



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y FORESTAL**



**"EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR PLOMO,
COBRE, ARSÉNICO, CADMIO Y CROMO EN EL LAGO
TITICACA A TRAVÉS DE LA BIOACUMULACIÓN EN TRUCHAS
ARCOIRIS *Oncorhynchus mykiss*"**

Bach. Fabricio Rivaldo Valeriano Paucar

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL**

Asesor (A): Dr. Wile Mamani Navarro



**Juliaca, Perú
2025**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y FORESTAL



"EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR PLOMO,
COBRE, ARSÉNICO, CADMIO Y CROMO EN EL LAGO
TITICACA A TRAVÉS DE LA BIOACUMULACIÓN EN TRUCHAS
*ARCOIRIS *Oncorhynchus mykiss**"

Bach. Fabricio Rivaldo Valeriano Paucar

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL

Asesor (A): Dr. Wile Mamani Navarro



Juliaca, Perú
2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y FORESTAL



**“EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR PLOMO,
COBRE, ARSÉNICO, CADMIO Y CROMO EN EL LAGO
TITICACA A TRAVES DE LA BIOACUMULACIÓN EN TRUCHAS
*ARCOIRIS *Oncorhynchus mykiss**”**

Bach. Fabricio Rivaldo Valeriano Paucar

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL**

Asesor (A): Dr. Wile Mamani Navarro

Juliaca 2025

FICHA CATALOGRÁFICA

Valeriano, F. R. (2024). *Evaluación de la contaminación por plomo, cobre, arsénico, cadmio y cromo en el Lago Titicaca a través de la bioacumulación en truchas arcoíris *Oncorhynchus mykiss**.
(Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Juliaca.

Autor: Fabricio Rivaldo Valeriano Paucar

Título: Evaluación de la contaminación por plomo, cobre, arsénico, cadmio y cromo en el Lago Titicaca a través de la bioacumulación en truchas arcoíris *Oncorhynchus mykiss*.

Publicación: Juliaca, 2025

Descripción: Cantidad de páginas (123 páginas)

Nota: Tesis - Escuela profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal - Universidad Nacional de Juliaca

Código: 01-000079-01/V21

Nota: Incluye bibliografía

Asesor: Dr. Wile Mamani Navarro

Palabras clave: Bioacumulación, contaminación, Lago Titicaca, metales pesados.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA
AMBIENTAL Y FORESTAL

**“EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR PLOMO,
COBRE, ARSÉNICO, CADMIO Y CROMO EN EL LAGO
TITICACA A TRAVES DE LA BIOACUMULACIÓN EN TRUCHAS
ARCOIRIS *Oncorhynchus mykiss*”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO
AMBIENTAL Y FORESTAL**

Presentado por:

Bach. Fabricio Rivaldo Valeriano Paucar

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Dr. Eliana Mullisaca Contreras

PRESIDENTE DE JURADO

Mg. Cesar Enrique Yupanqui Bendita

JURADO (Secretario)

Mg. Milton Quispe Tisnado

JURADO (Vocal)



2° MIEMBRO



3° MIEMBRO



Dr. Wile Mamani Navarro

ASESOR DE TESIS

Fabrizio Rivaldo Valeriano Paucar

EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR PLOMO, COBRE, ARSÉNICO, CADMIO Y CROMO EN EL LAGO TITICACA A TRAV...

 Universidad Nacional de Juliaca

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::3117:595249148

Fecha de entrega

28 may 2026, 8:17 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

28 may 2026, 8:24 a.m. GMT-5

Nombre del archivo

EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR PLOMO, COBRE, ARSÉNICO, CADMIO Y CROMO EN ELpdf

Tamaño del archivo

8.8 MB

121 páginas

18.556 palabras

108.577 caracteres



Firmado digitalmente por AQUINO
LARICO Elmer Rodrigo FAU
20448261272 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 22.07.2026 09:44:01 -05:00

15% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 9 palabras)

Fuentes principales

- 13%  Fuentes de Internet
- 5%  Publicaciones
- 11%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

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.



Firmado digitalmente por AQUINO
LARICO Elmer Rodrigo FAU
20448261272 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 22.07.2026 09:44:15 -05:00

DEDICATORIA

A mis padres, quienes con su amor y sacrificio me han brindado todo el apoyo necesario para alcanzar mis metas. Este logro es el reflejo de su dedicación y de los valores que me inculcaron desde pequeño

Agradezco también a mis amigos por su apoyo constante, y a todos aquellos que, de alguna manera, creyeron en mí y en mi proyecto.

A mis dos hermanos, quienes han sido mi ejemplo de perseverancia y valentía. Su apoyo incondicional y su amor me han motivado en cada paso de este camino. Este logro también es el fruto de todo lo que hemos compartido juntos.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi familia, cuyo apoyo y amor incondicional me han dado la fuerza para superar los desafíos de este proceso. Gracias por estar siempre a mi lado, por creer en mí y por ser mi mayor fuente de motivación. Este logro es tanto mío como de ustedes.

Agradezco a mi asesor de tesis Dr. Wile Mamani Navarro por su guía experta, su paciencia y sus valiosos consejos que fueron fundamentales en el desarrollo de este trabajo. Agradezco también al encargado de laboratorio Ing German por su apoyo técnico y práctico a lo largo de esta investigación.

Quiero expresar mi agradecimiento a los jurados por su tiempo, dedicación y valiosas observaciones durante la evaluación de este trabajo. Sus comentarios y sugerencias han sido fundamentales para mejorar y enriquecer esta tesis.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTOS	II
ÍNDICE GENERAL	III
ÍNDICE DE TABLAS	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE ANEXOS	VIII
RESUMEN	9
ABSTRACT	10
INTRODUCCIÓN	11

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Problema de investigación	12
1.2. La pregunta de investigación	13
1.2.1 Pregunta general	13
1.2.2 Preguntas específicas	13
1.3 Objetivos de la investigación	13
1.3.1 Objetivo General	13
1.3.2 Objetivos Específicos	14
1.4 Justificación de la investigación	14
1.4.1 Justificación ambiental	14
1.4.2 Justificación social	15
1.4.3 Justificación económica	15

CAPÍTULO II

REVISION DE LITERATURA

2.1 Antecedentes de la investigación	16
2.1.1 A nivel internacional	16
2.1.2 A nivel nacional	17

2.1.3	A nivel local	18
2.2	Marco Teórico.....	18
2.2.1	Contaminación ambiental.....	18
2.2.2	Metales pesados.....	19
2.2.3	Agua	20
2.2.4	Contaminación del agua con metales pesados	21
2.2.5	Toxicología en truchas	21
2.2.6	Valores toxicológicos y guía de la OMS.....	23
2.2.7	Lago Titicaca.....	24
2.2.8	Organos diana en peces expuestos a metales pesados.....	24
2.2.9	Espectrofotometria para la determinación de metales.....	25
2.2.10	Preparación de muestras de tejido de peces	25
2.2.11	Bioacumulación de metales en tejidos de peces.....	26
2.2.12	Factores que modulan la biodisponibilidad y la toxicidad	27

CAPÍTULO III

MATERIALES Y METODOS

3.1	Ámbito de estudio	28
3.2	Tipo y diseño de investigación.....	28
3.3	Población y Muestra.....	29
3.3.1	Población.....	29
3.3.2	Muestra.....	29
3.4	Hipótesis de investigación.....	30
3.4.1	Hipótesis general	30
3.4.2	Hipótesis específicas	30
3.5	Equipos, materiales y reactivos.....	30
3.5.1	Equipos.....	30
3.5.2	Materiales	31

3.5.3	Reactivos	31
3.6	Métodos.....	31
3.6.1	Evaluación de metales pesados (Pb, Cd, Cu, As, Cr) en el agua de las zonas de criaderos de truchas (Chucuito, Juli y Pomata).	31
3.6.2	Evaluación de la bioacumulación de metales pesados (Pb, Cd, Cu, As, Cr) en los tejidos de las truchas procedentes de los criaderos (Chucuito, Juli y Pomata).....	34
3.6.3	Evaluación del riesgo para la salud asociados al consumo de truchas	39
3.6.4	Análisis estadístico	39

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1	Evaluación de las concentraciones de metales pesados (Pb, Cd, Cu, As, Cr) en el agua de las zonas los criaderos de truchas (Chucuito, Juli y Pomata)	40
4.1.1	Determinación de los parámetros fisicoquímicos	41
4.2	Evaluación de la bioacumulación de metales pesados (Pb, Cd, Cu, As, Cr) en los tejidos de las truchas procedentes de los criaderos (Chucuito, Juli y Pomata)	42
4.3	Evaluación de los riesgos para la salud asociados al consumo de truchas provenientes de los criaderos (Chucuito, Juli y Pomata)	45
4.4	Análisis estadístico	50

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	Conclusiones	51
5.2	Recomendaciones.....	52
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		53
ANEXOS.....		69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Valores toxicológicos	25
Tabla 2 Parámetros de calidad de agua	32
Tabla 3 Toma de muestras de agua	34
Tabla 4 Bioacumulación de truchas según tamaño y tejido	38
Tabla 5 Resultados de concentracion de metales pesados en los puntos de muestreo ...	40
Tabla 6 Parámetros fisicoquímicos.....	41
Tabla 7 Resultados de metales pesados en la trucha	43
Tabla 8 Resultados de la bioacumulacion de metales en la trucha.....	45
Tabla 9 Comparación de concentraciones de metales pesados en truchas arcoiris	46
Tabla 10 Estadística descriptiva general de la bioacumulación de metales pesados.....	49
Tabla 11 Comparación entre valores medios de metales con límites internacionales....	52
Tabla 12 Matriz de operacionalización de variables	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de ubicación de Chucuito, Juli y Pomata.....	28
Figura 2 Diagrama de flujo de determinación de parámetros de campo.....	32
Figura 3 Diagrama de flujo de determinación de metales pesados en aguas de criaderos.....	33
Figura 4 Cuadro comparativo Codex Alimentarius.....	48
Figura 5 Criaderos de trucha	70
Figura 6 Recoleccion de muestras de trucha	70
Figura 7 Muestreo de agua	71
Figura 8 Adicion del preservante HNO_3	71
Figura 9 Medicion de marametros in situ.....	72
Figura 10 Clasificacion por tamaños de truchas	72
Figura 11 Preparacion de muestras de truchas	73
Figura 12 Proceso de desecación en horno.....	73
Figura 13 Muestras secas	74
Figura 14 Trituracion de muestras.....	74
Figura 15 Polvos homogeneos de las muestras	75
Figura 16 Pesado de muestras	75
Figura 17 Digestion acida.....	76
Figura 18 Agregado de acido nítrico y acido perclórico	76
Figura 19 Digestión acida por 48 horas.....	77
Figura 20 Filtración de la digestión acida	77
Figura 21 Preparación de soluciones estandar	78
Figura 22 Determinación de muestras mediante ICP-OES	78
Figura 23 Lectura de resultados de las muestras	79

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Operacionalización de variables	69
Anexo 2 Registro fotográfico	70
Anexo 3 Informe de resultados del Cadmio (Cd) mediante ICP-OES en el laboratorio de la Universidad Nacional de Juliaca	80
Anexo 4 Informe de resultados del Cobre (Cu) mediante ICP-OES en el laboratorio de la Universidad Nacional de Juliaca	90
Anexo 5 Informe de resultados del Plomo (Pb) mediante ICP-OES en el laboratorio de la Universidad Nacional de Juliaca	100
Anexo 6 Informe de ensayo del laboratorio mediante el metodo de Dietilditiocarbonato de Plata - Universidad Nacional de San Agustín	110
Anexo 7 Directrices metodológicas EPA 3050B	113
Anexo 8 Protocolo Nacional para el Monitorio de la Calidad de los Recursos Hidricos Superficiales - ANA (2016)	116
Anexo 9 Metodologia AOAC (Asociación de Colaboración Analítica Oficial, 2012)	119
Anexo 10 Calibración de curva para el Cadmio (Cd)	120
Anexo 11 Calibración de curva para el Plomo (Pb)	120
Anexo 12 Calibración de curva para el Cobre (Cu)	121

RESUMEN

La presencia de metales pesados como plomo, cobre, arsénico, cadmio y cromo constituye una amenaza significativa para los ecosistemas acuáticos y la salud humana, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar la concentración y bioacumulación de estos metales en el agua y en los tejidos de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) provenientes de los criaderos de Chucuito, Juli y Pomata durante la época de avenida. Se analizaron muestras de agua y tejido mediante espectrometría de absorción atómica (AAS), complementadas con la medición de parámetros fisicoquímicos del agua (pH, temperatura, oxígeno disuelto, conductividad y turbidez). Los resultados evidenciaron que las concentraciones de cobre y plomo superan los límites establecidos por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA): en Chucuito se registraron 0.72495 mg/L de cobre y 0.0294 mg/L de plomo; en Juli, 0.7243 mg/L y 0.0131 mg/L respectivamente; y en Pomata, 0.72535 mg/L y 0.0257 mg/L. Asimismo, el cromo presentó valores superiores a los límites de referencia en las tres localidades. En contraste, las concentraciones de arsénico (0.01295-0.0336 mg/L) y cadmio (0.0011-0.00245 mg/L) se mantuvieron dentro de los rangos permisibles. Estos resultados reflejan un riesgo potencial de bioacumulación en los organismos cultivados. En conclusión, se evidencia la necesidad de fortalecer las acciones de monitoreo y gestión ambiental en los criaderos, a fin de prevenir impactos ecológicos y sanitarios, garantizando la sostenibilidad de la biodiversidad acuática y la seguridad alimentaria en la cuenca del Lago Titicaca.

Palabras clave: Bioacumulación, contaminación, Lago Titicaca, metales pesados.

ABSTRACT

The presence of heavy metals such as lead, copper, arsenic, cadmium, and chromium poses a significant threat to aquatic ecosystems and human health. This study aimed to evaluate the concentration and bioaccumulation of these metals in the water and tissues of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) from the Chucuito, Juli, and Pomata fish farms during the high-water season. Water and tissue samples were analyzed using atomic absorption spectrometry (AAS), complemented by measurements of the water's physicochemical parameters (pH, temperature, dissolved oxygen, conductivity, and turbidity). The results showed that copper and lead concentrations exceeded the limits established by the Environmental Quality Standards (EQS): 0.72495 mg/L of copper and 0.0294 mg/L of lead were recorded in Chucuito; 0.7243 mg/L and 0.0131 mg/L, respectively, in Juli. In Pomata, the concentrations were 0.72535 mg/L and 0.0257 mg/L. Chromium levels exceeded the reference limits in all three locations. In contrast, arsenic (0.01295–0.0336 mg/L) and cadmium (0.0011–0.00245 mg/L) concentrations remained within permissible ranges. These results indicate a potential risk of bioaccumulation in the farmed organisms. In conclusion, there is a clear need to strengthen monitoring and environmental management practices at fish farms to prevent ecological and health impacts, ensuring the sustainability of aquatic biodiversity and food security in the Lake Titicaca basin.

Keywords: Bioaccumulation, pollution, Lake Titicaca, heavy metals.

INTRODUCCIÓN

El Lago Titicaca, situado entre Perú y Bolivia, es considerado uno de los ecosistemas acuáticos más importantes de América del Sur debido a su gran valor ecológico, así como a su relevancia cultural, social y económica. Sin embargo, este cuerpo de agua enfrenta una creciente presión ambiental debido a la presencia de contaminantes, entre los que destacan los metales pesados derivados de actividades antrópicas como la minería, la agricultura y la acuicultura. Los metales pesados como plomo (Pb), cobre (Cu), cadmio (Cd), arsénico (As) y cromo (Cr) representan una amenaza significativa para la salud humana y la biodiversidad acuática, dado su carácter persistente y su capacidad de bioacumularse en los organismos que habitan el ecosistema (Mackey et al., 2020; Solano et al., 2019). La contaminación por estos metales no solo afecta a las poblaciones ícticas, sino también a las comunidades humanas que dependen de estos recursos para su alimentación y economía.

Los criaderos de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), localizados en las zonas de Chucuito, Juli y Pomata, desempeñan un papel esencial en la producción pesquera regional y en el sustento económico de numerosas familias (Sánchez et al., 2020). No obstante, el proceso de bioacumulación de metales pesados en los tejidos de las truchas constituye un potencial riesgo para la salud pública, ya que dichos elementos pueden transferirse a los consumidores a través de la cadena trófica. Diversos estudios han evidenciado que la ingesta de peces contaminados con metales pesados puede ocasionar efectos adversos en la salud humana, como toxicidad renal, neurotoxicidad y un incremento en el riesgo de cáncer (Akinmoladun et al., 2021; García et al., 2019).

El presente estudio tiene como objetivo evaluar la concentración y bioacumulación de metales pesados (Pb, Cu, Cd, As y Cr) en el agua y los tejidos de truchas provenientes de los criaderos de Chucuito, Juli y Pomata durante la época de avenida, así como analizar los riesgos potenciales para la salud humana asociados a su consumo. Los resultados obtenidos serán de utilidad para la formulación de estrategias de gestión ambiental y políticas de monitoreo orientadas a reducir la contaminación por metales pesados en la región, garantizando la conservación de los recursos acuáticos y la seguridad alimentaria de las comunidades que dependen del Lago Titicaca (UNSA, 2020; Solano et al., 2019).

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

1.1. Problema de investigación

En los sistemas acuáticos tropicales y altoandinos, la acumulación de metales pesados en organismos acuáticos representa un riesgo tanto para la salud del ecosistema como para la salud humana debido a su toxicidad, persistencia y capacidad de bioacumularse en la cadena trófica (Skalny et al., 2022; González & Murga, 2024). En el contexto del lago Titicaca específicamente en las zonas de Chucuito, Juli y Pomata, la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) es una especie de alto valor alimentario y económico, cuya crianza en jaulas flotantes expone a los individuos a las condiciones fisicoquímicas del agua y la presencia de metales pesados en el ambiente lacustre, lo que puede influir directamente en los niveles de Pb, Cu, As, Cd y Cr en tejidos comestibles (Escobar-Mamani et al., 2023; De La Cruz Palomino, 2024). Sin embargo, aún existe una falta de estudios que integren estas variables ambientales y químicas de forma continua y específica para estas localidades, concentrándose en medir tanto la calidad del agua como la bioacumulación en órganos clave como músculo, hígado y riñón.

Las condiciones ambientales del lago Titicaca están sujetas a variaciones espaciales y temporales que afectan la disponibilidad y transporte de metales pesados en el agua y sedimentos, lo que favorece su incorporación a la biota acuática. Estudios recientes han demostrado que, en áreas de cultivo, pueden existir concentraciones de Arsénico y otros metales detectados en sedimentos por encima de los estándares ambientales, a pesar de que algunos parámetros físico-químicos (pH, oxígeno disuelto) se encuentren dentro de rangos aceptables (Escobar-Mamani et al., 2023). Asimismo, investigaciones en sistemas afines en Perú han evidenciado relaciones entre las concentraciones ambientales de metales y su presencia en tejidos musculares de trucha, con implicancias claras para la seguridad alimentaria y la salud humana (De La Cruz Palomino, 2024). Esta evidencia apunta a la urgencia de cuantificar los niveles de metales en los diferentes compartimentos ambientales y biológicos del lago en las zonas de Chucuito, Juli y Pomata y durante períodos críticos como la época de avenida.

