal-para-la-conservacion-de-especies-amazonicas-en-loreto/>

- Mitchill, S. L. (1814). The Fishes of New-York, described and arranged. *Transactions of the Literary and Philosophical Society of New York*, 1, 355-492.
- MITECO. (Sf.). *Cateogías y tipos de masas de agua*. Recuperado el 14 de Setiembre de 2024, de Superficial Water Status and Quality: https://www.miteco.gob.es/en/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/aguas-superficiales/categorias_y_tipos_de_masas_de_agua.html
- Montaño, F. (04 de Marzo de 2024). *OjoPúblico*. Obtenido de Minería alteró la composición y curso natural de ríos en la Amazonía: <https://ojo-publico.com/ambiente/territorio-amazonas/mineria-altero-la-composicion-y-curso-natural-rios-la-amazonia>
- Montgomery, D. C. (2017). *Design and Analysis of Experiments* (8ª ed.). John Wiley & Sons. <https://books.google.com.pe/books?id=Py7bDgAAQBAJ&printsec=frontcove>
- Moscoso, C. N., Sánchez, J. M., & Espinoza, C. R. (20 de Julio de 2021). *Metales Pesados*. Recuperado el 12 de Agosto de 2024, de Coloquio: <https://50.uazuay.edu.ec/index.php/coloquio/article/view/429/634>
- Municipalidad Provincial de Quispicanchis. (2018). *Zonificación Ecológica y Económica de la provincia de Quispicanchi - Cusco*. MINAM & CAF.
- National Park Service. (26 de febrero de 2015). *National Park Virginia* . Obtenido de Brook Trout: <https://www.nps.gov/shen/learn/nature/brook-trout.htm>
- NatureServe. (2013). *Etheostoma spectabile*. Obtenido de Lista roja de especies amenazadas de la UICN 2013: <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T202535A18230090>

- Olker, J., Elonen, C., Pilli, A., Arne, A., Kinziger, B., Erickson, S., & Skopinski, M. (2022). The ECOTOXicology Knowledgebase. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 41(3), 1520–1539. doi:10.1002/etc.5324
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OCDE). (1998). *Background document for the OECD workshop on analysis of data from aquatic ecotoxicity tests*. OECD. Obtenido de [https://one.oecd.org/document/ENV/MC/CHEM\(98\)18/en/pdf](https://one.oecd.org/document/ENV/MC/CHEM(98)18/en/pdf)
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (1998). *Tecnología del pescado: El tejido muscular del pez*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación: <https://www.fao.org/4/v7180s/v7180s04.htm>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2010). *World Health Statistics 2010*. World Health Organization. Obtenido de https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=Z69vxfRfIsC&oi=fnd&pg=PA1&ots=cJLPdfEIay&sig=AnflcaOt2mtnTzpX5wAUpba0nvI&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Organización Panamericana de la Salud (OPS). (2023). *Mi Comunidad se Cuida del Mercurio*. Washington D.C.: Anon. Obtenido de <https://iris.paho.org/handle/10665.2/59216>
- OXFAM. (21 de Noviembre de 2023). *Espinar: Nueva evidencia confirma contaminación por metales tóxicos en Antapaccay*. Obtenido de Oxfam en Perú: <https://peru.oxfam.org/noticias/espinar-nueva-evidencia-confirma-contaminacion-por-metales-toxicos-en-antapaccay>

- Oyala, C. N., Hernández, D., & Ayarza, E. (2010). Biología reproductiva del liso *Rhamdia quelen* (Pisces: Heptapteridae) en el río Sinú, Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 15(3), 61-73.
- Pájaro, D. M., & Sánchez, P. A. (2016). *Evaluación de las concentraciones de metales pesados (Cd y Pb) en especies ícticas comercializadas en la plaza del pescado de la ciudad de barranquilla y riesgo potencial para la salud humana (Tesis de Grado)*. Universidad la Costa.
- Panduro, G., Rengifo, G. C., Barreto, J. L., Arbaiza-Peña, Á. K., Iannacone, J., Alvarino, L., & Crnobra, B. (2020). *Bioacumulación por mercurio en peces y riesgo por ingesta en una comunidad nativa en la amazonia peruana*. Lima: Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú. doi:<http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v31i3.18177>
- Panel on Animal Health and Welfare (EFSA). (2020). Welfare of pigs at slaughter. *EFSA Journal*, 18(5). doi:<https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.6148>
- Pérez, C. M. (2019). Evaluación de riesgo ambiental por concentración de plomo y mercurio en el área de influencia minera Coricancha, distrito de Chosica. *Revista de Ciencias Naturales*, 1(1). Obtenido de <https://revistas.unap.edu.pe/journal/index.php/RCCNN/article/view/253>
- Pérez, J. Á., & Picó, A. G. (2019). *Criterios de calidad y gestión del agua potable*. España: UNED.
- Perkins, W., Tygert, M., & Ward, R. (2013). Significance testing without truth. arXiv: Methodology. Obtenido de <https://arxiv.org/abs/1301.1208?utm>
- Planes, E., & Fuchs, J. (2015). Cuales son los aportes de la ecotoxicología a las regulaciones ambientales. *Ciencia e Investigación*, 65(2), 45-62. Obtenido de

https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/48860/CONICET_Digital_Nro.04aeb870-02fa-4cbb-8d6f-4f06b642fbe7_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y