A pesar de avances parciales en el conocimiento de la presencia de metales pesados en el agua y sedimentos del Titicaca, existe una brecha metodológica y de datos integrados que impide estimar con precisión el grado de bioacumulación

de Pb, Cu, As, Cd y Cr en trucha arcoíris y su relación con variables fisicoquímicas ambientales en las localidades objeto de estudio. La falta de muestreos estandarizados por temporada y por tipos de tejido complica la evaluación de riesgos alimentarios y la formulación de estrategias de manejo acuícola adaptadas a la realidad socioambiental del altiplano puneño. Por consiguiente, es imprescindible desarrollar investigaciones que permitan establecer líneas base robustas de contaminación, evaluar tendencias y aportar evidencia para la gestión ambiental y la protección de la salud pública en estas comunidades ribereñas.

1.2. La pregunta de investigación

1.2.1 Pregunta general

¿Cuál es la concentración de metales pesados (Pb, Cd, Cu, As, Cr) en el agua y en los tejidos de las truchas de los criaderos (Chucuito, Juli y Pomata)?.

1.2.2 Preguntas específicas

- ¿Cuál es el nivel de concentración de metales pesados (Pb, Cd, Cu, As, Cr) en el agua de las zonas de criaderos de truchas (Chucuito, Juli y Pomata)?.
- ¿Cómo varía la bioacumulación de metales pesados (Pb, Cd, Cu, As y Cr) en los tejidos de las truchas arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) provenientes de los criaderos de Chucuito, Juli y Pomata, y qué diferencias significativas existen entre las zonas estudiadas en relación con la calidad del agua?.
- ¿Qué riesgos para la salud pública existen en el consumo de truchas con niveles de metales pesados provenientes de criaderos (Chucuito, Juli y Pomata) y en qué medida cumplen con los límites permisibles de metales pesados establecidos por organismos internacionales y nacionales?.

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo General

Evaluar la presencia de metales pesados (Pb, Cd, Cu, As, Cr) en el agua y tejidos de las truchas de los criaderos de Chucuito, Juli y Pomata así como los riesgos de salud asociados al consumo de estas truchas.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Evaluar la concentración de metales pesados (Pb, Cd, Cu, As, Cr) en el agua de las zonas de criaderos de truchas (Chucuito, Juli y Pomata) durante la época de avenida.
- Evaluar la bioacumulación de metales pesados (Pb, Cd, Cu, As, Cr) en los tejidos de las truchas procedentes de los criaderos (Chucuito, Juli y Pomata) en la época de avenida.
- Evaluar los riesgos para la salud asociados al consumo de truchas provenientes de los criaderos (Chucuito, Juli y Pomata).

1.4 Justificación de la investigación

1.4.1 Justificación ambiental

La presente investigación tiene importancia ambiental debido a que la contaminación por metales pesados representa una amenaza significativa para los ecosistemas acuáticos del Lago Titicaca. Las actividades mineras, agrícolas y domésticas desarrolladas en las zonas cercanas al lago favorecen el ingreso de sustancias tóxicas al medio acuático, alterando la calidad del agua y afectando a los organismos que habitan en este ecosistema (Ek et al., 2021).

En ese contexto, el estudio de la bioacumulación de plomo (Pb), cobre (Cu), arsénico (As), cadmio (Cd) y cromo (Cr) en la trucha arcoíris permitirá obtener información relevante sobre el estado ambiental de las áreas de cultivo ubicadas en Chucuito, Juli y Pomata. La trucha constituye una especie bioindicadora importante debido a su capacidad de incorporar contaminantes presentes en el agua y en los sedimentos.

Asimismo, los resultados obtenidos contribuirán a identificar posibles zonas con mayor presencia de contaminantes y servirán como base científica para fortalecer programas de monitoreo ambiental y estrategias de manejo sostenible del lago. De igual manera, la investigación aportará información actualizada sobre el comportamiento de los metales pesados dentro de la cadena trófica y sus posibles efectos sobre la biodiversidad acuática (Skalny et al., 2022; Escobar-Mamani et al., 2023).

1.4.2 Justificación social

La investigación posee relevancia social porque la trucha arcoíris constituye uno de los principales alimentos de origen acuático consumidos por las poblaciones asentadas en las zonas ribereñas de Chucuito, Juli y Pomata. Debido a ello, la posible acumulación de metales pesados en los tejidos comestibles de esta especie podría representar un riesgo para la salud de los consumidores (Skalny et al., 2022).

En los últimos años, el consumo de productos acuícolas se ha incrementado considerablemente, lo que hace necesario evaluar la calidad sanitaria de las truchas destinadas al consumo humano (Agraria.pe, 2022). La exposición continua a elementos tóxicos como plomo, arsénico y cadmio puede ocasionar diversos efectos negativos en la salud, principalmente en poblaciones vulnerables como niños y mujeres gestantes (Almirón et al., 2023).

Por esta razón, el estudio busca generar información científica confiable acerca de la presencia de metales pesados en las truchas cultivadas en el Lago Titicaca, contribuyendo a la protección de la salud pública y a la seguridad alimentaria de la población. Además, los resultados podrán servir de apoyo para el desarrollo de medidas de vigilancia sanitaria, programas de educación ambiental y acciones de control por parte de las autoridades competentes.

1.4.3 Justificación económica

Desde la perspectiva económica, la investigación adquiere relevancia debido a que la acuicultura de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) constituye una de las principales actividades productivas y generadoras de ingresos para las familias de las zonas ribereñas de Chucuito, Juli y Pomata. La calidad sanitaria del producto es un factor determinante para su comercialización a nivel local y regional; por ello, la presencia de metales pesados en los tejidos de la trucha puede afectar directamente el valor económico del recurso, generar desconfianza en los consumidores y ocasionar pérdidas económicas para los productores acuícolas (FAO & WHO, 2022).

CAPÍTULO II

REVISION DE LITERATURA

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 A nivel internacional

Agnieszka (2024), indicaron que el contenido de metales pesados en las muestras de músculo de trucha analizadas fue bajo y no superó los niveles máximos permisibles definidos en el Reglamento UE 2023/915. Sin embargo, el riesgo para la salud, medido por los indicadores IDE e IH, fue ligeramente mayor en los sistemas RAS, aunque valores de IH inferiores a 1 indican un riesgo mínimo. Se observó que el tipo de tecnología de gestión del agua en la producción de trucha (FTS vs. RAS) influye en el nivel de bioacumulación de metales pesados en la carne. La trucha procedente de sistemas RAS presentó un mayor nivel de bioacumulación de los metales pesados estudiados en comparación con los sistemas FTS. Aunque las diferencias en los niveles de metales pesados entre ambos sistemas fueron relativamente pequeñas, sugieren que optimizar la gestión del agua en los sistemas RAS podría reducir los niveles de bioacumulación.

Temesgen & Geleta (2023), determinaron la bioacumulación de metales pesados en las partes comestibles de la carpa común en el lago Koka. mediante espectroscopia de Absorción Atómica (EAA) Las concentraciones medias de Zinc, Cromo y Cadmio en la parte comestible del pescado oscilaron entre 0.07 y 0.36 mg/kg, respectivamente.

Aljohani et al. (2023), ha llevado a la evaluación de la contaminación por metales pesados (As, Cu, Cr, Pb y Cd) en muestras de agua y pescado alrededor de la planta desalinizadora de Ras Al Khair. Se tomaron y analizaron muestras de agua y de pescado, mostrando fluctuaciones en los niveles de Cd (0.04-0.08 µg/L), Pb (0.25-0.29 µg/L), As (4.42-4.88 µg/L), Cu (3.47-3.74 µg/L) y Cr (9.62-9.91 µg/L). Los metales más acumulados en los peces fueron As, Cu y Cr, con *Aethaloperca rogaa* registrando el nivel más bajo de As (0.17 µg/g) y *Cephalopholis hemistiktos* el más alto (1.02 µg/g). El análisis del

Índice de Peligro de Cociente (THQ) indicó un riesgo significativo de As en *Cephalopholis hemistiktos*, aunque en general las condiciones fueron seguras, excepto por preocupaciones puntuales con As y Cr. Boudjema et al. (2023), evaluaron la bioacumulación de tres metales Cadmio, Zinc y Cobre, el índice de bioacumulación medio individual (multimetal) (IMBI) y el índice de contaminación por metales (MPI) como herramienta de evaluación en mejillón mediterráneo. Los valores máximos de bioacumulación de Cadmio, Zinc y Cobre fueron, respectivamente, 12.9191 µg/g, 59.3794 µg/g, 5.9467 µg/g peso húmedo.

2.1.2 A nivel nacional

De la Cruz (2024), determinó que la concentración de arsénico en el agua superó los estándares de calidad ambiental establecidos para la categoría 4 (E2) según el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM. Asimismo, el contenido de arsénico en tejido muscular de trucha excedió los límites máximos permitidos por normas de seguridad alimentaria. En contraste, las concentraciones de cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo, selenio y zinc permanecieron dentro de los límites permisibles.

Roger et al. (2022), cuantificaron las concentraciones de cobre, plomo y cadmio en tejidos comestibles de *Donax obesulus*. Los resultados evidenciaron que el cobre alcanzó una concentración de 10.1 µg/g en la playa San José. Por otro lado, las concentraciones de plomo fueron mayores a 0.3 µg/g y las de cadmio superiores a 0.2 µg/g en las diferentes áreas evaluadas.

Ricardo & Vilchez (2022), valoraron las concentraciones de plomo, cadmio y cobre en especies marinas como lisa, pejerrey y lorna. Los resultados mostraron concentraciones promedio de cadmio de 1.62 µg/g en lorna, 1.59 µg/g en pejerrey y 0.73 µg/g en lisa. Para plomo, las concentraciones fueron 5.09 µg/g en pejerrey, 0.61 µg/g en lisa y 4.05 µg/g en lorna. En cuanto al cobre, se registraron valores de 2.75 µg/g en lorna, 2.14 µg/g en pejerrey y 2.44 µg/g en lisa.

2.1.3 A nivel local

Arbulu & Sánchez (2022), determinaron la presencia de plomo, mercurio y cobre en las especies *O. ispi* y *O. agassii* del Lago Titicaca. Los resultados evidenciaron concentraciones detectables de cobre, mientras que los niveles de plomo y mercurio se mantuvieron por debajo de 0.02 mg/kg y 0.01 mg/kg, respectivamente.

Rojas (2022), evaluó la concentración de metales pesados en truchas arcoíris utilizando espectrometría ICP-MS. Los resultados mostraron concentraciones de plomo de 0.5981 mg/kg, 0.3264 mg/kg, 0.3168 mg/kg y 0.613 mg/kg, valores que en algunos casos superaron los límites máximos permitidos para consumo humano.

Chui (2021a), analizó la presencia de metales pesados en truchas cultivadas en Puno y Huancané mediante la técnica ICP-OES. Los resultados evidenciaron predominio de zinc y hierro, seguidos por cadmio, manganeso, plomo, cobre y mercurio. Aunque las concentraciones encontradas no excedieron los límites establecidos por la OMS/FAO, el estudio señaló que la acumulación progresiva de estos elementos en sedimentos podría generar contaminación en las piscigranjas del Lago Titicaca.

2.2 Marco teórico

2.2.1 Contaminación ambiental

La contaminación ambiental es considerada actualmente uno de los principales problemas que afectan al planeta debido a sus impactos negativos sobre los ecosistemas y la salud de las personas. Este problema ocurre cuando agentes físicos, químicos o biológicos alteran las condiciones naturales del ambiente y generan efectos perjudiciales sobre los seres vivos (Acuña Monteverde, 2022). El crecimiento poblacional, las actividades industriales, la minería y el inadecuado manejo de residuos han incrementado significativamente los niveles de contaminación en agua, aire y suelo. Como consecuencia, numerosos ecosistemas presentan deterioro progresivo y pérdida de biodiversidad (C et al., 2016).

2.2.2 Metales pesados

Los metales pesados son elementos químicos que poseen alta densidad y una elevada capacidad de persistencia en el ambiente. Muchos de ellos pueden acumularse en los organismos vivos mediante procesos de bioacumulación, generando efectos tóxicos en especies animales y humanas (Gil Martínez, 2020). Entre los metales más estudiados se encuentran el plomo, cadmio, cobre, arsénico y cromo debido a sus riesgos ambientales y sanitarios. Estos elementos pueden ingresar a los ecosistemas acuáticos a través de actividades mineras, industriales, agrícolas y domésticas (Becerra, 2020; Entre Ciencia e Ingeniería, 2020).

- a) **Cadmio:** el cadmio es un metal altamente tóxico que puede ingresar al ambiente principalmente por actividades industriales y mineras (Escalante, 2022). La exposición prolongada a este elemento puede afectar órganos importantes como riñones y huesos, además de estar asociado con enfermedades crónicas y ciertos tipos de cáncer (Manjarrez et al., 2008).
- b) **Cobre:** es un elemento esencial para diversas funciones biológicas; sin embargo, en concentraciones elevadas puede causar efectos perjudiciales en la salud humana y en los organismos acuáticos. El consumo excesivo de cobre puede generar alteraciones gastrointestinales, hepáticas y renales.(Rodríguez, 2020).
- c) **Plomo:** es un metal pesado ampliamente utilizado en diferentes actividades industriales debido a sus propiedades físicas (C et al., 2016). En ambientes acuáticos puede ser absorbido por los peces mediante el agua y la alimentación (Londoño et al., 2016). La exposición prolongada al plomo puede provocar daños neurológicos y alteraciones en distintos sistemas del organismo (Brugés et al., 2022).
- d) **Arsénico:** El arsénico se encuentra naturalmente en el ambiente, aunque también puede liberarse por actividades humanas como la minería. Este elemento posee alta toxicidad y puede acumularse en tejidos biológicos (Gutiérrez Jaime et al., 2021). Diversos estudios

han demostrado que la exposición prolongada al arsénico está relacionada con enfermedades cardiovasculares, neurológicas y diferentes tipos de cáncer (Acacimesfe, 2020).

- e) **Cromo:** es un metal que puede incorporarse a los cuerpos de agua mediante descargas industriales y actividades agrícolas. Debido a su persistencia ambiental, puede acumularse en sedimentos y organismos acuáticos (Brammer & Ravenscroft, 2009). Su toxicidad depende de factores como la concentración, el pH y las condiciones fisicoquímicas del agua (Kotasâ & Stasicka, 2000).

2.2.3 Agua

El agua constituye un recurso indispensable para el desarrollo de la vida y para el funcionamiento de los ecosistemas. Además de satisfacer necesidades humanas básicas, cumple un rol fundamental en actividades económicas, agrícolas y productivas (Chavez, 2011). En el Perú, la calidad del agua es regulada mediante los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), establecidos por el Ministerio del Ambiente. Estos estándares permiten evaluar las condiciones del recurso hídrico y determinar si existen contaminantes que puedan representar riesgos para el ambiente o la salud humana (Cadenas, 2021).

- **ECA de agua**

En el Perú, los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua son parámetros establecidos por el Ministerio del Ambiente mediante el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM, con la finalidad de evaluar la calidad de los recursos hídricos y proteger la salud de la población y los ecosistemas acuáticos. Estos estándares permiten determinar si las concentraciones de sustancias presentes en el agua se encuentran dentro de valores aceptables según el uso destinado del recurso hídrico. Los ECA sirven como referencia para identificar posibles problemas de contaminación y orientar acciones de monitoreo, control y recuperación ambiental (Ministerio del Ambiente, 2017).

2.2.4 Contaminación del agua con metales pesados

La presencia de metales pesados en cuerpos de agua constituye una problemática ambiental de gran preocupación debido a su persistencia y capacidad de generar efectos tóxicos en los ecosistemas acuáticos. Estos contaminantes pueden incorporarse al ambiente como consecuencia de actividades industriales, mineras, agrícolas y domésticas, incrementando progresivamente sus concentraciones en lagos, ríos y sedimentos (Quispe et al., 2019).

Una vez liberados al medio acuático, los metales pesados pueden permanecer durante largos periodos debido a su limitada degradación natural. Además, tienen la capacidad de acumularse en organismos vivos y transferirse a través de la cadena alimentaria, afectando tanto a especies acuáticas como a la salud humana (Becerra, 2020).

La movilidad y disponibilidad de estos elementos dependen de diversos factores fisicoquímicos, entre ellos el pH, la temperatura, la dureza del agua y la presencia de materia orgánica (Becerra, 2020). Por ello, el monitoreo de metales pesados en ecosistemas acuáticos resulta fundamental para evaluar el nivel de contaminación y establecer medidas orientadas a la protección ambiental y sanitaria (Quispe et al., 2019).

2.2.5 Toxicología en truchas

La acumulación de metales pesados en los tejidos de las truchas puede producir diversas alteraciones fisiológicas y bioquímicas. Entre los principales efectos se encuentra el estrés oxidativo, ocasionado por la generación de especies reactivas de oxígeno que afectan componentes celulares importantes como lípidos, proteínas y ADN. Asimismo, ciertos órganos como el hígado, riñones y branquias presentan mayor capacidad de acumulación debido a sus funciones metabólicas y de intercambio con el medio acuático. La toxicidad de estos metales también depende de factores ambientales como el pH, la temperatura, la dureza del agua y la presencia de materia orgánica.

- a) **Estrés oxidativo:** exposición a metales como cadmio (Cd), plomo (Pb), arsénico (As) puede generar especies reactivas de oxígeno (ROS), lípido peroxidación (LPO), daño al ADN, etc. Por ejemplo, un estudio con homogenato de branquias de *O. mykiss* expuesto a cobre y mercurio mostró aumento en LPO, disminución de glutathiona reducido (GSH) y alteraciones en la actividad de GST (glutathione-S-transferasa) (Arabi & Alaeddini, 2005).
- b) **Distribución orgánica específica:** Algunos órganos tienden a acumular más que otros. Por ejemplo, el hígado y riñones son sitios comunes de acumulación alta de Cd, Pb, Hg, etc. Las branquias también suelen acumular metales que están en el agua. Este patrón es importante porque los órganos internos manejarán la toxicidad interna, pero músculos son los que más interesan para consumo humano. (Estudio de distribución en hígado, riñón, branquias en *Salmo trutta macrostigma* en Turquía con As, Cd, Hg, Pb, Cu, U, Se) (Can et al., 2012).
- c) **Interacción metal-agua/alimento:** Los metales pesados pueden ingresar al organismo de los peces mediante el contacto directo con el agua, principalmente a través de las branquias, o por medio de la alimentación al consumir organismos contaminados. Diversas investigaciones han demostrado que la exposición a metales por vía dietética puede modificar los procesos de absorción, acumulación y eliminación de estos contaminantes en órganos como las branquias y el hígado (Szebedinszky et al., 2001).
- d) **Factores que modulan toxicidad:** la dureza del agua, el pH, la concentración de iones competidores (como Ca^{2+}), la presencia de materia orgánica, la especie de metal (y su forma química, estado de oxidación), el tamaño/madurez del pez y las condiciones ambientales (temperatura, concentración de oxígeno) todo influye en cuán tóxico es un metal dado. Por ejemplo, el modelo Biotic Ligand Model (BLM) se ha usado para modelar cómo pH y dureza cambian la toxicidad y bioacumulación de Pb y Cd en truchas (BIRCEANU et al., 2008).

2.2.6 Valores toxicológicos y guías de la OMS

La Organización Mundial de la Salud (OMS) publica guías toxicológicas y los Guidelines for Drinking-water Quality, que incluyen valores orientativos para metales como arsénico, cadmio, plomo, cromo y cobre. Estas guías proporcionan dosis de referencia, criterios de riesgo y antecedentes sobre efectos crónicos y cancerígenos que son usados en evaluaciones de salud pública (p. ej., para calcular EDI/THQ/CR o para comparar concentraciones en alimentos/agua). Aunque las guías de la OMS están orientadas al agua potable, sus valores y la documentación técnica son ampliamente utilizadas como punto de referencia en estudios de alimentos y recursos acuáticos (Organización Mundial de la Salud, 2017).

En estudios realizados en lagos altoandinos como el Titicaca, es necesario integrar análisis confiables en agua, sedimentos y tejidos, además del registro de parámetros fisicoquímicos y la comparación con normas ambientales y alimentarias. Investigaciones recientes indican que, aunque algunas truchas presentan concentraciones aptas para el consumo, ciertos sedimentos y zonas del lago pueden favorecer la bioacumulación de metales a largo plazo. Por ello, el uso del BAF y la evaluación de datos ambientales son importantes para la gestión y control de la contaminación (Chui et al., 2021).

Tabla 1

Valores toxicológicos.

Metal	Valor toxicológico
Arsénico (Ar)	10 µg/L
Cadmio (Cd)	3 µg/L
Plomo (Pb)	10 µg/L
Cromo (Cr)	50 µg/L
Cobre (Cu)	2000 µg/L

Nota: Adaptado de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2017).

2.2.7 Lago Titicaca

El Lago Titicaca es uno de los ecosistemas altoandinos más importantes de América del Sur y posee gran relevancia ecológica, cultural y económica para las poblaciones de Perú y Bolivia, la calidad de las aguas del lago ha disminuido significativamente debido a la acumulación de metales pesados y residuos industriales, lo que ha afectado tanto a la fauna acuática como a los humanos que consumen el agua y los productos derivados del lago (MINAM, 2022). Sin embargo, en las últimas décadas el lago ha sido afectado por actividades antrópicas como minería, descargas domésticas y residuos agrícolas, las cuales han contribuido al deterioro de la calidad del agua y a la presencia de metales pesados en diferentes sectores del ecosistema (Monroy et al., 2014).

2.2.8 Órganos diana en peces expuestos a metales pesados

Los metales no se distribuyen uniformemente dentro del organismo, sino que muestran afinidad por órganos específicos denominados órganos diana:

- a) **Branquias:** son la principal vía de entrada desde el agua. Debido a su gran superficie de intercambio, alta irrigación y delgadas capas epiteliales, las branquias acumulan Pb, Cd, Cu y Cr rápidamente (Evans et al., 2005). Los efectos incluyen necrosis lamelar, alteraciones en transporte iónico y estrés oxidativo.
- b) **Hígado:** Principal órgano de detoxificación, almacenamiento y biotransformación. Produce proteínas metalotioneínas que secuestran metales como Cu, Cd y Pb (Hogstrand & Haux, 2001). Además, es el sitio donde el arsénico inorgánico se transforma en formas orgánicas menos tóxicas.
- c) **Riñón:** Es el órgano de acumulación crónica. El cadmio presenta mayor afinidad por el tejido renal, seguido por Pb y Cr, generando daño tubular y reducción en la capacidad de excreción (Klaassen & Liu, 2018).

d) Músculo: Aunque no siempre es el tejido con mayores concentraciones, es crucial para la evaluación de riesgo alimentario. En peces, suele retener arsénico orgánico y, en menor medida, Pb y Cd (Zorrilla et al., 2018).

2.2.9 Espectrofotometría como técnica analítica para la determinación de metales

La espectrofotometría es una técnica ampliamente utilizada para la detección de moléculas debido a su precisión, sensibilidad y aplicación en diferentes tipos de muestras (Federico,2020). Se basa en medir la absorbancia de luz de los metales presentes en una muestra, permitiendo cuantificar elementos como cobre, plomo y cadmio en tejidos de peces y agua del lago Titicaca mediante reactivos y longitudes de onda específicas (Büyükpınar et al., 2021).

En la espectrofotometría de absorción atómica se pueden presentar interacciones debidas a la llama, de ionización (si la llama no es lo suficientemente caliente para disociar las moléculas), debidas a la matriz, espectrales y químicas (disociación incompleta y formación de compuestos refractarios) (Stella, 2017).

2.2.10 Preparación de muestras de tejido de peces para análisis de metales

La preparación adecuada de las muestras de tejido de peces es fundamental para asegurar resultados precisos en el análisis de metales. Las muestras de tejido deben ser recolectadas siguiendo protocolos estandarizados, como la extracción y limpieza del tejido muscular, la eliminación de escamas y vísceras, y el posterior secado y molienda para obtener una muestra homogénea. Estas muestras preparadas deben almacenarse adecuadamente hasta su análisis para evitar la contaminación y alteración de los resultados" (Laberge-Carignan et al., 2022).

2.2.11 Bioacumulación de metales en tejidos de peces

La bioacumulación es el proceso por el cual determinadas sustancias, como los metales pesados, se incorporan y acumulan progresivamente en los tejidos de los organismos vivos a través del tiempo. En los peces, este fenómeno ocurre principalmente cuando consumen alimentos contaminados o permanecen expuestos a aguas con presencia de metales como cobre, plomo y cadmio. La acumulación continua de estos elementos puede generar efectos negativos tanto en la salud de los organismos acuáticos como en las personas que los consumen, debido a que los peces representan una fuente importante de alimentación para numerosas poblaciones (Ahmed et al., 2019).

La bioacumulación es el proceso por el cual los organismos incorporan y retienen sustancias químicas, en este caso metales pesados, a una velocidad mayor que la de eliminación, de modo que su concentración interna aumenta con el tiempo. En peces, la entrada de metales ocurre por vía acuosa (principalmente a través de branquias), por ingestión de partículas y alimento contaminado, y por contacto con sedimentos; los metales tienden a concentrarse en órganos con alta actividad metabólica (hígado, riñón, branquias) y, en menor grado, en músculo, que es la fracción relevante para consumo humano. Los procesos de bioacumulación y biomagnificación elevan los niveles de contaminantes hacia los niveles tróficos superiores, incrementando el riesgo ecológico y sanitario (Jamil Emon et al., 2023).

Un estudio reciente en Perú titulado “Human Health Risk Assessment for Exposure to Heavy Metals via Dietary Intake of Rainbow Trout in the Influence Area of a Smelting Facility Located in Peru” Los resultados mostraron que, aunque los niveles en el músculo no superaron los límites permitidos, el agua y los sedimentos presentaron elevadas concentraciones de Pb y As, representando un riesgo para la salud humana por el consumo de trucha. (Peñaloza et al., 2023).

El factor de bioacumulación (BAF) es un indicador que mide la capacidad de un organismo acuático para acumular sustancias químicas del entorno. Se calcula mediante la relación entre la concentración del metal en el tejido del organismo y su concentración en el agua (Zhong et al., 2018):

$$BAF = \frac{C_{organismo}}{C_{agua}} \quad (1)$$

Donde:

$C_{organismo}$ es la concentración del metal en el tejido (mg/kg peso húmedo), y

C_{agua} es la concentración del metal en el agua (mg/L).

El BAF permite evaluar el nivel de acumulación de contaminantes en organismos acuáticos. Un valor mayor a 1 indica bioacumulación del metal, mientras que uno menor a 1 refleja baja absorción. En peces, este factor varía según la especie, el tejido analizado y condiciones ambientales como el pH, la temperatura y la dureza del agua (Bervoets & Blust, 2003).

2.2.12 Factores que modulan la biodisponibilidad y la toxicidad

La biodisponibilidad de un metal en agua no es igual a su concentración total: depende de la especiación química (forma iónica u orgánica), el pH, la dureza (Ca^{2+} , Mg^{2+}), la presencia de materia orgánica disuelta (DOC) y la temperatura. Por ejemplo, pH ácido tiende a incrementar la fracción libre iónica de muchos metales, elevando su disponibilidad para ser absorbidos por branquias; la dureza compite por sitios de unión reduciendo la toxicidad efectiva de ciertos metales (efecto protector del calcio). Estos mecanismos están integrados en modelos como el Biotic Ligand Model (BLM), que se emplea para predecir toxicidad y explicar por qué la misma concentración total de metal puede tener efectos distintos en aguas con condiciones físico-químicas diferentes (Adams et al., 2020).

CAPÍTULO III

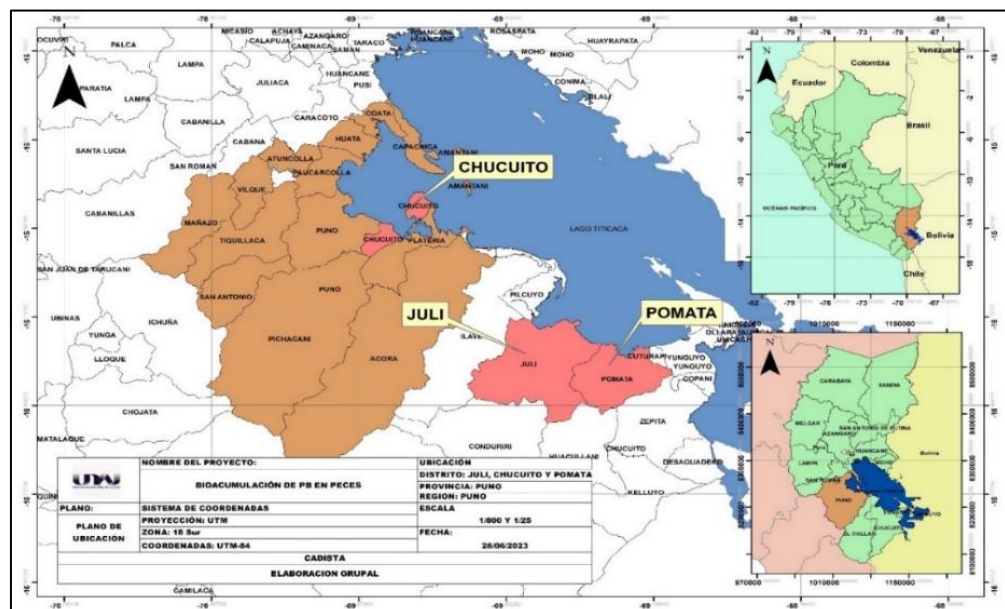
MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ámbito de estudio

El ámbito de estudio de esta investigación se centra en los cuerpos de agua de Chucuito, Juli y Pomata, ubicados en la Región de Puno, Perú, en las proximidades del lago Titicaca. Estas ubicaciones se encuentran en la latitud aproximada de $15^{\circ}50'31.92''\text{S}$ y longitud $70^{\circ}1'11.64''\text{O}$ para la región Puno, $15^{\circ}53'38''\text{S}$ y $69^{\circ}53'20''\text{O}$ para Chucuito, $16^{\circ}12'48''\text{S}$ y $69^{\circ}27'31''\text{O}$ para Juli, y $16^{\circ}16'27''\text{S}$ y $69^{\circ}17'38''\text{O}$ para Pomata, tal como se muestra en la Figura 1.

Figura 1

Mapa de ubicación de Chucuito, Juli y Pomata



3.2 Tipo y diseño de investigación

El tipo de diseño de investigación utilizado en este estudio es un diseño descriptivo y comparativo. Este diseño se emplea para identificar la bioacumulación de Plomo, Cobre, Arsénico, Cadmio y Cromo en los órganos de las truchas de los cuerpos de agua de Chucuito Juli y Pomata, así como para evaluar su concentración en el agua corriente y el sedimento de su hábitat. Además, se realizará una comparación de las concentraciones obtenidas en los estándares establecidos por la Organización mundial de la Salud (OMS) y la Environmental Protection Agency (EPA).

3.3 Población y Muestra

3.3.1 Población

La muestra de estudio comprenderá los criaderos de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) ubicados en Chucuito, Juli y Pomata, distrito de Puno.

3.3.2 Muestra

Durante la temporada de avenida, se recolectaron 27 muestras biológicas de truchas arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), distribuidas equitativamente entre los tres criaderos evaluados: Chucuito, Juli y Pomata, con nueve (9) ejemplares por localidad. De manera complementaria, se obtuvieron nueve (9) muestras de agua superficial y nueve (9) muestras de sedimentos, siguiendo el Protocolo de Monitoreo de la Calidad de Agua establecido por el Ministerio de Energía y Minas, con el fin de evaluar la posible presencia y concentración de metales pesados en el entorno acuático de los criaderos (MINEM, 2019).

La elección de las muestras a cabo mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia, técnica adecuada para estudios exploratorios y descriptivos en los que la selección depende de la accesibilidad y disponibilidad de los especímenes. Este tipo de muestreo permite obtener información representativa de las condiciones ambientales de los criaderos seleccionados, considerando la diversidad de microhábitats y las características productivas de cada zona.

Cada trucha fue pesada y medida para garantizar la homogeneidad en el tamaño y la edad aproximada de los ejemplares, reduciendo la variabilidad en la bioacumulación atribuible al crecimiento. Las muestras de agua y sedimentos se recolectaron en puntos cercanos a las jaulas de cultivo, utilizando envases previamente esterilizados y conservadas a 4 °C hasta su traslado al laboratorio para el análisis de metales pesados.

3.4 Hipótesis de investigación

3.4.1 Hipótesis general

Las concentraciones de metales pesados (Pb, Cd, Cu, As y Cr) presentes en el agua del Lago Titicaca influyen significativamente en la bioacumulación de estos elementos en los tejidos de las truchas arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) cultivadas en los criaderos de Chucuito, Juli y Pomata durante la época de avenida, lo que podría generar riesgos potenciales para la salud humana asociados a su consumo.

3.4.2 Hipótesis específicas

- Las concentraciones de metales pesados (Pb, Cd, Cu, As y Cr) en el agua de los criaderos de truchas de Chucuito, Juli y Pomata durante la época de avenida, podrían influir en las condiciones fisicoquímicas del agua, reflejando posibles niveles de alteración ambiental en el ecosistema acuático.
- La bioacumulación de metales pesados (Pb, Cd, Cu, As y Cr) en los tejidos de las truchas arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), podría influir negativamente en el equilibrio del ecosistema acuático, al alterar los procesos biológicos y tróficos, y podría representar una vía potencial de exposición para la salud humana a través de su consumo, dependiendo de las concentraciones y de la biodisponibilidad de dichos metales.
- Los riesgos para la salud asociados al consumo de truchas provenientes de los criaderos (Chucuito, Juli y Pomata), podrían representar un factor relevante a considerar en la evaluación de la seguridad alimentaria, en función de la presencia de metales pesados en los tejidos comestibles.

3.5 Equipos, materiales y reactivos

3.5.1 Equipos

Espectrofotómetro Agilent Technologies Cary 60 UV-Vis, microscopio Olympus CX23, balanza analítica Mettler Toledo ME204E, termómetro digital y multiparámetros Hanna Instruments, turbidímetro Hach 2100Q y GPS Garmin GPSMAP 64sx.

3.5.2 Materiales

Frascos de almacenamiento de 250 ml y 500 ml, vaso precipitado, probeta, bata de laboratorio, marcador indeleble, flexómetro, guantes de látex, barbijos quirúrgicos.

3.5.3 Reactivos

Ácido perclórico HClO_4 , ácido nítrico HNO_3 , ácido clorhídrico HCl , agua destilada.

3.6 Métodos

3.6.1 Evaluación de metales pesados (Pb, Cd, Cu, As, Cr) en el agua de las zonas de criaderos de truchas (Chucuito, Juli y Pomata).

Se identificaron puntos representativos de muestreo en cada uno de los criaderos, seleccionados con base en criterios de exposición potencial a contaminantes y representatividad ambiental. Para ello, se aplicó un muestreo no probabilístico por juicio o criterio, sustentado en la selección de sitios que, según el conocimiento técnico del investigador, reflejan de manera adecuada las condiciones del cuerpo de agua bajo estudio (Hernández et al., 2014).

En cada zona se incluyeron puntos estratégicos como entradas y salidas de agua, y áreas próximas a las jaulas de cultivo, considerando la posible dispersión de contaminantes y los gradientes fisicoquímicos del entorno. Este procedimiento permitió obtener una evaluación representativa y comparativa de las concentraciones de metales pesados entre los distintos sectores, asegurando la confiabilidad de los resultados conforme a los lineamientos del monitoreo ambiental establecidos por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (2002) y el Ministerio del Ambiente del Perú a través de la Autoridad Nacional del Agua (Autoridad Nacional del Agua, 2016). El procedimiento seguido para la determinación de los parámetros de campo durante el monitorio se presenta en la Figura 2, mientras que los parámetros evaluados se describen en la Tabla 2.

Figura 2

Diagrama de flujo de determinación de parámetros de campo

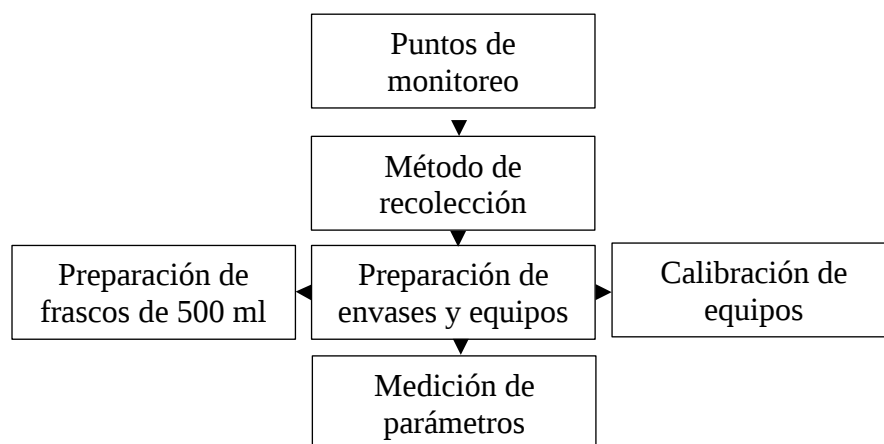


Tabla 2

Parámetros de calidad de agua

Parámetros	Unidad de medida	Instrumento de medición
pH	Unidad	Multiparámetro
Oxígeno disuelto	mg/L	Medidor de oxígeno disuelto
Conductividad eléctrica	μS/cm	Multiparámetro
Temperatura	°C	Multiparámetro
Turbidez	NTU	Turbidímetro

Nota: Elaboración propia basada en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales de la ANA (2016).

La interpretación de los resultados se realizó tomando como referencia los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, establecidos en el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM. Esta normativa establece los valores máximos permitidos de contaminantes en el recurso hídrico según su uso, incluyendo la conservación de la vida acuática y la protección de la salud humana.

Para la recolección del agua, los envases fueron sumergidos aproximadamente 20 cm por debajo de la superficie, evitando la formación

de burbujas. Posteriormente, se adicionaron aproximadamente 0.5 ml de ácido nítrico concentrado (HNO_3 al 65 %) a cada frasco de 500 ml, hasta alcanzar un pH menor a 2, conforme a las recomendaciones del Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales de la ANA (2016). Las muestras fueron etiquetadas con información correspondiente al código, fecha, hora, coordenadas geográficas (GPS), temperatura in situ, nombre del recolector y observaciones de campo.

Toda la información fue registrada en fichas de campo, permitiendo organizar los datos correspondientes a cada punto de muestreo y mantener un adecuado control de las muestras durante el proceso de análisis. El transporte se realizó en coolers herméticamente cerrados con refrigerante, manteniendo una temperatura inferior a 4 °C, y las muestras fueron remitidas al laboratorio acreditado dentro de las 24 horas posteriores a la recolección (Autoridad Nacional del Agua, 2016). El procedimiento de preservación, conservación y transporte de muestras para la determinación de metales se presenta en la Figura 3, mientras que los parámetros analizados y métodos empleados durante el monitoreo se detallan en la Tabla 3.