PNUMA. (2019). *Informe sobre la Brecha de Emisiones 2019*. ONU. Obtenido de <https://www.unep.org/es/resources/informe-sobre-la-brecha-de-emisiones-2019>

Quispe, J. A. (2021). *Bioacumulación por mercurio y plomo en el tejido muscular trucha arcoiris (Oncorhynchus mykiss) en el río Salado, Pallpata 2021*. Espinar - Cusco: Universidad Cesar Vallejo .

Quispe, R. Y. (2017). *Evaluación de la concentración de metales pesados (cromo, cadmio y plomo) en los sedimentos superficiales en el río Coata [Tesis de Pregrado]*. Universidad Nacional del Altiplano. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/4787>

Quoy, J. R., & Gaimard, J. P. (1824). *Voyage autour du monde... exécuté sur les corvettes de S.M. l'Uranie et la Physicienne, pendant les années 1817, 1818, 1819 et 1820* (Vol. 3). Zoologie. Obtenido de <https://www.biodiversitylibrary.org/item/127033#page/10/mode/1up>

Ramírez, C. A. (2021). *Calidad del agua: Evaluación y diagnóstico*. Colombia: Ediciones de la U.

Regan, C. (1904). Descriptions of new fishes from Peru and Brazil. *Boletín del Museo Británico (Historia Natural)*, 3, 245-248.

Rivera, F. B., & Moccetti, N. N. (2018). Concentración de plomo , mercurio y cadmio en músculo de peces y muestras de agua procedentes del Río Santa , Ancash - Perú. *Salud y Tecnología Veterinaria*, 6(1), 35-41. doi:<https://doi.org/10.20453/stv.v6i1.3376>

- Rivera, N. Y. (2016). *Cuantificación de Cadmio (Cd) y Plomo (Pb) en agua, sedimento y plantas en el río Chimbo del cantón Marcelino Maridueña, Prov. Guayas*. Lima: Universidad de Guayaquil.
- Rodríguez, D. H. (2021). Metales pesados y salud. *Correo Científico Médico*, 25(4).
Obtenido de <https://revcocmed.sld.cu/index.php/cocmed/article/view/3702>
- Rodriguez, T. M., & Sucuitana, P. C. (2021). *Estudio de la concentración de metales pesados (arsénico, cadmio, mercurio y plomo) en el agua para consumo humano en el departamento de Arequipa*. Lima: Universidad María Auxiliadora. Obtenido de <https://repositorio.uma.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12970/417/ESTUDIO%20DE%20LA%20CONCENTRACION%20DE%20METALES%20PESADOS%20%28ARS%20NIC%20CADMIO%20MERCURIO%20Y%20PLOMO%29%20EN%20AGUA%20PARA%20CONSUMO%20HUMANO%20EN%20EL%20DEPARTAMENTO%20D>
- Rojas, K. A., & Romero, V. E. (2018). *Determinación por absorción atómica de plomo y arsénico en agua potable de viviendas del distrito Hualgayoc, Cajamarca – octubre 2017*. Cajamarca: Universidad Privada Norbert Wiener. Obtenido de <https://repositorio.uwiener.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13053/1854/TITULO%20-%20Afan%20Rojas%20%20Karina.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rubio, C., Martín, A., Revert, R., Lozano, C., & Hardisson, A. (2004). El plomo como contaminante alimentario. *Revista de Toxicología*, 21(3), 72-80. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/919/91921303.pdf>
- Salsamendi, A. L., Oscoz, A. A., Royo, A. G., & Armental, A. V. (2022). Toxicología. En *Toxicología* (pág. 270). Colombia: Ecoe ediciones.

- SANIPES. (2010). *Manual de Indicadores o Criterios Microbiológicos de Seguridad Alimentaria e Higiene para Alimentos y Piensos de Origen Pesquero y Acuícola*. Lima: Instituto Tecnológico Pesquero. Obtenido de http://www.sanipes.gob.pe/procedimientos/13_ManualIndicadoresocriteriosdeseguridadalimentaria-rev02-2010.compressed.pdf
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (13 de Agosto de 2018). *Impacto ambiental y tipos de impacto ambiental*. Obtenido de <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/impacto-ambiental-y-tipos-de-impacto-ambiental>
- SEMARNAT. (2013). *Cuencas Hidrográficas. Fundamentos y Perspectivas para su manejo y gestión*. Puno: Red Mexicana de Cuencas Hidrográficas. Obtenido de https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/siar-puno/archivos/public/docs/tvm_-_cuencas_final_2014.pdf
- SOS ORINOCO. (2021). *El mercurio y la minería en la Guayana Venezolana: Un daño incompensable*. Caracas: ORINOCO.
- Siegel, S., & Castellan, J. (1988). *Nonparametric Statistics for the Behavioral Sciences* (2.^a ed.). McGraw-Hill. https://books.google.com.pe/books/about/Nonparametric_Statistics_for_the_Behavio.html?id=bq3uAAAAMAAJ&redir_esc=y
- Suárez, D. R., Flórez, L. P., Solorzano, A. C., Durango, J. V., Soto, J. B., & Negrete, J. M. (2022). *Mercurio total (Hg-T) en la ictiofauna de mayor consumo en San Marcos - Sucre, Colombia*. Sucre: Revista MVZ Córdoba. doi:<https://doi.org/10.21897/rmvz.2488>