Figura 3

Diagrama de flujo de determinación de metales pesados en aguas de criaderos

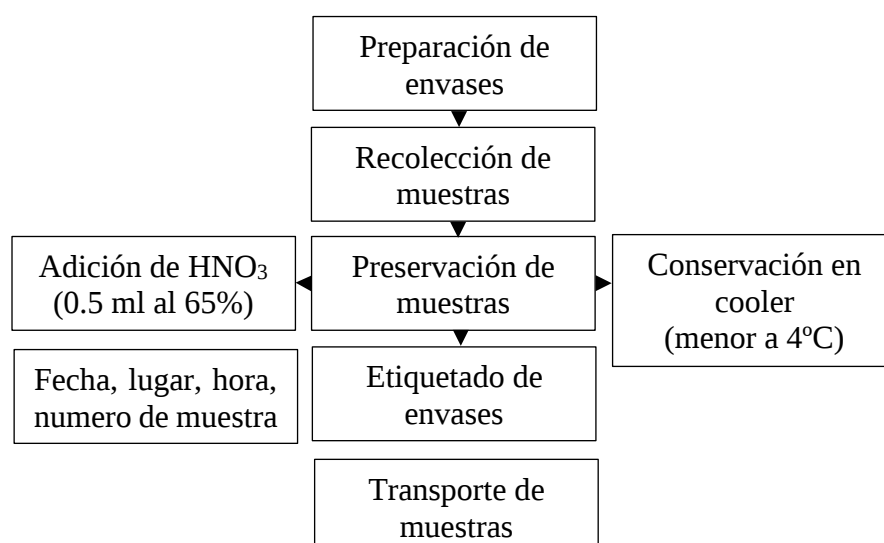


Tabla 3*Toma de muestras de agua*

Metales	Unidad de medida	Método de análisis
Plomo (Pb)	mg/L	ICP-OES
Cobre (Cu)	mg/L	ICP-OES
Arsénico (As)	mg/L	ICP-OES
Cadmio (Cd)	mg/L	ICP-OES
Cromo (Cr)	mg/L	ICP-OES

3.6.2 Evaluación de la bioacumulación de metales pesados (Pb, Cd, Cu, As, Cr) en los tejidos de las truchas procedentes de los criaderos (Chucuito, Juli y Pomata)

a) Preparación de muestras

Las muestras biológicas (músculo y piel) se recolectaron siguiendo procedimientos normalizados de muestreo, garantizando la representatividad y la integridad de los tejidos. La manipulación se efectuó con las directrices de la norma EPA 3050B (ver Anexo 7).

Cada muestra fue organizada de acuerdo con el tipo de tejido y procedencia para mantener un adecuado control durante las diferentes etapas del proceso analítico. Los instrumentos de corte se desinfectaron con ácido nítrico al 10 % y se enjuagaron con agua destilada para evitar contaminación cruzada. Los tejidos de músculo y piel fueron lavados con agua destilada, secados en horno a 60 °C hasta alcanzar peso constante. Cada muestra seca se pesó con precisión analítica (± 0.0001 g). Posteriormente, las muestras secas fueron trituradas y tamizadas utilizando una malla N.º 40 (125 μ m), con la finalidad de obtener una muestra homogénea y reducir la variabilidad analítica. El procedimiento de digestión siguió las recomendaciones de la AOAC (2012) (ver Anexo 9) para análisis de metales pesados en tejidos biológicos, empleándose digestión húmeda mediante mezcla de ácido nítrico (HNO_3) y ácido perclórico (HClO_4) bajo calentamiento controlado hasta obtener una solución transparente y libre de materia orgánica.

b) Determinación de Plomo, Cobre, Arsénico, Cadmio y Cromo en el musculo, piel y branquias

La determinación de Pb, Cd, Cu, As y Cr se efectuó mediante espectroscopía de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES), técnica reconocida por su alta sensibilidad y exactitud en estudios de bioacumulación (Adani et al., 2022). Se elaboraron curvas de calibración (ver Anexo 10) utilizando estándares certificados de los metales de interés, con el objetivo de cuantificar de forma precisa las concentraciones presentes en cada tipo de tejido (Aljohani et al., 2023). Asimismo, las condiciones operacionales durante la determinación de metales pesados mediante ICP-OES se detallan en la Tabla 4.

Las mediciones se realizaron por triplicado, calculándose el promedio aritmético de las concentraciones obtenidas para cada metal. Las muestras fueron conservadas en recipientes de polietileno herméticos, a temperatura controlada ($<4^{\circ}\text{C}$), hasta el momento del análisis.

- **Cálculo del Factor de Bioacumulación (BAF):**

Para determinar el Factor de Bioacumulación (BAF), se relacionaron las concentraciones de metales detectadas en los tejidos de los peces con los niveles encontrados en el agua de su hábitad. Este cálculo cuantifico el nivel de acumulación de cada metal en los organismos, expresando el BAF como una relación entre la concentración en el tejido y la concentración en el ambiente. Esta información permitirá evaluar la capacidad de los peces para acumular metales pesados y analizar el posible impacto en la salud humana al consumirlos.

Asimismo, se consideraron los parámetros fisicoquímicos del medio acuático, principalmente el pH y la temperatura (T), debido que ambos influyen significativamente en la movilidad, solubilidad y biodisponibilidad de los metales pesados en el agua, afectando directamente su absorción y bioacumulación en los tejidos de los peces Vieira et al. (2022). Un pH más ácido puede incrementar la disponibilidad de ciertos metales en el medio acuático, mientras que las variaciones de temperatura pueden modificar los procesos

metabólicos de los organismos y la dinámica química de los contaminantes.

$$BAF = \frac{C_{trucha}}{C_{agua}} \quad (2)$$

Donde:

- C_{trucha} es la concentración de cada metal en la trucha.
- C_{agua} es la concentración del metal en el agua del criadero.

Tabla 4

Bioacumulación de truchas según tamaño y tejido

Tamaño de trucha	Tejido analizado	Método de análisis
Pequeño (menos de 20 cm)	Músculo, piel, hígado.	ICP-OES
Mediana (20 cm -35 cm)	Músculo, piel, hígado.	ICP-OES
Grande (más de 35 cm)	Músculo, piel, hígado.	ICP-OES

- **Método de ditiocarbamato de plata para la determinación de arsénico y cromo**

El método de ditiocarbamato de plata se basa en la formación de complejos insolubles de arsénico y cromo con el dietilditiocarbamato de plata, los cuales pueden separarse y cuantificarse mediante técnicas espectrofotométricas, proporcionando alta sensibilidad y selectividad incluso en matrices complejas como agua de lago y tejidos de peces. Para la preparación del reactivo se empleó una solución de dietilditiocarbamato de plata al 0.1 % (p/v), equivalente a 0.1 g del reactivo disuelto en 100 mL de solvente orgánico. Asimismo, las soluciones estándar utilizadas para la calibración analítica presentaron concentraciones de 0.02 mg/L, 0.05 mg/L, 0.10 mg/L, 0.50 mg/L y 1.00 mg/L para arsénico y cromo, siguiendo los rangos de trabajo comúnmente empleados en procedimientos analíticos desarrollados en la Universidad Nacional de San Agustín (UNSA) para la determinación de metales pesados en matrices ambientales.

c) Procedimiento general utilizado en la UNSA:

- **Preparación de la muestra:** La preparación de las muestras biológicas se realizó en los laboratorios de la Universidad Nacional de San Agustín (UNSA), siguiendo los procedimientos establecidos por el método de Dietilditiocarbamato de Plata, garantizando la adecuada conservación, digestión y homogeneización de las muestras antes del análisis.

Las muestras acuáticas (agua) o biológicas (tejidos de trucha) se digieren previamente. Para ello, se utilizó una mezcla de ácido nítrico concentrado (HNO_3) y peróxido de hidrógeno (H_2O_2) en una proporción de 3:1 (v/v).

En el caso de tejidos de trucha, se pesaron aproximadamente 2 g de muestra homogenizada, adicionándose:

- 15 ml de HNO_3 concentrado (65 %)
- 5 ml de H_2O_2 al 30 %

Posteriormente, la digestión se realizó bajo calentamiento controlado hasta obtener una solución transparente y libre de materia orgánica.

- **Precipitación del complejo:** El proceso de precipitación de las muestras fue desarrollado en los laboratorios de la Universidad Nacional de San Agustín (UNSA)

Una vez obtenida la solución digerida, se adicionó una solución de ditiocarbamato de plata al 0.1 % (p/v) preparada en medio orgánico, promoviendo la formación del complejo coloreado de arsénico-dietilditiocarbamato de plata. La reacción se desarrolló en medio ácido controlado, permitiendo la estabilización del complejo para su posterior determinación espectrofotométrica

- **Filtración y lavado:** El complejo formado fue separado mediante filtración utilizando papel filtro de porosidad fina Whatman N.º 42 ($\approx 2.5 \mu\text{m}$ de retención), realizándose posteriormente lavados con agua destilada ultrapura para eliminar posibles interferencias y residuos de reactivos.

- **Cuantificación:** La cuantificación del arsénico se efectuó mediante lectura espectrofotométrica utilizando curvas de calibración preparadas con soluciones estándar en concentraciones de:

- 0.01 mg/L
- 0.05 mg/L
- 0.10 mg/L
- 0.50 mg/L
- 1.00 mg/L

- **Gravimetría:** Se pesa el precipitado seco para determinar la concentración del metal.
- **Espectrofotometría:** El complejo formado fue disuelto en un solvente orgánico adecuado y la absorbancia se determinó mediante espectrofotometría UV-Visible a una longitud de onda de 535 nm, permitiendo la cuantificación del arsénico mediante curvas de calibración preparadas con estándares.

- **Ventajas del método:**

El método presenta alta sensibilidad y selectividad analítica, permitiendo detectar bajas concentraciones de arsénico y cromo en muestras ambientales y biológicas.

Asimismo, muestra un bajo límite de detección y una adecuada reproducibilidad instrumental, con coeficientes de calibración superiores a $R^2 = 0.995$.

Los porcentajes de recuperación entre 90 % y 105 % garantizan precisión y confiabilidad en los resultados. Además, resulta adecuado para estudios de bioacumulación y monitoreo ambiental, siendo compatible con técnicas espectrofotométricas UV-Visible y procedimientos de digestión húmeda empleados en el laboratorio de la Universidad Nacional de San Agustín.

3.6.3 Evaluación del riesgo para la salud asociado al consumo de truchas

La evaluación del riesgo para la salud humana se realizó a partir de las concentraciones de Pb, Cd, Cu, As y Cr detectadas en los tejidos comestibles (músculo y piel) de *Oncorhynchus mykiss* provenientes de los Los valores obtenidos se compararon con los límites máximos permisibles establecidos por el CODEX alimentarius, para determinar si el consumo de trucha representa un riesgo potencial para la salud. Asimismo, la metodología aplicada siguió el enfoque desarrollado por Chui (2021), quien evaluó la presencia de metales pesados en truchas cultivadas del lago Titicaca mediante técnicas instrumentales, determinando concentraciones de Zn, Fe, Cd, Mn, Pb, Cu y Hg en tejidos de *Oncorhynchus mykiss* destinados al consumo humano.

Los resultados se organizaron en tablas comparativas y se analizaron de manera descriptiva, destacando las zonas donde las concentraciones excedieron los valores normativos. Este procedimiento permitió identificar áreas críticas y proponer medidas de mitigación y monitoreo continuo, en concordancia con las directrices de la Organización Mundial de la Salud (2017).

3.6.4 Análisis estadístico

El análisis estadístico realizado en este estudio fue de carácter descriptivo, dado que el objetivo principal fue evaluar las concentraciones de metales pesados en el agua y en los tejidos de las truchas de los criaderos de Chucuito, Juli y Pomata. Para ello, se utilizaron medidas de tendencia central como la media lo que permitió caracterizar el comportamiento de cada metal (Pb, Cu, As, Cd y Cr) en las diferentes zonas de muestreo.

Los resultados fueron organizados en tablas y gráficos para facilitar la interpretación y comparación entre localidades. Asimismo, se contrastaron los valores obtenidos con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para determinar el nivel de cumplimiento o excedencia de los límites permitidos. En el caso de las concentraciones en tejido, se realizó una comparación descriptiva entre criaderos, considerando los valores promedio y las variaciones observadas entre individuos.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Evaluación de las concentraciones de metales pesados (Pb, Cd, Cu, As, Cr) en el agua de las zonas los criaderos de truchas (Chucuito, Juli y Pomata)

A continuación, se presentan los resultados de las concentraciones de los metales pesados Plomo (Pb), Cobre (Cu), Cadmio (Cd), Arsénico (As) y Cromo (Cr) en las aguas de los criaderos de truchas ubicados en las zonas de Chucuito, Juli y Pomata. Esta medición fue realizada utilizando espectrofotómetro NOVAA 400 P, los cuales se analizaron en el laboratorio de la UNAJ.

Tabla 5

Resultados de la concentración de metales pesados en los puntos de muestreo comparados con los ECAs

Muestra	Plomo (mg/L)	Cobre (mg/L)	Cadmio (mg/L)	Arsénico (mg/L)	Cromo (mg/L)
Chucuito	0.0294	0.72495	0.0011	0.01295	0.000845
Juli	0.0131	0.7243	0.00245	0.0336	0.0012
Pomata	0.0257	0.72535	0.0016	0.0164	0.0015
ECAS	0.0025	0.1	0.00025	0.15	0.011

Los resultados obtenidos en la Tabla 5 evidencian que las concentraciones de plomo (Pb), el cobre (Cu) y el cadmio (Cd) superan las concentraciones en las tres zonas de estudio, mientras que el arsénico (As) y el cromo (Cr) se mantienen por debajo de los valores normativos. en las aguas de los criaderos de Chucuito, Juli y Pomata superan los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua - Categoría 4: Conservación del ambiente acuático establecidos por el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM (2017).

Los hallazgos reportados por De la Cruz Palomino (2024), quien identificó concentraciones elevadas de arsénico (0.028 mg/L) en zonas mineras de Ayacucho, lo que evidencia un patrón de contaminación metálica expuestos a la actividad extractiva. De igual forma, el Instituto del Mar del Perú (IMARPE, 2021) registró niveles de plomo superiores a 0.01 mg/L en la bahía interior de

Puno, confirmando que la presencia de metales pesados constituye un problema ambiental persistente en el Altiplano Peruano.

La detección de plomo cobre y cadmio, por encima de los valores establecidos en el ECA representa una amenaza potencial para la biota acuática y la salud humana, debido a su elevada toxicidad, persistencia y capacidad de bioacumulación. El cobre, aunque dentro de los límites aceptables, muestra concentraciones elevadas que podrían provocar efectos crónicos subletales, tales como alteraciones enzimáticas, estrés oxidativo y disfunciones en el metabolismo de los peces, especialmente en organismos expuestos de forma prolongada (García et al., 2019).

Estos resultados evidencian la necesidad de fortalecer sostenidamente las acciones de monitoreo ambiental y control de vertimientos en zonas de influencia de criaderos, priorizando estrategias de manejo integral de cuencas y el cumplimiento efectivo de la normativa ambiental vigente. Dichas medidas son fundamentales para prevenir impactos negativos sobre los ecosistemas acuáticos y salvaguardar la seguridad alimentaria de las poblaciones locales que dependen de la trucha como importante fuente de proteína. Asimismo, la dinámica hidrológica del Lago Titicaca y sus afluentes desempeña un papel relevante en la redistribución de metales pesados, particularmente durante la época de avenida, cuando el incremento del caudal y arrastre de sedimentos desde áreas circundantes favorecen la movilización y dispersión de contaminantes en el sistema acuático.

4.1.1 Determinación de los parámetros fisicoquímicos

Los parámetros fueron realizados en in situ utilizando un multiparámetro HI98194, los que se detallan en la Tabla 6.

Tabla 6

Parámetros fisicoquímicos

Parámetros	Chucuito	Juli	Pomata
pH	8.93	8.34	8.75
Temperatura (°C)	12.50	11.20	13.80
Oxígeno disuelto (mg/L)	6.50	8.76	6.50
Conductividad (µS/cm)	6264	15.35	8145
Turbidez (NTU)	0.51	4.74	0.24
Sólidos disueltos totales (TDS)	3102	7679	4073

Los parámetros fisicoquímicos del agua se determinaron con un multiparámetro HI98194 en el laboratorio de la Universidad Nacional de Juliaca. Los valores registrados muestran pH alcalino (8.34–8.93), temperaturas entre 11.20 y 13.80 °C, oxígeno disuelto entre 6.50 y 8.76 mg/L, y alta conductividad eléctrica, especialmente en Pomata (8145 μ S/cm).

La conductividad eléctrica observada refleja una concentración elevada de sales disueltas y iones metálicos, lo cual puede alterar los mecanismos fisiológicos de osmorregulación y aumentar el estrés osmótico en los peces (Tebourbi et al., 2018).

El rango de oxígeno disuelto registrado (6.50–8.76 mg/L) se encuentra dentro de los niveles adecuados para el mantenimiento de la vida acuática, aunque las condiciones de acidez extrema pueden reducir la capacidad de los organismos para aprovechar el oxígeno, afectando procesos metabólicos y de crecimiento (Boyd & Tucker, 2014).

Los resultados obtenidos son coherentes con los reportes del IMARPE (2021) y De la Cruz Palomino (2024), quienes documentaron valores similares de pH bajo y elevada conductividad en cuerpos de agua del altiplano peruano expuestos a la influencia minera. En tales ambientes, los drenajes ácidos de mina y la lixiviación de metales pesados constituyen los principales factores responsables de la degradación de la calidad del agua (Cruz-García et al., 2022).

4.2 Evaluación de la bioacumulación de metales pesados (Pb, Cd, Cu, As, Cr) en los tejidos de las truchas procedentes de los criaderos (Chucuito, Juli y Pomata)

La bioacumulación de metales pesados en tejidos de truchas de los criaderos de Chucuito, Juli y Pomata fue evaluada mediante diferentes métodos analíticos. Los metales Pb, Cu y Cd se analizaron en los laboratorios de la Universidad Nacional de Juliaca usando un espectrofotómetro de absorción atómica Analytik Jena novAA 400 P, técnica reconocida por su eficacia en la determinación de metales pesados en tejidos biológicos y alimentos (García et al., 2019).

Por otro lado, los metales arsénico (As) y cromo (Cr) fueron analizados en los laboratorios de la Universidad Nacional San Agustín de Arequipa mediante técnicas especializadas: el arsénico se determinó mediante el método de dietilditiocarbamato de plata, reconocido por su alta sensibilidad y selectividad en matrices acuáticas y biológicas (UNSA, 2020), mientras que el cromo fue medido mediante absorción atómica. Estas técnicas han sido utilizadas con éxito en estudios de evaluación de metales pesados en peces de diferentes hábitats, respaldando la fiabilidad de los resultados obtenidos en esta investigación (Chai et al., 2020). Los resultados obtenidos para las concentraciones de metales pesados en las muestras analizadas se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7

Resultados de metales pesados en la trucha

Muestra	Plomo (Pb) (mg/L)	Cobre (Cu) (mg/L)	Cadmio (Cd) (mg/L)	Arsénico (As) (mg/L)	Cromo (Cr) (mg/L)
Chucuito C-1-1	0.2555	0.9318	0.0248	0.0016	0.862
Chucuito C-1-2	0.0792	0.5912	0.0074	0.0029	0.9721
Chucuito C-2-1	0.1031	0.0898	0.0145	0.0034	0.8455
Chucuito C-2-2	0.1103	0.0756	0.015	0.0021	0.8937
Juli M-10-1	0.0211	0.0783	0.0058	0.0044	0.3782
Juli M-10-2	0.0292	0.0847	0.007	0.0038	0.3018
Juli M-12-1	0.0354	0.1349	0.0056	0.0048	0.2603
Juli M-12-2	0.0249	0.0008	0.0077	0.0042	0.3482
Pomata P-1-1	0.0321	0.0074	0.0071	0.0045	0.275
Pomata P-1-2	0.0277	0.0008	0.0077	0.0039	0.2304
Pomata P-2-1	0.0124	0.0111	0.0111	0.0045	0.3013
Pomata P-2-2	0.0242	0.1301	0.0047	0.0032	0.2832

El análisis de metales pesados en trucha del Lago Titicaca, cuyos resultados se presentan en la Tabla 8, indica que Plomo (Pb), Cadmio (Cd) y Cromo (Cr) presentan las concentraciones elevadas, particularmente en la zona de Chucuito, con valores que superan los límites recomendados para peces según normativa internacional (Codex Alimentarius, 2011; FAO/WHO, 2011). Por otro lado, Cobre (Cu) y Arsénico (As) se mantienen en rangos considerados seguros para el consumo humano. Estas diferencias espaciales sugieren que Chucuito es la zona con riesgo de bioacumulación, lo que podría afectar tanto la salud de la fauna acuática como la seguridad alimentaria de las comunidades locales que consumen trucha (Borgmann & Norwood, 2002).

Tabla 8

Resultados de la bioacumulación de metales en la trucha

Muestra	Plomo (Pb) (mg/L)	Cobre (Cu) (mg/L)	Cadmio (Cd) (mg/L)	Arsénico (As) (mg/L)	Cromo (Cr) (mg/L)
Chucuito C-1-1	8.6905	1.2853	22.5455	0.1236	1020.1183
Chucuito C-1-2	2.6939	0.8155	6.7273	0.2239	1150.4142
Chucuito C-2-1	3.5068	0.1239	13.1818	0.2625	1000.5917
Chucuito C-2-2	3.7517	0.1043	13.6364	0.1622	1057.6331
Juli M-10-1	1.6107	0.1081	2.3673	0.1310	315.1667
Juli M-10-2	2.2290	0.1169	2.8571	0.1131	251.5000
Juli M-12-1	2.7023	0.1862	2.2857	0.1429	216.9167
Juli M-12-2	1.9008	0.0011	3.1429	0.1250	290.1667
Pomata P-1-1	1.2490	0.0102	4.4375	0.2744	183.3333
Pomata P-1-2	1.0778	0.0011	4.8125	0.2378	153.6000
Pomata P-2-1	0.4825	0.0153	6.9375	0.2744	200.8667
Pomata P-2-2	0.9416	0.1794	2.9375	0.1951	188.8000

Los niveles altos de Pb, Cd y Cr observados en las muestras de trucha (especialmente en Chucuito) evidencian una grave bioacumulación de metales pesados, lo cual es consistente con estudios previos que han documentado concentraciones elevadas de plomo y cadmio en trucha en el Titicaca. Rojas-Apaza (2022) encontró plomo en hígado y músculo de trucha de jaulas flotantes en Chucuito por encima de los límites permitidos. Además, un estudio en truchas de zonas mineras del Perú reportó acumulación significativa de metales tóxicos en peces cultivados (“Evaluación de metales pesados truchas *Oncorhynchus mykiss*” – González & Murga, 2020).

4.3 Evaluación de los riesgos para la salud asociados al consumo de truchas provenientes de los criaderos (Chucuito, Juli y Pomata)

Se utilizaron los resultados de los análisis de los metales pesados en los tejidos de las truchas (plomo, cobre, cadmio, arsénico y cromo) y se compararon con los límites Codex Alimentarius. Los resultados comparativos obtenidos se presentan en la Tabla 9.

Tabla 9

Comparación de concentración de metales pesados en truchas arcoíris.

Metales	Chucuito	Juli	Pomata	Límite Codex
Plomo (Pb)	0.2555 mg/L	0.0354 mg/L	0.0321 mg/L	0.30 mg/L
Cobre (Cu)	0.9318 mg/L	0.1349 mg/L	0.1301 mg/L	2.0 mg/L
Cadmio (Cd)	0.0248 mg/L	0.0077 mg/L	0.0111 mg/L	0.30 mg/L
Arsénico (As)	0.0016 mg/L	0.0048 mg/L	0.0045 mg/L	0.30 mg/L
Cromo (Cr)	0.9721 mg/L	0.3782 mg/L	0.3013 mg/L	1.0 mg/L

Las concentraciones de plomo (Pb) registradas en las aguas de los criaderos de Chucuito (0.2555 mg/L), Juli (0.0354 mg/L) y Pomata (0.0321 mg/L) se mantienen por debajo del límite máximo permitido para alimentos establecido por el Codex Alimentarius (0.30 mg/L). No obstante, la presencia de Pb en el medio acuático constituye un factor relevante a considerar, debido a su elevada toxicidad y capacidad de bioacumulación en tejidos comestibles de peces, lo que podría

incrementar la exposición crónica en poblaciones con consumo frecuente de trucha. Diversos estudios han señalado que incluso concentraciones cercanas a los valores guía pueden representar un riesgo potencial para la salud humana, particularmente en grupos vulnerables como niños y gestantes (FAO & WHO, 2022; Tchounwou et al., 2012).

En el caso del cobre (Cu), las concentraciones observadas en Chucuito (0.9318 mg/L), Juli (0.1349 mg/L) y Pomata (0.1301 mg/L) se encuentran por debajo del límite máximo de 2 mg/L establecido por el Codex Alimentarius para productos pesqueros. Sin embargo, el cobre, aunque es un micronutriente esencial, puede generar efectos adversos cuando se acumula en organismos acuáticos y es ingerido de manera continua a través de la dieta, pudiendo ocasionar alteraciones gastrointestinales y hepáticas en humanos. Estudios en sistemas acuáticos altoandinos han advertido que concentraciones persistentes de Cu en el agua pueden favorecer su bioacumulación en peces, incrementando el riesgo de exposición dietaria a largo plazo (WHO, 2017; García et al., 2019).

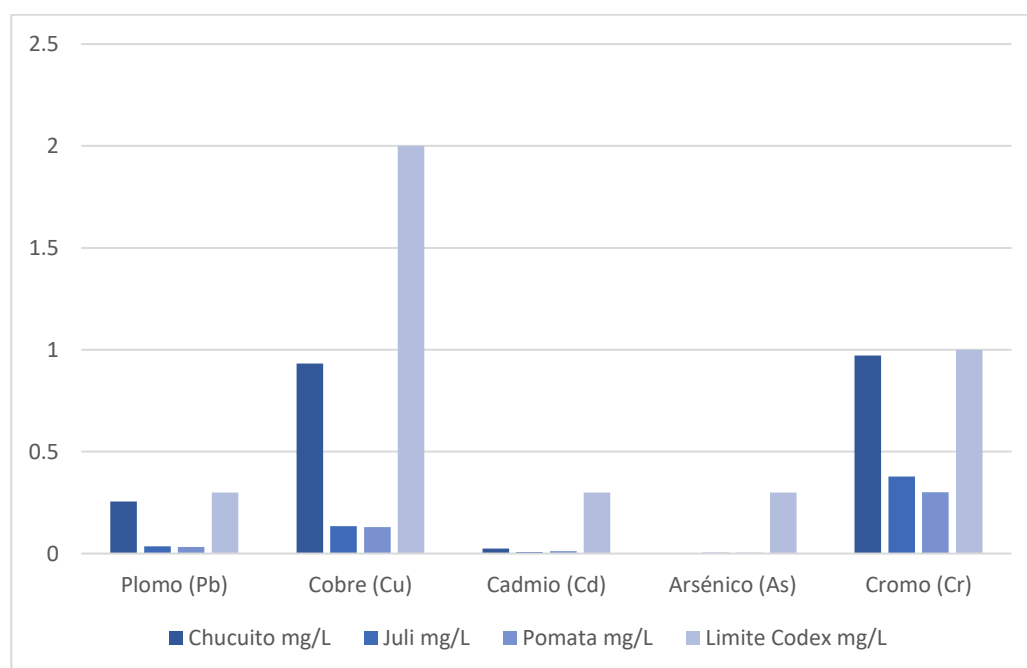
Respecto al cadmio (Cd), los valores registrados (0.0248 mg/L en Chucuito, 0.0077 mg/L en Juli y 0.0111 mg/L en Pomata) se sitúan por debajo del límite de 0.30 mg/L; sin embargo, este metal es considerado altamente tóxico incluso a bajas concentraciones, debido a su prolongada vida media biológica y su afinidad por tejidos como riñón e hígado. La exposición crónica al Cd a través del consumo de alimentos contaminados ha sido asociada con efectos nefrotóxicos y desmineralización ósea, por lo que su detección en el ambiente acuático representa un posible riesgo acumulativo para la salud humana (FAO & WHO, 2022; Jarup & Akesson, 2009).

Las concentraciones de arsénico (As) determinadas en las tres localidades (0.0016–0.0048 mg/L) se encuentran ampliamente por debajo del límite máximo de 0.30 mg/L establecido por el Codex Alimentarius. No obstante, la relevancia toxicológica del arsénico radica en su forma química, siendo el arsénico inorgánico el de mayor preocupación sanitaria. Diversos estudios han señalado que, aun a concentraciones bajas en el agua, el arsénico puede incorporarse a la cadena trófica acuática, lo que podría incrementar la exposición humana a través del consumo de peces en el largo plazo (WHO, 2017; Smedley & Kinniburgh, 2002).

Finalmente, el cromo (Cr) presentó concentraciones de 0.9721 mg/L en Chucuito, 0.3782 mg/L en Juli y 0.3013 mg/L en Pomata, valores que se mantienen dentro del límite máximo de 1 mg/L. Sin embargo, la posible presencia de cromo hexavalente (Cr VI), reconocido por su carácter carcinogénico, representa un aspecto de interés sanitario. Aunque no se puede establecer el tipo de cromo presente en este estudio, investigaciones previas han indicado que la exposición prolongada a concentraciones cercanas a los valores guía podría incrementar el riesgo de efectos adversos en la salud humana si ocurre bioacumulación en los tejidos comestibles de peces (ATSDR, 2022; Costa & Klein, 2006).

Figura 4

Cuadro comparativo Codex Alimentarius



En la figura 4 se observa que en los criaderos de Chucuito, Juli y Pomata se mantienen por debajo de los límites del Codex Alimentarius para consumo humano (Pb: 0.30, Cu: 2, Cd: 0.30, As: 0.30 y Cr: 1 mg/L); sin embargo, el perfil detectado exige una vigilancia rigurosa debido a la elevada toxicidad y capacidad de bioacumulación de estos elementos. Destacan los niveles de plomo (0.2555 mg/L) y cromo (0.9721 mg/L) en Chucuito, los cuales, al rozar los umbrales máximos, advierten que un consumo excesivo y frecuente de trucha proveniente de estas zonas podría sobrepasar la ingesta diaria admisible, transformando un

alimento nutritivo en un vehículo de toxicidad sistémica. Mientras que el plomo y el cadmio representan amenazas graves por su afinidad con tejidos óseos y su neurotoxicidad en grupos vulnerables, el cobre y el arsénico pueden desencadenar alteraciones hepáticas y efectos carcinogénicos tras una ingesta dietaria prolongada. En este contexto, la presencia persistente de estos contaminantes, sumada al riesgo de saturación metabólica por consumo desmedido, subraya la necesidad de un monitoreo continuo bajo los estándares del Ministerio del Ambiente (MINAM) y el Codex Alimentarius, con el fin de mitigar los riesgos de transferencia trófica y asegurar la inocuidad alimentaria en la cuenca del Titicaca.

4.4 Análisis estadístico

Los resultados del análisis estadístico descriptivo se presentan en la Tabla 10. Se incluyó medidas de tendencia central (media y mediana) y de dispersión (desviación estándar, mínimo y máximo). Estas métricas permiten identificar la magnitud de la acumulación de cada metal, así como la heterogeneidad entre muestras, lo cual es fundamental para comprender la dinámica de bioacumulación en ambientes acuícolas expuestos a contaminación por metales (FAO/WHO, 2018; Jomaa et al., 2022).

Tabla 10

Estadística descriptiva general de la bioacumulación de metales pesados en trucha (Oncorhynchus mykiss) del lago Titicaca.

Metales	Media	Mediana	Desv. Est.	Mínimo	Máximo
Pb	2.57 mg/kg	2.06 mg/kg	2.18	0.48	8.69
Cu	0.25 mg/kg	0.11 mg/kg	0.39	0.001	1.28
Cd	7.16 mg/kg	4.62 mg/kg	6.23	2.28	22.54
As	0.19 mg/kg	0.17 mg/kg	0.06	0.11	0.27
Cr	502.43 mg/kg	270.83 mg/kg	413.6	153.6	1150.41

Los resultados de la estadística descriptiva muestran que los metales pesados presentan patrones diferenciados de bioacumulación en la trucha *Oncorhynchus mykiss*. El plomo (Pb) presenta una media de 2.57 mg/kg, pero con un valor máximo elevado (8.69 mg/kg), valor que supera considerablemente los límites internacionales comunes para consumo humano (según el CODEX alimentario su valor ronda por los 0.3 mg/kg), indicando eventos puntuales de acumulación alta,

lo cual es característico de peces expuestos crónicamente a aguas con variaciones en pH y conductividad que favorecen la solubilidad del metal (Rodríguez-Quispe et al., 2021). El cobre (Cu) muestra valores bajos en promedio (0.25 mg/kg) y una mediana de 0.11 mg/kg, lo que sugiere una acumulación moderada y dependiente del tejido y de la capacidad regulatoria del pez, consistente con su papel esencial y su homeostasis mediada por metalotioneínas (Hogstrand & Haux, 2001). El cadmio (Cd) evidencia una media elevada de 7.16 mg/kg y una desviación estándar amplia (6.23), lo que refleja un comportamiento altamente bioacumulativo entre los individuos muestreados, además es sabido que este metal presenta alta afinidad por riñón e hígado tal como reportan estudios toxicológicos recientes (Klaassen & Liu, 2018). En el caso del arsénico (As), los valores son más homogéneos (media 0.19 mg/kg; DE 0.06), coherentes con la capacidad del pez para transformar As inorgánico en especies orgánicas menos tóxicas (ATSDR, 2023). Finalmente, el cromo (Cr) presenta la mayor variabilidad, con una media de 502.43 mg/kg y un máximo de 1150.41 mg/kg, evidenciando una acumulación sustancial atribuible a la presencia de cromo trivalente y hexavalente en el ambiente, los cuales pueden concentrarse en tejidos branquiales y hepáticos (Galarza et al., 2022). En conjunto, la alta dispersión observada en los metales tóxicos confirma que los peces están sometidos a condiciones ambientales fluctuantes que modulan la biodisponibilidad de los metales, reforzando la necesidad de monitoreo permanente bajo los lineamientos del MINAM y los criterios de inocuidad alimentaria establecidos por Codex Alimentarius (2019).

La elevada desviación estándar del cromo y cadmio respecto a sus medias, reportada en la Tabla 10, indica que la contaminación en el lago no es uniforme. Esto sugiere la presencia de focos contaminados cercanos a desembocaduras de ríos, zonas urbanas o diferencias en la edad y tiempo de exposición de los especímenes. Lo anterior genera un desequilibrio ecosistémico provocando mortalidad elevada de alevines, mutaciones y fallos reproductivos en especies nativas entre otros. Asimismo, la comparación de las concentraciones promedio de metales pesados con los límites permisibles internacionales, presentada en la Tabla 11, evidencia que algunos metales exceden los estándares establecidos para el consumo humano y la protección de la vida acuática, sugiriendo un importante proceso de bioacumulación en las truchas evaluadas.

Tabla 11

Comparación entre los valores medios de metales con los límites internacionales

Metales	Media mg/kg	Limite internacional CODEX mg/kg	Estado
Plomo	2.57	0.3	Excede 8.5 veces
Cadmio	7.16	0.05-0.10	Excede 70 veces el límite
Arsénico	0.19	0.1	Excede el doble del límite
Cromo	502.43	-	Nivel extremadamente alto

En cuanto a la implicancia de riesgo, los niveles registrados de cromo, cadmio y plomo son particularmente preocupantes desde un punto de vista eco toxicológico y salud pública, ya que *Oncorhynchus mykiss* actúa como indicador de la degradación ambiental del lago Titicaca probablemente a las actividades mineras o vertidos urbanos industriales.

Por otro lado, el impacto en el cuerpo humano resulta ser un riesgo de toxicidad real al consumir truchas con las concentraciones reportadas, ya que los metales pesados actúan como "venenos silenciosos" que el cuerpo no puede metabolizar ni expulsar fácilmente.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

La evaluación de la concentración de metales pesados (Pb, Cd, Cu, As y Cr) en los puntos de muestreo ubicados en Chucuito, Juli y Pomata durante la época de avenida evidenció que las concentraciones están dentro de los ECA-Agua para cuerpos de agua superficiales (D.S. N.º 004-2017-MINAM). Los parámetros fisicoquímicos registrados mostraron valores de pH alcalino entre 8.34 y 8.93, temperaturas entre 11.20 °C y 13.80 °C, oxígeno disuelto entre 6.50 y 8.76 mg/L, conductividad eléctrica de 15.35 a 8145 µS/cm y sólidos disueltos totales entre 3102 y 7679 mg/L. Estas condiciones favorecen la movilidad, solubilidad y biodisponibilidad de los metales pesados en el medio acuático, incrementando el riesgo de bioacumulación en los organismos acuáticos del lago Titicaca.

Los análisis realizados en los tejidos de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) demostraron una bioacumulación diferencial de metales pesados según la zona de procedencia, las truchas muestran acumulaciones elevadas de metales con valores de Pb hasta 8.69 mg/L, Cd hasta 22.55 mg/L y Cr por encima de 1000 mg/L en Chucuito lo que evidencia una fuerte retención en órganos diana como hígado y riñón, órganos responsables de detoxificación y acumulación crónica.

Las concentraciones detectadas en el tejido muscular de las truchas evidenciaron la presencia de plomo (Pb), cadmio (Cd) y arsénico (As), particularmente en las muestras procedentes de Chucuito, donde algunos valores superaron los límites máximos permisibles establecidos por el Codex Alimentarius para consumo humano. Esta situación representa un riesgo potencial para la salud de los consumidores, debido a que dichos metales son considerados altamente tóxicos por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2021) y la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR).

5.2 Recomendaciones

Implementar sistemas de monitoreo continuo de la calidad del agua y sedimentos, dado que se identificaron concentraciones elevadas de metales pesados como plomo y cromo, especialmente en Chucuito, se recomienda instalar estaciones de monitoreo permanente para evaluar parámetros fisicoquímicos y niveles de contaminantes en tiempo real. Esto permitirá actuar rápidamente ante incrementos críticos y tomar decisiones basadas en evidencia para la protección del ecosistema y la seguridad alimentaria.

Se recomienda fortalecer la gestión ambiental en los criaderos mediante la identificación y control de posibles fuentes de aporte de metales pesados, considerando que parámetros como la alta conductividad y TDS favorecen la movilidad y biodisponibilidad de Pb, Cd y Cr. Acciones como la mejora del manejo de escorrentías, la incorporación de barreras vegetales, la reducción de aportes externos y la evaluación de remediación de sedimentos pueden disminuir la acumulación futura, en concordancia con las medidas de prevención establecidas por el MINAM y los lineamientos internacionales de manejo acuícola sostenible (FAO, 2020).