Tamayo y Tamayo, M. (2004). *El proceso de la investigación científica* (4 ed.). Limusa.

Obtenido de

<https://books.google.com.cu/books?id=BhymmEqkkJwC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>

Tang, Z., Liu, X., Niu, X., Yin, H., Liu, M., Zhang, D., & Guo, H. (2023). Ecological risk assessment of aquatic organisms induced by heavy metals in the estuarine waters of the Pearl River. *Scientific Reports*, 13(9145). doi:<https://doi.org/10.1038/s41598-023-35798-x>

Toribio, L. D., & Solano, Y. J. (2020). *Evaluación de la concentración de mercurio y plomo en *Sarda chiliensis chiliensis* ("bonito") y *Scomber japonicus peruanus* ("caballa") expendido en el terminal pesquero de Ventanilla - Lima, 2019*. Lima: Universidad

Norbert Wiener. Obtenido de

https://repositorio.uwiener.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13053/9012/T061_40698911_T_48669714_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Torrejón, J. A., & Safra, P. C. (2014). El Impacto Ambiental Negativo y su Evaluación Antes, Durante y Después del Desarrollo de Actividades Productivas. *Derecho & Sociedad*, 42, 223-232. Obtenido de

<https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/derechoysociedad/article/view/12478>

Unión Europea. (2022). *Reglamento (UE) 2022/617*. Bruselas: Diario Oficial de la Unión

Europea. Obtenido de [https://eur-lex.europa.eu/legal-](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=uriserv%3AOJ.L_.2022.115.01.0060.01.SPA&toc=OJ%3AL%3A2022%3A115%3ATOC)

[content/ES/TXT/?uri=uriserv%3AOJ.L_.2022.115.01.0060.01.SPA&toc=OJ%3AL%3A2022%3A115%3ATOC](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=uriserv%3AOJ.L_.2022.115.01.0060.01.SPA&toc=OJ%3AL%3A2022%3A115%3ATOC)

- United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA). (1994). Using toxicity tests in ecological risk assessment. 2(1). doi:<https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-09/documents/v2no1.pdf>
- Valenciennes, A. (1840). *Histoire naturelle des poissons*. Estrasburgo.
- Vari, R. P., Ferraris, C., & De Pina, M. (2005). Los bagres ballena neotropicales (Siluriformes: Cetopsidae: Cetopsinae). *Ictiología neotropical* , 3(2), 127-238. doi:10.1590/S1679-62252005000200001
- Vásquez, J. H. (2022). *Contaminación por metales pesados en la microcuenca urbana del río Ichu en la ciudad de Huancavelica [Tesis de Pregrado]*. Universidad Nacional de Huancavelica. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.14597/4708>
- Veramatus, M. P., Fernandez, L. E., Vega, C. M., & Flores, J. M. (2023). *Mercurio en peces y el riesgo ecotoxicológico para peces y aves piscívoras de Madre de Dios, Amazonía Peruana*. Madre de Dios: Universidad de Ingeniería y Tecnología .
- Vercauteren, Y. N. (2020). *Metales pesados (Pb, Hg, Cu) en hígado y músculo de los peces Orestias ispi y Orestias agassii del lago Titicaca, Puno-Perú*. Lima: Universidad Científica del Sur. Obtenido de <https://repositorio.cientifica.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12805/1375/TL-Arbulu%20Y-Ext.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Walpole, R. E. (2012). *Probability and Statistics for Engineers and Scientists* (9th ed. ed.). Prentice Hall. https://books.google.com.pe/books/about/Probability_and_Statistics_for_Engineers.html?id=tzZxRQAACAAJ&redir_esc=y

- Wu, X., Yang, K., Lu, J., Li, B., Li, Y., Zhang, Y., & Ye, L. (2025). Contamination and ecological risk of heavy metals in sediments of urban rivers in a typical economic development zone, southern China. *Journal of Environmental Sciences*, 153, 264-274. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jes.2024.09.006>
- Zamani-Ahmadm Mahmoodi, R., Beygi, M. M., Rahimi, R., & Ali, S. J. (2020). Aquatic pollution caused by mercury, lead, and cadmium affects cell growth and pigment content of marine microalga, *Nannochloropsis oculata*. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(330), 1051–1070. doi:<https://doi.org/10.1007/s10661-020-8222-5>

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos están resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica de los Andes