Se recomienda que futuras investigaciones complementen la evaluación del riesgo para la salud humana mediante la aplicación de modelos cuantitativos como la ingesta diaria estimada (EDI) y el cociente de riesgo (THQ), los cuales permiten una estimación más precisa del riesgo no carcinogénico asociado al consumo de truchas contaminadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuña Monteverde, H. (2022). Contaminación ambiental. *Contaminacion Ambiental*, 15(2), 263–265. [https://doi.org/10.26820/recimundo/6.\(2\).abr.2022.93-103](https://doi.org/10.26820/recimundo/6.(2).abr.2022.93-103)
- Adams, W., Blust, R., Dwyer, R., Mount, D., Nordheim, E., Rodriguez, P. H., & Spry, D. (2020). Bioavailability Assessment of Metals in Freshwater Environments: A Historical Review. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 39(1), 48–59. <https://doi.org/10.1002/etc.4558>
- Adani, P., Sawale, A. A., & Nandhagopal, G. (2022). Bioaccumulation of heavy metals in the food components from water and sediments in the coastal waters of Kalpakkam, Southeast coast of India. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, 17. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2021.100627>
- Ahmed, A. S. S., Rahman, M., Sultana, S., Babu, S. M. O. F., & Sarker, M. S. I. (2019). Bioaccumulation and heavy metal concentration in tissues of some commercial fishes from the Meghna River Estuary in Bangladesh and human health implications. *Marine Pollution Bulletin*, 145, 436–447. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.06.035>
- Alibabić, V., Vahčić, N., & Bajramović, M. (2007). Bioaccumulation of metals in fish of Salmonidae family and the impact on fish meat quality. *Environmental Monitoring and Assessment*, 131(1–3), 349–364. <https://doi.org/10.1007/s10661-006-9480-6>
- Alipio Ortega Rodríguez Miembro, Ing, & Maríz, T. (n.d.-a). *Tingo María, 17 de diciembre de 2014 Universidad Nacional Agraria De La Selva N° 013-20'14*.
- Alipio Ortega Rodríguez Miembro, Ing, & Maríz, T. (n.d.-b). *Tingo María, 17 de diciembre de 2014 Universidad Nacional Agraria De La Selva Acta De Sustentación De Tesis N° 013-20'14*.
- Alipio Ortega Rodríguez Miembro, Ing, & Maríz, T. (n.d.-c). *Tingo María, 17 de diciembre de 2014 Universidad Nacional Agraria De La Selva Acta De Sustentación De Tesis N° 013-20'14*.
- Aljohani, N. S., Kavil, Y. N., Alelyani, S. S., Al-Farawati, R. K., Orif, M. I., Aljohani, N. H., Ghandourah, M. I., Al-Mhyawi, S. R., Bahshwan, S. M., & Salam, M. A. (2023a). Bioaccumulation of heavy metals in fish collected from the Eastern Coast

- of Saudi Arabia and Human Health Implications. *Regional Studies in Marine Science*, 62. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2023.102986>
- Aljohani, N. S., Kavil, Y. N., Alelyani, S. S., Al-Farawati, R. K., Orif, M. I., Aljohani, N. H., Ghandourah, M. I., Al-Mhyawi, S. R., Bahshwan, S. M., & Salam, M. A. (2023b). Bioaccumulation of heavy metals in fish collected from the Eastern Coast of Saudi Arabia and Human Health Implications. *Regional Studies in Marine Science*, 62. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2023.102986>
- Aljohani, N. S., Kavil, Y. N., Alelyani, S. S., Al-Farawati, R. K., Orif, M. I., Aljohani, N. H., Ghandourah, M. I., Al-Mhyawi, S. R., Bahshwan, S. M., & Salam, M. A. (2023c). Bioaccumulation of heavy metals in fish collected from the Eastern Coast of Saudi Arabia and Human Health Implications. *Regional Studies in Marine Science*, 62. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2023.102986>
- Aljohani, N. S., Kavil, Y. N., Alelyani, S. S., Al-Farawati, R. K., Orif, M. I., Aljohani, N. H., Ghandourah, M. I., Al-Mhyawi, S. R., Bahshwan, S. M., & Salam, M. A. (2023d). Bioaccumulation of heavy metals in fish collected from the Eastern Coast of Saudi Arabia and Human Health Implications. *Regional Studies in Marine Science*, 62. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2023.102986>
- Almirón, J., Arosquipa-Pachari, K. R., Huillcañahui-Taco, C., Huarsaya-Huillca, J. A., Mamani-Quispe, J., Ortiz-Valdivia, Y., Velasco, F., & Tupayachy-Quispe, D. (2023). Evaluation of the Bioaccumulation Capacity of Buddleja Species in Soils Contaminated with Total Chromium in Tannery Effluents in Arequipa (Peru). *Sustainability (Switzerland)*, 15(8). <https://doi.org/10.3390/su15086641>
- ANA. (n.d.). Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales. 2016.
- ANA. (1995). *Evaluación De La Contaminación Del Lago Titicaca*.
- Arabi, M., & Alaeddini, M. A. (2005). Metal-Ion-Mediated Oxidative Stress in the Gill Homogenate of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*): Antioxidant Potential of Manganese, Selenium, and Albumin. *Biological Trace Element Research*, 108(1–3), 155–168. <https://doi.org/10.1385/BTER:108:1-3:155>

- Arbulu Vercauteren, Y., & Sánchez Rivas, G. (2022). Lead, mercury and copper in liver and muscle of *Orestias ispi* AND *Orestias agassii* of lake Titicaca (PERU). *REBIOL*, 42(1), 3–10. <https://doi.org/10.17268/rebiol.2022.42.01.01>
- Argumedo, C. D. (2021). Bioconcentración de metales pesados (Zn, Hg, Pb) en tejidos de *Ariopsis felis* y *Diplodus annularis* en el río Ranchería, Norte de Colombia. *Revista de La Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 68(2). <https://doi.org/10.15446/rfmvz.v68n2.98025>
- Arifur Rahman Bhuiyan, M., Golam Muktedir, M., Jahan, F., Jahan, I., & Shahinur Jahan, F. (2019). *Impacts of Tannery Effluents on the Environmental Quality of Hazaribagh Area of Bangladesh and its Possible Remediation Measures: A Review*. <https://www.researchgate.net/publication/371378412>
- Arpasi Curasi, D. M. (2019). Determinación de Metales Pesados en la Especie *Baccharis* sp. In *Universidad Privada San Carlos-Puno* (Vol. 1). http://repositorio.upsc.edu.pe/bitstream/handle/UPSC/4399/Ronald_Baroni_CHEC_ALLA_CARBAJAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Authman, M. M. (2015). Use of Fish as Bio-indicator of the Effects of Heavy Metals Pollution. *Journal of Aquaculture Research & Development*, 06(04). <https://doi.org/10.4172/2155-9546.1000328>
- Autoridad Nacional del Agua. (2016). *Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales*. <https://www.ana.gob.pe/publicaciones/protocolo-nacional-para-el-monitoreo-de-la-calidad-de-los-recursos-hidricos-0>
- Barraza, Martín Horacio Emmanuel. (n.d.).
- Barros-Barrios, O., Doria-Argumedo, C., & Marrugo-Negrete, J. (2016). Metales pesados (Pb, Cd, Ni, Zn, Hg) en tejidos de *Lutjanus synagris* y *Lutjanus vivanus* de la Costa de La Guajira, Norte de Colombia. *Veterinaria y Zootecnia*, 10(2), 27–41. <https://doi.org/10.17151/vetzo.2016.10.2.3>
- Barszcz, A. A., & Sidoruk, M. (2024). Impacts of water management in aquaculture on heavy metal accumulation in rainbow trout muscles and associated health risks from consumption. *Food Control*, 164. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2024.110617>

- Becerra, A. (2020). *Analisis del grado de contaminacion por metales pesados en sedimentos de ecosistemas acuaticos.*
- Bervoets, L., & Blust, R. (2003). Metal concentrations in water, sediment and gudgeon (*Gobio gobio*) from a pollution gradient: relationship with fish condition factor. *Environmental Pollution*, 126(1), 9–19. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(03\)00173-8](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(03)00173-8)
- Bioacumulación de metales pesados procedentes de la contaminación minera y metalúrgica.* (n.d.).
- Bioacumulación De Metales Pesados en Los Músculos De Claria Gariepinus Y Su Incidencia En La Salud Humana.* (N.D.).
- Birceanu, O., Chowdhury, M., Gillis, P., Mcgeer, J., Wood, C., & Wilkie, M. (2008). Modes of metal toxicity and impaired branchial ionoregulation in rainbow trout exposed to mixtures of Pb and Cd in soft water. *Aquatic Toxicology*, 89(4), 222–231. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2008.07.007>
- Boggiano Burga, M. L. D. (2021). Diagnosis and characterization of solid household waste in the city of Trujillo – Peru, 2019-2020. *Revista Ciencia y Tecnología*, 17(3), 61–72. <https://doi.org/10.17268/rev.cyt.2021.03.05>
- Bosch, A. C., O'Neill, B., Sigge, G. O., Kerwath, S. E., & Hoffman, L. C. (2016). Heavy metals in marine fish meat and consumer health: A review. In *Journal of the Science of Food and Agriculture* (Vol. 96, Issue 1, pp. 32–48). John Wiley and Sons Ltd. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7360>
- Boudjema, K., Badis, A., & Moulai-Mostefa, N. (2023). Study of heavy metal bioaccumulation in *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck 1819) from heavy metal mixture using the CCF design. *Environmental Technology and Innovation*, 25. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.102202>
- Brammer, H., & Ravenscroft, P. (2009). Arsenic in groundwater: A threat to sustainable agriculture in South and South-east Asia. In *Environment International* (Vol. 35, Issue 3, pp. 647–654). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2008.10.004>

- Brugés, R., Mercado, J., Sanchez, F., Gabriel, B., & Martínez, J. (2022). *Bioacumulación de plomo en algunas especies ícticas del caribe colombiano: una revisión*. 33, 104–106. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2019.03.010.2>.
- Bu, J., Sun, Z., Zhou, A., Xu, Y., Ma, R., Wei, W., & Liu, M. (2016). Heavy metals in surface soils in the upper reaches of the Heihe River, northeastern Tibetan Plateau, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(3). <https://doi.org/10.3390/ijerph13030247>
- Büyükpınar, Ç., Bodur, S., Yazıcı, E., Tekin, Z., San, N., Tarık Komesli, O., & Bakırdere, S. (2021). An accurate analytical method for the determination of cadmium: Ultraviolet based photochemical vapor generation-slotted quartz tube based atom trap-flame atomic absorption spectrophotometry. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 176. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.109192>
- C, Y., Vergara, I., E, O., Diaz, M., & E, E. (2016). *Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria*. 16, 66–77.
- Cadenas, R. (2021). *Caracterización fisicoquímica del agua de la planta potabilizadora Guarumo , provincia de Manabí , Ecuador*. 30.
- Can, E., Yabanli, M., Kehayias, G., Aksu, Ö., Kocabaş, M., Demir, V., Kayim, M., Kutluyer, F., & Şeker, S. (2012). Determination of Bioaccumulation of Heavy Metals and Selenium in Tissues of Brown Trout *Salmo trutta macrostigma* (Duméril, 1858) from Munzur Stream, Tunceli, Turkey. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 89(6), 1186–1189. <https://doi.org/10.1007/s00128-012-0824-3>
- Carpus, C., Auratus, C., & Moluscos Gónada, H. (1994). *Tabla 1 Contenido de metales pesados (mg/kg dw) en diferentes tejidos y especies de peces* (Vol. 13).
- César, B., Bautista, A., Para Optar, T., Título, E. L., & De, P. (N.D.). *Universidad Nacional De Huancavelica (Creada Por Ley N° 25265) Facultad De Ciencias Agrarias Escuela Profesional De Ingeniería Agroindustrial Línea De Investigación: Ciencia Y Tecnología De Alimentos* Chavez, C. (2011). *Deteccion de metales pesados en agua*.

- Chinchay Viera, C. A. (2020). *Caracterización De Los Residuos Solidos En El Distrito De Lagunas –Provincia Ayabaca –Departamento De Piura –Peru.*
- Chui, H. N., Roque, B., Huaquisto, E., Sardón, D. L., Belizario, G., & Calatayud, A. P. (2021a). Metales pesados en truchas arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) de crianza intensiva de la zona noroeste del lago Titicaca. *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Perú*, 32(3), e20398. <https://doi.org/10.15381/rivep.v32i3.20398>
- Chui, H. N., Roque, B., Huaquisto, E., Sardón, D. L., Belizario, G., & Calatayud, A. P. (2021b). Metales pesados en truchas arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) de crianza intensiva de la zona noroeste del lago Titicaca. *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Perú*, 32(3), e20398. <https://doi.org/10.15381/rivep.v32i3.20398>
- Cruz Sanchez, E. (n.d.). Condición Biológica. Condición Física. 2016.
- Das, B., Rahman, M. M., Nayak, B., Pal, A., Chowdhury, U. K., Mukherjee, S. C., Saha, K. C., Pati, S., Quamruzzaman, Q., & Chakraborti, D. (2009). Groundwater Arsenic Contamination, Its Health Effects and Approach for Mitigation in West Bengal, India and Bangladesh. *Water Quality, Exposure and Health*, 1(1), 5–21. <https://doi.org/10.1007/s12403-008-0002-3>
- De, C., Ambiental, I., Erick, G., Santacruz, E., Marieta, M. S., & Peralta, C. (n.d.). *Facultad De Ingeniería.*
- De, F., Farmacéuticas, C., Bioquímica, Y., Farmacéutico, Q., Bioquímico, Y., Heddy, D. Q., & Quispe, T. M. (2018). *Universidad Inca Garcilaso De La Vega "Determinacion De La Concentracion De Arsenico Y Mercurio Por Espectrofotometria De Absorcion*
- Dejoux, Claude, ed, Itis, & André. (1991). *El lago Titicaca : sintesis del conocimiento limnologico actual.*
- Determinacion De Metales Pesados Bioacumulables En Especies Icticas De Consumo Humano En La Amazonia Peruana.* (N.D.).
- Determinación De Metales Pesados En Agua, Peces,.* (N.D.).
- Digesa. (2021). *Estándares De Calidad Ambiental De Agua.*

- Ek, H., Bahgy, E., Elabd, H., & Elkorashey, R. M. (2021). *Bioacumulación de metales pesados en peces marinos de cultivo y su riesgo probabilístico para la salud Introducción*.
- El Bahgy, H. E. K., Elabd, H., & Elkorashey, R. M. (2021). Heavy metals bioaccumulation in marine cultured fish and its probabilistic health hazard. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(30), 41431–41438. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13645-8>
- El-Moselhy, Kh. M., Othman, A. I., Abd El-Azem, H., & El-Metwally, M. E. A. (2014). Bioaccumulation of heavy metals in some tissues of fish in the Red Sea, Egypt. *Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences*, 1(2), 97–105. <https://doi.org/10.1016/j.ejbas.2014.06.001>
- Enríquez Donaires, |, Acharte Lume, A., Quispealaya Armas, L. M., Gonzales, A., & Davila, M. (2022). *Verification of water quality and bioaccumulation of mining contaminants in ooncorhynchus mykiss tissues in Huancavelica watersheds and fish farm comprobación de calidad de agua*.
- Erostequi, C. (2014). Contaminación por metales pesados. *Heavy Metal Contamination of Water and Soil*, 51–51. *Facultad De Ingeniería Y Arquitectura Escuela Profesional De Ingeniería Ambiental*. (N.D.). Fundamentos, Q. (n.d.). *Espectrofotometría*. 1–6.
- García de Sotero, D., & Alva Astudillo, M. (2013). Contenido de metales pesados en pescados comercializados en Iquitos, Nauta y Requena. *Ciencia Amazónica (Iquitos)*, 3(1), 33. <https://doi.org/10.22386/ca.v3i1.50>
- Gu, Y. G., Lin, Q., Huang, H. H., Wang, L. gen, Ning, J. J., & Du, F. Y. (2017). Heavy metals in fish tissues/stomach contents in four marine wild commercially valuable fish species from the western continental shelf of South China Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 114(2), 1125–1129. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.10.040>
- Guadalupe Bustos Vázquez, Z., Scott Monks Sheets, W., Prieto García, F., & Román Gutiérrez, A. D. (n.d.). *Estudio De Bioacumulación De Metales Pesados En La Carpa (Cyprinus Carpio) De La Laguna De Tecocomulco En Hidalgo*.
- Hamidian, A. H., Sheikhzadeh, H., Boujari, A., Eagderi, S., & Ashrafi, S. (2023). Comparative assessment of human health risk associated with heavy metals

- bioaccumulation in fish species (*Barbus grypus* and *Tenualosa ilisha*) from the Karoon River, Iran: Elucidating the role of habitat and feeding habits. *Marine Pollution Bulletin*, 188. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.114623>
- Herrera-Cruz, J. P., Marín-Machuca, O., Cornejo-Urbina, R. M., Vargas-Ayala, J. B., Castro-Rojas, M. C., & Fuertes-Vicente, H. G. (2023). Mercury, lead and cadmium content in tuna and its effect on public health in Peru: Systematic review. In *Salud, Ciencia y Tecnologia* (Vol. 3). Editorial Salud, Ciencia y Tecnologia. <https://doi.org/10.56294/SALUDCYT2023502>
- Jamil Emon, F., Rohani, M. F., Sumaiya, N., Tuj Jannat, M. F., Akter, Y., Shahjahan, M., Abdul Kari, Z., Tahiluddin, A. B., & Goh, K. W. (2023). Bioaccumulation and Bioremediation of Heavy Metals in Fishes—A Review. *Toxics*, 11(6), 510. <https://doi.org/10.3390/toxics11060510>
- Kaya, G., & Turkoglu, S. (2017). Bioaccumulation of Heavy Metals in Various Tissues of Some Fish Species and Green Tiger Shrimp (*Penaeus semisulcatus*) from İskenderun Bay, Turkey, and Risk Assessment for Human Health. *Biological Trace Element Research*, 180(2), 314–326. <https://doi.org/10.1007/s12011-017-0996-0>
- Kotasâ, J., & Stasicka, Z. (2000). *Chromium occurrence in the environment and methods of its speciation*. www.elsevier.com/locate/envpol
- Kwok, C. K., Liang, Y., Wang, H., Dong, Y. H., Leung, S. Y., & Wong, M. H. (2014). Bioaccumulation of heavy metals in fish and Ardeid at Pearl River Estuary, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 106, 62–67. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.04.016>
- Laberge-Carignan, A., Basque, J., Tessier, E., Roberge, P., Ruel, J., Bégin-Drolet, A., & Larivière, D. (2022). New sample collection and dissolution tools for point-of-need analysis of Pb and Hg in fish tissues. *Advances in Sample Preparation*, 4, 100044. <https://doi.org/10.1016/j.sampre.2022.100044>
- Li, D., Pan, B., Wang, Y., Han, X., & Lu, Y. (2023). Bioaccumulation and health risks of multiple trace metals in fish species from the heavily sediment-laden Yellow River. *Marine Pollution Bulletin*, 188. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.114664>
- Li, X., Wang, Q., Liu, F., Lu, Y., & Zhou, X. (2024). Quantifying the bioaccumulation and trophic transfer processes of heavy metals based on the food web: A case study

- from freshwater wetland in northeast China. *Science of the Total Environment*, 928. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172290>
- Londoño, L., Londoño, P., & Muñoz, F. (2016). *Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal*. 14(2), 145–153. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)145-153)
- Manjarrez, G., Castro, I., & Utria, L. (2008). *Bioacumulación de cadmio en ostras de la bahía de Cartagena*. 13, 11–20.
- Meador, J. P., Ernest, D. W., & Kagley, A. (2004). Bioaccumulation of arsenic in marine fish and invertebrates from Alaska and California. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 47(2), 223–233. <https://doi.org/10.1007/s00244-004-3035-z>
- MINAM. (2013). *Línea base ambiental de la cuenca del lago Titicaca*. 85. <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/Linea-Base-Ambiental-del-Lago-Titicaca.pdf>
- Ministerio de Energía y Minas. (2019). *Protocolo de Monitoreo de Calidad de Agua*.
- Ministerio del Ambiente. (2017). *Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.-.*
- Mona, C., Salomé, M. M., Judit, K., José-María, N., Eric, B., & María-Luisa, F. C. (2023). Considerations for bioaccumulation studies in fish with nanomaterials. *Chemosphere*, 312. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137299>
- Monroy, M., Maceda-Veiga, A., & de Sostoa, A. (2014). Metal concentration in water, sediment and four fish species from Lake Titicaca reveals a large-scale environmental concern. *Science of the Total Environment*, 487(1), 233–244. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.03.134>
- Monteiro, R., Souza, I. da C., Morozesk, M., Soares, M. P., De Angelis, C. F., Vieira, N. S., Bendhack, F., Monferrán, M. V., Wunderlin, D. A., & Fernandes, M. N. (2023). Metalliferous atmospheric settleable particulate matter action on the fat snook fish (*Centropomus parallelus*): Metal bioaccumulation, antioxidant responses and histological changes in gills, hepatopancreas and kidneys. *Chemosphere*, 330. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138715>

- Mukherjee, A., & Hossain, M. A. (2006). Arsenic Contamination in Groundwater: A Global Perspective with Emphasis on the Asian Scenario. In *Article in Journal of Health Population and Nutrition*.
<https://www.researchgate.net/publication/6604366>
- Organización Mundial de la Salud. (2017). *Guidelines for drinking-water quality*. World Health Organization.
- Panduro, G., Rengifo, G. C., Barreto, J. L., Arbaiza-Peña, Á. K., Iannaccone, J., Alvarino, L., & Crnobra, B. (2020). Bioaccumulation of mercury in fish and risk of ingestion in an indigenous community in the Peruvian Amazonia. *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Peru*, 31(3). <https://doi.org/10.15381/RIVEP.V31I3.18177>
- Peñaloza, R., Custodio, M., Cacciuttolo, C., Chanamé, F., Cano, D., & Solorzano, F. (2023). Human Health Risk Assessment for Exposure to Heavy Metals via Dietary Intake of Rainbow Trout in the Influence Area of a Smelting Facility Located in Peru. *Toxics*, 11(9), 764. <https://doi.org/10.3390/toxics11090764>
- Persson, L. E. (2013). The life-cycle and productivity of *diastylis rathkei* (cumacea: Crustacea) at three nearshore localities in the hanö bight, Southern Baltic. *Sarsia*, 74(2), 137–144. <https://doi.org/10.1080/00364827.1989.10420532>
- Prabakaran, K., Sompongchaiyakul, P., Bureekul, S., Wang, X., & Charoenpong, C. (2024). Heavy metal bioaccumulation and risk assessment in fishery resources from the Gulf of Thailand. *Marine Pollution Bulletin*, 198. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115864>
- Quispe, R., Belizario, G., Chui, H., Huaquisto, S., Calatayud, A., & Yábar, P. (2019). Concentración De Metales Pesados: Cromo, Cadmio Y Plomo En Los Sedimentos Superficiales En El Río Coata, Perú. *Revista Boliviana de Química*, 2(36.2), 83–90. <https://doi.org/10.34098/2078-3949.36.2.3>
- Rani, V., Vilvest, J., & Yagoo, A. (2024). Bioaccumulation of heavy metals in commercial fishes from Adyar estuary (*Mugil cephalus* and *Megalops cyprinoides*). *Regional Studies in Marine Science*, 74. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2024.103512>
- Ricardo, I. M., & Vilchez, R. (2022). *Cuantificación de las concentraciones de metales pesados (pb, cd, cu) por espectrofotometría de absorción atómica de los peces pelágico de la bahía del Callao*.

- Rodríguez en Biología Marina, G. (2001). *Sistema de Maracaibo / Impacto Ambiental / Eutroficación / Anoxia / El Lago De Maracaibo Como Cuenca Anaeróbica Natural: Uso De Líneas De Base Históricas En Estudios* (Vol. 26).
- Rodríguez, O. (2020). *Remoción de cobre de aguas contaminadas empeando ramnolípidos*. 32(3).
- Roger Manay, Jorge Fupuy-Chung, Sebastian Iglesias-Osores, & Jorge Chanamé-Céspedes. (2022). *Bioacumulación de metales pesados en Donax obesulus dellitoral de Lambayeque, Perú*.
- Rojas Apaza, R. (2022). *Bioacumulacion de metales pesados en la trucha Arcoiris en las jaulas flotantes del distrito de Chucuito - Puno*.
- Rosales, E., Cotrina, M., Valdivieso, G., Sales, F., García, E., & Ordoñez, E. S. (2020a). Bioaccumulation of Heavy Metals in Three Bentonic Fish Species From Monzon River, Huanuco Region. *Rebiol*, 40(1), 69–78. <https://doi.org/10.17268/rebiol.2020.40.01.08>
- Rosales, E., Cotrina, M., Valdivieso, G., Sales, F., García, E., & Ordoñez, E. S. (2020b). Bioaccumulation Of Heavy Metals In Three Bentonic Fish Species From Monzon River, Huanuco Region. *Rebiol*, 40(1), 69–78. <https://doi.org/10.17268/rebiol.2020.40.01.08>
- Rosales, E., Cotrina, M., Valdivieso, G., Sales, F., García, E., & Ordoñez, E. S. (2020c). Bioaccumulation Of Heavy Metals In Three Bentonic Fish Species From Monzon River, Huanuco Region. *Rebiol*, 40(1), 69–78. <https://doi.org/10.17268/rebiol.2020.40.01.08>
- Rosales, E., Cotrina, M., Valdivieso, G., Sales, F., García, E., & Ordoñez, E. S. (2020d). Bioaccumulation Of Heavy Metals In Three Bentonic Fish Species From Monzon River, Huanuco Region. *Rebiol*, 40(1), 69–78. <https://doi.org/10.17268/rebiol.2020.40.01.08>
- Rubio Armendáriz, C. (n.d.). Ingesta dietética de contaminantes metálicos(Hg, Pb, Cd, Fe, Cu, Zn y Mn) en la Comunidad Autónoma Canaria. Evaluación toxicológica. 2016.

- Sahu, A. K., Dung, M. S. D., Sahoo, S. K., Mir, S. A., Nayak, B., & Baitharu, I. (2023). Ecological and human health risk associated with heavy metals in sediments and bioaccumulation in some commercially important fishes in Mahanadi River, Odisha, India. *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 5, 168–177. <https://doi.org/10.1016/j.enceco.2023.08.001>
- Salas-Ávila, D., Chura, F. F. C., Quispe, G. B., Mamani, E. Q., Huanqui-Pérez, R., Coaquira, E. V., Bernedo-Colca, F., Salas-Mercado, D., & Hermoza-Gutiérrez, M. (2021). Evaluation of heavy metals and social behavior associated a the water quality in the Suches River, Puno-Peru. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 12(6). <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2021-06-04>
- Scivikko, M., Cacciola, N. A., Esposito, F., Squillante, J., Ariano, A., Borriello, L., Cirillo, T., & Severino, L. (2024). Heavy metals in fishes from the Tyrrhenian Sea and risk assessment. *Journal of Food Composition and Analysis*, 128. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2024.106027>
- Sheikhzadeh, H., & Hamidian, A. H. (2021). Bioaccumulation of heavy metals in fish species of Iran: a review. In *Environmental Geochemistry and Health* (Vol. 43, Issue 10, pp. 3749–3869). Springer Science and Business Media B.V. <https://doi.org/10.1007/s10653-021-00883-5>
- Soto-Benavente, M., Rodriguez-Achata, L., Olivera, M., Sanchez, V. A., Nano, C. C., & Quispe, J. G. (2020). Riesgo para la salud por metales pesados en productos agricolas cultivados en areas abandonadas por la mineria aurifera en la amazonia peruana. *Scientia Agropecuaria*, 11(1), 49–59. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.01.06>
- Stella, M. (2017). Determinación de metales pesados totales con digestión ácida y solubles lectura directa por Espectrofotometría de absorción atómica. *Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM*, 2(1), 16. <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Metales+en+agua+por+Absorción+Atómica..pdf/e233a63d-378c-4f83-9311-d9375043cf2a>
- Szebedinszky, C., McGeer, J. C., McDonald, D. G., & Wood, C. M. (2001). Effects of chronic Cd exposure via the diet or water on internal organ-specific distribution and subsequent gill Cd uptake kinetics in juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*

-). *Environmental Toxicology and Chemistry*, 20(3), 597–607.
<https://doi.org/10.1002/etc.5620200320>
- Temesgen, M., & Geleta, L. (2023a). Consumer health risk assessment from some heavy metal bioaccumulation in common carp (*Cyprinus carpio*) from lake Koka, Ethiopia. *Heliyon*, e14560. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14560>
- Temesgen, M., & Geleta, L. (2023b). Consumer health risk assessment from some heavy metal bioaccumulation in common carp (*Cyprinus carpio*) from lake Koka, Ethiopia. *Heliyon*, e14560. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14560>
- United States Environmental Protection Agency. (2002). *Guidance on Choosing a Sampling Design for Environmental Data Collection for use in Developing a Quality Assurance Project Plan*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-06/documents/g5s-final.pdf>
- Vega Arciniegas, A., & Velez Valencia, P. (2011). *Validación Del Método De Determinación De Cobre Y Zinc Por Espectroscopia De Absorción Atómica De Llama En Agua Cruda Y Tratada*.
- Vieira, C. E. D., Marques, J. A., da Silva, N. G., Bevitório, L. Z., Zebral, Y. D., Maraschi, A. C., Costa, S. R., Costa, P. G., Damasceno, E. M., Pirovani, J. C. M., do Vale-Oliveira, M., Souza, M. M., de Martinez Gaspar Martins, C., Bianchini, A., & Sandrini, J. Z. (2022). Ecotoxicological impacts of the Fundão dam failure in freshwater fish community: Metal bioaccumulation, biochemical, genetic and histopathological effects. *Science of the Total Environment*, 832. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154878>
- Vu, C. T., Lin, C., Yeh, G., & Villanueva, M. C. (2017). Bioaccumulation and potential sources of heavy metal contamination in fish species in Taiwan: assessment and possible human health implications. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(23), 19422–19434. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9590-4>
- Wang, W. (1987). Factors Affecting Metal Toxicity To (And Accumulation By) Aquatic Organisms Overview. In *Environment International* (Vol. 13).
- Wei, Y. H., Zhang, J. Y., Zhang, D. W., Tu, T. H., & Luo, L. G. (2014). Metal concentrations in various fish organs of different fish species from Poyang Lake,

China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 104(1), 182–188.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.03.001>

Yangtze River. (1995). *Water Quality of world river basins*.

Zhong, W., Zhang, Y., Wu, Z., Yang, R., Chen, X., Yang, J., & Zhu, L. (2018). Health risk assessment of heavy metals in freshwater fish in the central and eastern North China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 157, 343–349.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.03.048>

ANEXOS

Anexo 1 Operacionalización de variables

Tabla 12

Matriz de operacionalización de variables

Tipo de variable	Dimensión	Indicador	Unidades
Variable Independiente	Característica de georeferencia	Ubicación	UTM
Variable Dependiente	Parametros de campo del agua	T°	T
		pH	pH
		Oxigeno disuelto	mg/L
		Conductividad electrica	u/cm
		Turbidez	NTU
		Solidos disueltos totales	TDS
	Acumulacion de metales pesados en tejidos de la trucha (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	Plomo total (Pb)	mg/L
		Cadmio total (Cd)	mg/L
		Cobre total (Cu)	mg/L
		Arsenico As	mg/L
		Cromo Cr	mg/L

Nota: Elaboración propia

Anexo 2 Registro fotográfico

Figura 5

Criaderos de trucha



Nota: Fotografía tomada en los puntos de muestreo.

Figura 6

Recolección de muestras



Nota: Fotografía tomada durante la recolección de muestras en las zonas de estudio.

Figura 7

Muestro de agua



Nota: Fotografía tomada durante el proceso de muestreo del agua en las zonas de los criaderos

Figura 8

Adición del preservante HNO_3



Nota: Fotografía tomada durante el proceso adición del preservante HNO_3

Figura 9

Medición de parámetros In-Situ



Nota: Fotografía tomada durante el proceso de medición de parámetros fisicoquímicos en las zonas de estudio.

Figura 10

Clasificación por tamaño de truchas



Nota: Fotografía tomada durante el proceso de clasificación por tamaño de truchas

Figura 11

Preparación de muestras



Nota: Fotografía tomada durante el proceso de cortado para la preparación de muestras.

Figura 12

Proceso de desecación en horno



Nota: Fotografía tomada durante el proceso de desecación de muestras en el horno.

Figura 13

Muestras secas



Nota: Fotografía tomada del proceso de secado.

Figura 14

Trituración de muestras



Nota: Fotografía tomada durante el proceso de triturado de las muestras secas.

Figura 15

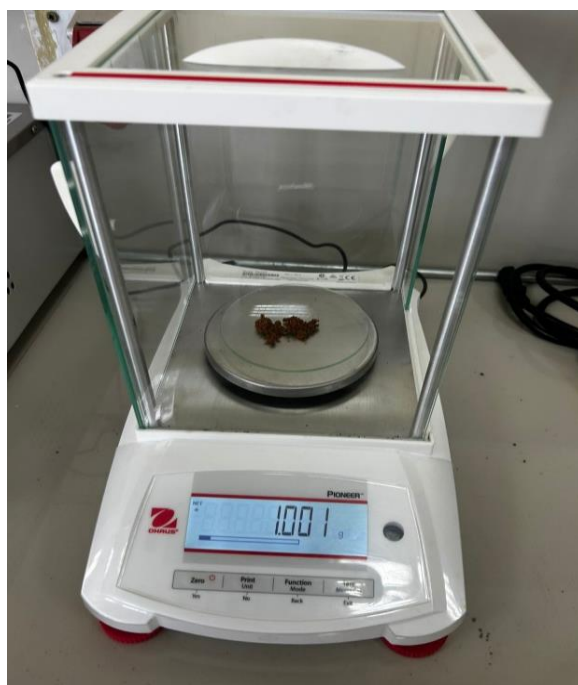
Polvos homogéneos de las muestras



Nota: Fotografía tomada del proceso de trituración de las muestras secas

Figura 16

Pesado de muestra



Nota: Fotografía tomada durante el proceso de pesado de los polvos homogéneos de las muestras.

Figura 17

Digestión acida



Nota: Fotografía tomada durante el proceso de la digestión acida.

Figura 18

Agregado de ácido nítrico y ácido perclórico



Nota: Fotografía tomada durante el proceso de agregado de ácido nítrico y ácido perclórico.

Figura 19

Digestión ácida por 48 horas



Nota: Fotografía tomada del proceso de digestión desde de las 48 horas.

Figura 20

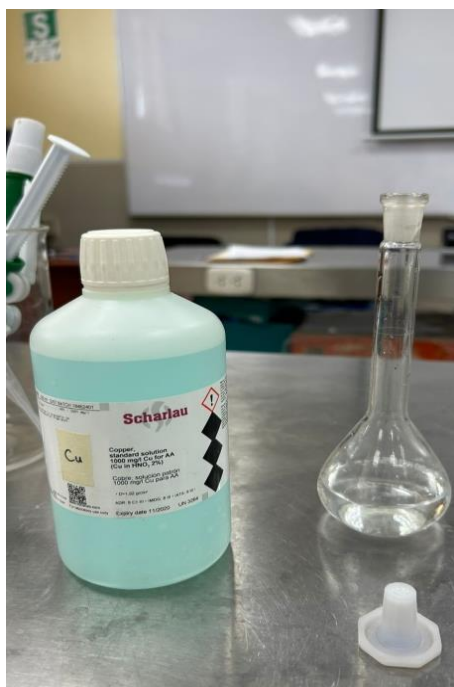
Filtración de la digestión ácida



Nota: Fotografía tomada del proceso de filtración de la digestión ácida.

Figura 21

Preparación de solución estándar



Nota: Fotografía tomada del proceso preparado de las soluciones estándar para el Plomo, Cadmio y Cobre.

Figura 22

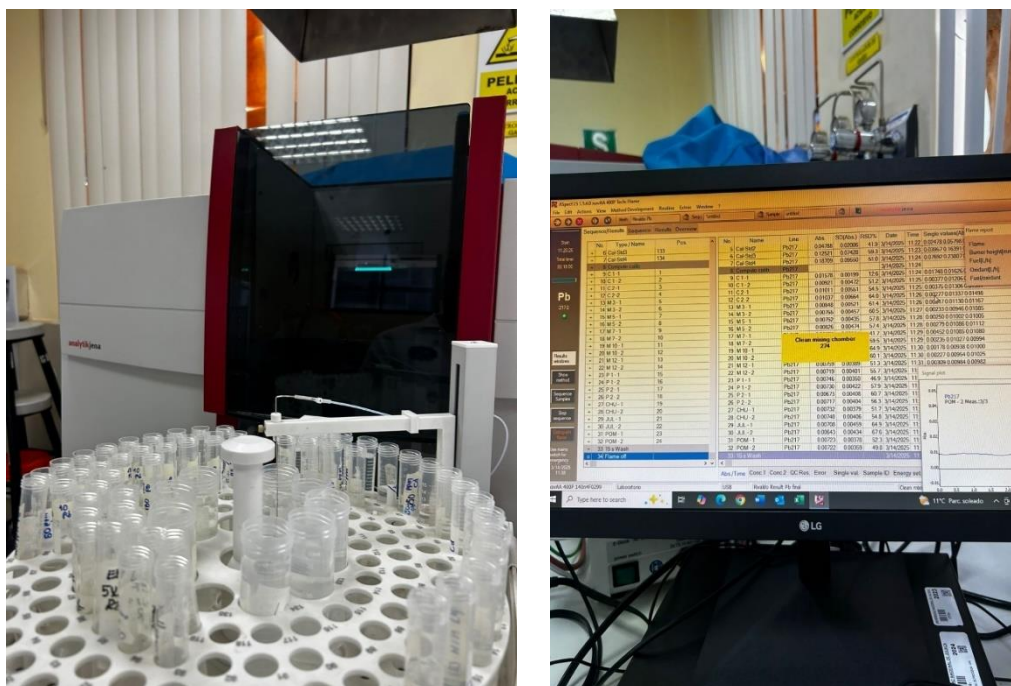
Determinación de muestras mediante ICP-OES



Nota: Fotografía tomada del proceso determinación de muestras mediante ICP-OES.

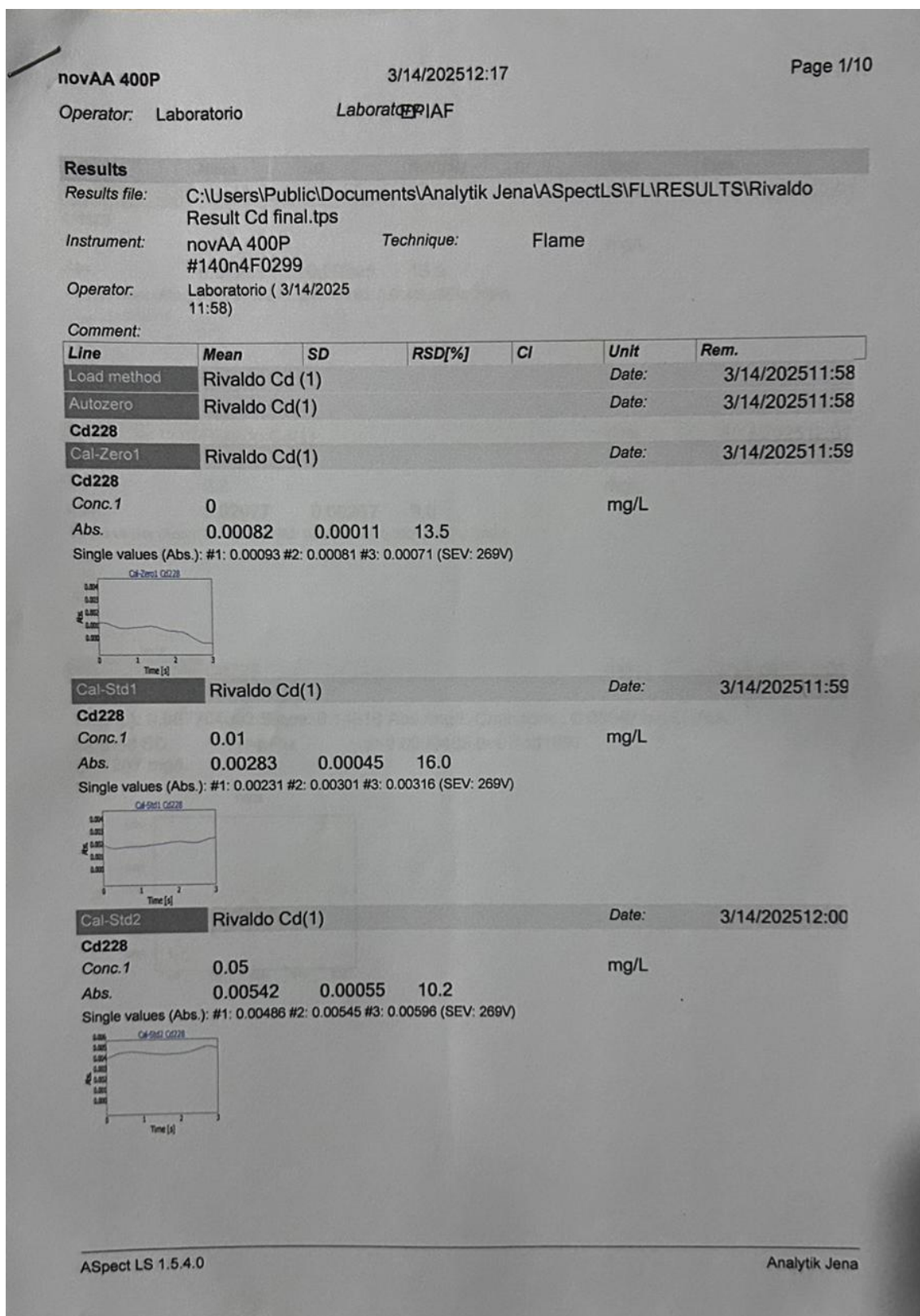
Figura 23

Lectura del resultado de las muestras



Nota: Fotografía tomada del proceso de la lectura de los resultados de las muestras que fueron tomadas mediante ICP-OES.

Anexo 3 Informe de resultados del Cadmio (Cd) mediante ICP-OES en el laboratorio de la Universidad Nacional de Juliaca



novAA 400P

3/14/2025 12:17

Page 2/10

Operator: Laboratorio

Laboratorio PIAF

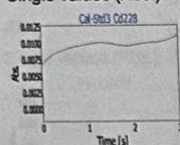
Line	Mean	SD	RSD[%]	CI	Unit	Rem.
Cal-Std3	Rivaldo Cd(1)				Date:	3/14/2025 12:01

Cd228

Conc. 1 0.1 mg/L

Abs. 0.01289 0.00205 15.9

Single values (Abs.): #1: 0.01052 #2: 0.01396 #3: 0.01417 (SEV: 269V)



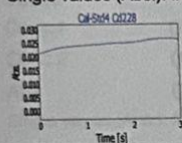
Cal-Std4	Rivaldo Cd(1)	Date:	3/14/2025 12:01
----------	---------------	-------	-----------------

Cd228

Conc. 1 0.2 mg/L

Abs. 0.02977 0.00267 9.0

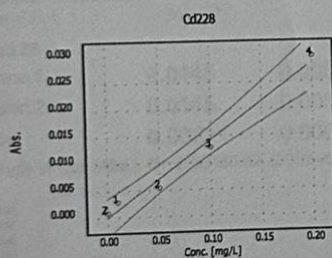
Single values (Abs.): #1: 0.02687 #2: 0.03032 #3: 0.03212 (SEV: 269V)



Compute calib.	Cd228	Date:	3/14/2025 12:01
----------------	-------	-------	-----------------

Cd228 $R^2(\text{adj.}): 0.967764602$ Slope: 0.14310 Abs./mg/L Char.conc.: 0.03047 mg/L/1%AMethod SD: $y=a+bx$ $a=0.0000405$ $b=0.1431007$

0.01207 mg/L

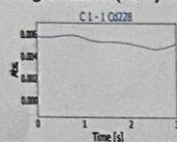


Operator: Laboratorio

Laboratorio PIAF

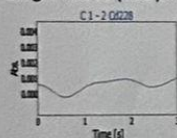
Line	Mean	SD	RSD[%]	CI	Unit	Rem.
C 1 - 1	Rivaldo Cd(1)				Date:	3/14/202512:02
Pre-DF: 1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100		AS-DF: 1.0	Blank corr.:	off
Cd228						
Conc.1	0.0248	0.0143	57.9		mg/L	
Conc.2	0.0248	0.0143	57.9	0.0276	mg/L	
Abs.	0.00359	0.00205	57.2			

Single values (Abs.): #1: 0.00594 #2: 0.00266 #3: 0.00216 (SEV: 269V)



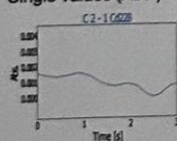
C 1 - 2		Rivaldo Cd(1)				Date:	3/14/202512:02
Pre-DF:	1	Wt.[g]:	Vol.[mL]:	100	AS-DF:	1.0	Blank corr.: off
Cd228							
Conc.1		0.0074	0.0014	19.2			mg/L
Conc.2		0.0074	0.0014	19.2	0.0296		mg/L
Abs.		0.00110	0.00020	18.5			

Single values (Abs.): #1: 0.00091 #2: 0.00132 #3: 0.00108 (SEV: 269V)



C 2 - 1		Rivaldo Cd(1)			Date:	3/14/202512:03
Pre-DF:	1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF:	1.0	Blank corr.: off
Cd228						
Conc.1		0.0145	0.0050	34.3		mg/L
Conc.2		0.0145	0.0050	34.3	0.0287	mg/L
Abs.		0.00211	0.00071	33.6		

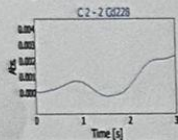
Single values (Abs.): #1: 0.00130 #2: 0.00244 #3: 0.00260 (SEV: 269V)



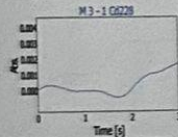
Operator: Laboratorio

Laboratorio PIAF

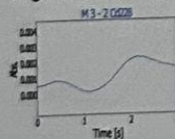
Line	Mean	SD	RSD[%]	CI	Unit	Rem.
C 2 - 2	Rivaldo Cd(1)				Date:	3/14/202512:04
Pre-DF: 1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF: 1.0	Blank corr.: off		
Cd228						
Conc. 1	0.0150	0.0073	48.6		mg/L	
Conc. 2	0.0150	0.0073	48.6	0.0287	mg/L	
Abs.	0.00219	0.00104	47.7			
Single values (Abs.): #1: 0.00109 #2: 0.00231 #3: 0.00317 (SEV: 269V)						



Time [s]						Date:	3/14/2025 12:04
M 3 - 1	Rivaldo Cd(1)						
Pre-DF:	1	Wt.[g]:	Vol.[mL]:	100	AS-DF:	1.0	Blank corr.: off
Cd228							
Conc.1	0.0105	0.0053	50.3			mg/L	
Conc.2	0.0105	0.0053	50.3		0.0292	mg/L	
Abs.	0.00155	0.00076	49.0				
Single values (Abs.): #1: 0.00070 #2: 0.00177 #3: 0.00216 (SEV: 269V)							



Time [s]						Date:	3/14/2025 12:05
M 3 - 2	Rivaldo Cd(1)						
Pre-DF:	1	Wt.[g]:	Vol.[mL]:	100	AS-DF:	1.0	Blank corr.: off
Cd228							
Conc.1		0.0117	0.0022	19.0			mg/L
Conc.2		0.0117	0.0022	19.0	0.0291		mg/L
Abs.		0.00171	0.00032	18.5			
Single values (Abs.): #1: 0.00150 #2: 0.00208 #3: 0.00155 (SEV: 269V)							



Operator: Laboratorio

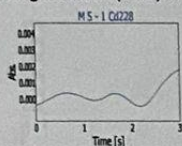
Laboratorio PI AF

Line	Mean	SD	RSD[%]	CI	Unit	Rem.
M 5 - 1	Rivaldo Cd(1)					Date: 3/14/2025 12:05
Pre-DF: 1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF: 1.0	Blank corr.: off		

Cd228

Conc. 1	0.0187	0.0128	68.2		mg/L
Conc. 2	0.0187	0.0128	68.2	0.0283	mg/L
Abs.	0.00272	0.00183	67.2		

Single values (Abs.): #1: 0.00062 #2: 0.00357 #3: 0.00396 (SEV: 269V)

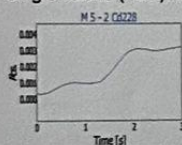


M 5 - 2	Rivaldo Cd(1)					Date: 3/14/2025 12:06
Pre-DF: 1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF: 1.0	Blank corr.: off		

Cd228

Conc. 1	0.0222	0.0060	27.2		mg/L
Conc. 2	0.0222	0.0060	27.2	0.0279	mg/L
Abs.	0.00321	0.00086	26.9		

Single values (Abs.): #1: 0.00222 #2: 0.00379 #3: 0.00363 (SEV: 269V)

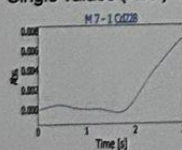


M 7 - 1	Rivaldo Cd(1)					Date: 3/14/2025 12:06
Pre-DF: 1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF: 1.0	Blank corr.: off		

Cd228

Conc. 1	0.0707	0.0490	69.2		mg/L
Conc. 2	0.0707	0.0490	69.2	0.0251	mg/L
Abs.	0.01016	0.00701	68.9		

Single values (Abs.): #1: 0.00209 #2: 0.01380 #3: 0.01461 (SEV: 269V)



Operator: Laboratorio

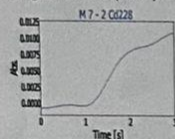
Laboratorio PIAF

Line	Mean	SD	RSD[%]	CI	Unit	Rem.
M 7 - 2	Rivaldo Cd(1)					Date: 3/14/2025 12:07
Pre-DF: 1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF: 1.0	Blank corr.: off		

Cd228

Conc.1	0.0792	0.0380	47.9		mg/L
Conc.2	0.0792	0.0380	47.9	0.0252	mg/L
Abs.	0.01137	0.00543	47.8		

Single values (Abs.): #1: 0.00512 #2: 0.01409 #3: 0.01491 (SEV: 269V)

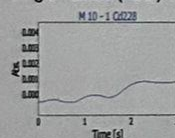


M 10 - 1	Rivaldo Cd(1)					Date: 3/14/2025 12:07
Pre-DF: 1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF: 1.0	Blank corr.: off		

Cd228

Conc.1	0.0058	0.0027	47.1		mg/L
Conc.2	0.0058	0.0027	47.1	0.0298	mg/L
Abs.	0.00087	0.00039	44.9		

Single values (Abs.): #1: 0.00049 #2: 0.00085 #3: 0.00127 (SEV: 269V)

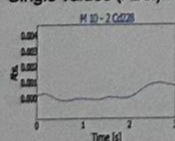


M 10 - 2	Rivaldo Cd(1)					Date: 3/14/2025 12:08
Pre-DF: 1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF: 1.0	Blank corr.: off		

Cd228

Conc.1	0.0070	0.0033	47.6		mg/L
Conc.2	0.0070	0.0033	47.6	0.0297	mg/L
Abs.	0.00104	0.00047	45.7		

Single values (Abs.): #1: 0.00056 #2: 0.00103 #3: 0.00151 (SEV: 269V)



Operator: Laboratorio

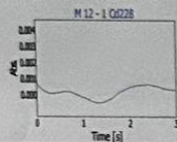
Laboratorio PIAF

Line	Mean	SD	RSD[%]	CI	Unit	Rem.
M 12 - 1	Rivaldo Cd(1)				Date:	3/14/2025 12:08
Pre-DF: 1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF: 1.0	Blank corr.:	off	

Cd228

Conc. 1	0.0056	0.0019	34.3		mg/L
Conc. 2	0.0056	0.0019	34.3	0.0298	mg/L
Abs.	0.00085	0.00028	32.7		

Single values (Abs.): #1: 0.00056 #2: 0.00112 #3: 0.00086 (SEV: 269V)

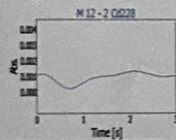


M 12 - 2	Rivaldo Cd(1)				Date:	3/14/2025 12:09
Pre-DF: 1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF: 1.0	Blank corr.:	off	

Cd228

Conc. 1	0.0115	0.0023	20.3		mg/L
Conc. 2	0.0115	0.0023	20.3	0.0291	mg/L
Abs.	0.00168	0.00033	19.8		

Single values (Abs.): #1: 0.00131 #2: 0.00176 #3: 0.00197 (SEV: 269V)

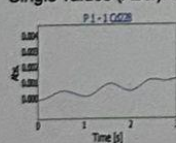


P 1 - 1	Rivaldo Cd(1)				Date:	3/14/2025 12:10
Pre-DF: 1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF: 1.0	Blank corr.:	off	

Cd228

Conc. 1	0.0071	0.0009	12.8		mg/L
Conc. 2	0.0071	0.0009	12.8	0.0296	mg/L
Abs.	0.00106	0.00013	12.3		

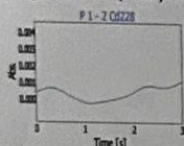
Single values (Abs.): #1: 0.00092 #2: 0.00108 #3: 0.00118 (SEV: 269V)



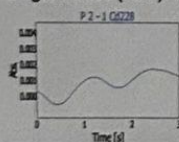
Operator: Laboratorio

Laboratorio PIAF

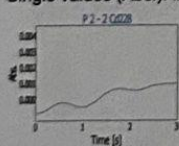
Line	Mean	SD	RSD[%]	CI	Unit	Rem.
P 1 - 2	Rivaldo Cd(1)					Date: 3/14/202512:10
Pre-DF: 1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF: 1.0	Blank corr.: off		
Cd228						
Conc.1	0.0077	0.0021	27.7		mg/L	
Conc.2	0.0077	0.0021	27.7	0.0296	mg/L	
Abs.	0.00115	0.00031	26.7			
Single values (Abs.): #1: 0.00080 #2: 0.00127 #3: 0.00137 (SEV: 269v)						



P 2 - 1		Rivaldo Cd(1)			Date:	3/14/2025 12:11
Pre-DF: 1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF: 1.0	Blank corr.:	off	
Cd228						
Conc.1	0.0111	0.0027	24.0		mg/L	
Conc.2	0.0111	0.0027	24.0	0.0292	mg/L	
Abs.	0.00162	0.00038	23.4			
Single values (Abs.): #1: 0.00118 #2: 0.00185 #3: 0.00184 (SEV: 269V)						



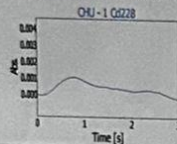
P 2 - 2		Rivaldo Cd(1)			Date:	3/14/202512:11
Pre-DF: 1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF: 1.0	Blank corr.:	off	
Cd228						
Conc.1	0.0047	0.0010	22.2		mg/L	
Conc.2	0.0047	0.0010	22.2	0.0300	mg/L	
Abs.	0.00071	0.00015	20.9			
Single values (Abs.): #1: 0.00055 #2: 0.00084 #3: 0.00074 (SEV: 269V)						



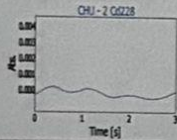
Operator: Laboratorio

Laboratorio PIAF

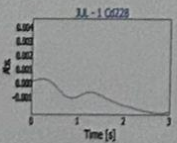
Line	Mean	SD	RSD[%]	CI	Unit	Rem.
CHU - 1	Rivaldo Cd(1)					Date: 3/14/202512:12
Pre-DF: 1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF: 1.0	Blank corr.: off		
Cd228						
Conc.1	0.0011	0.0036	316.5		mg/L	
Conc.2	0.0011	0.0036	316.5	0.0304	mg/L	
Abs.	0.00020	0.00051	253.3			
Single values (Abs.): #1: 0.00079 #2: -0.00015 #3: -0.00003 (SEV: 269V)						



CHU - 2		Rivaldo Cd(1)			Date: 3/14/202512:12	
Pre-DF: 1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF: 1.0	Blank corr.: off		
Cd228						
Conc.1	-0.0026	0.0033	126.0		mg/L	<KAL
Conc.2	-0.0026	0.0033	126.0	0.0310	mg/L	<KAL
Abs.	-0.00033	0.00047	141.3			<KAL
Single values (Abs.): #1: 0.00019 #2: -0.00046 #3: -0.00072 (SEV: 269V)						



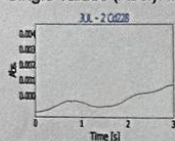
JUL - 1		Rivaldo Cd(1)			Date: 3/14/202512:13	
Pre-DF: 1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF: 1.0	Blank corr.: off		
Cd228						
Conc.1	-0.0026	0.0026	97.0		mg/L	<KAL
Conc.2	-0.0026	0.0026	97.0	0.0310	mg/L	<KAL
Abs.	-0.00034	0.00037	108.6			<KAL
Single values (Abs.): #1: -0.00064 #2: -0.00045 #3: 0.00007 (SEV: 269V)						



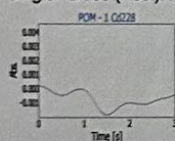
Operator: Laboratorio

Laboratory: PI AF

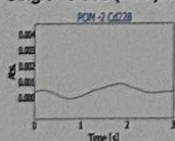
Line	Mean	SD	RSD[%]	CI	Unit	Rem.
JUL - 2	Rivaldo Cd(1)				Date:	3/14/202512:13
Pre-DF: 1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF: 1.0	Blank corr.:	off	
Cd228						
Conc.1	-0.0022	0.0023	104.2		mg/L	<KAL
Conc.2	-0.0022	0.0023	104.2	0.0309	mg/L	<KAL
Abs.	-0.00028	0.00033	119.4			<KAL
Single values (Abs.): #1: 0.00010 #2: -0.00047 #3: -0.00047 (SEV: 269V)						



POM - 1		Rivaldo Cd(1)			Date:	3/14/2025 12:14
Pre-DF:	1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF:	1.0	Blank corr.: off
Cd228						
Conc.1	-0.0029	0.0004	12.3		mg/L	<KAL
Conc.2	-0.0029	0.0004	12.3	0.0310	mg/L	<KAL
Abs.	-0.00038	0.00005	13.6			<KAL
Single values (Abs.): #1: -0.00035 #2: -0.00044 #3: -0.00035 (SEV: 269V)						

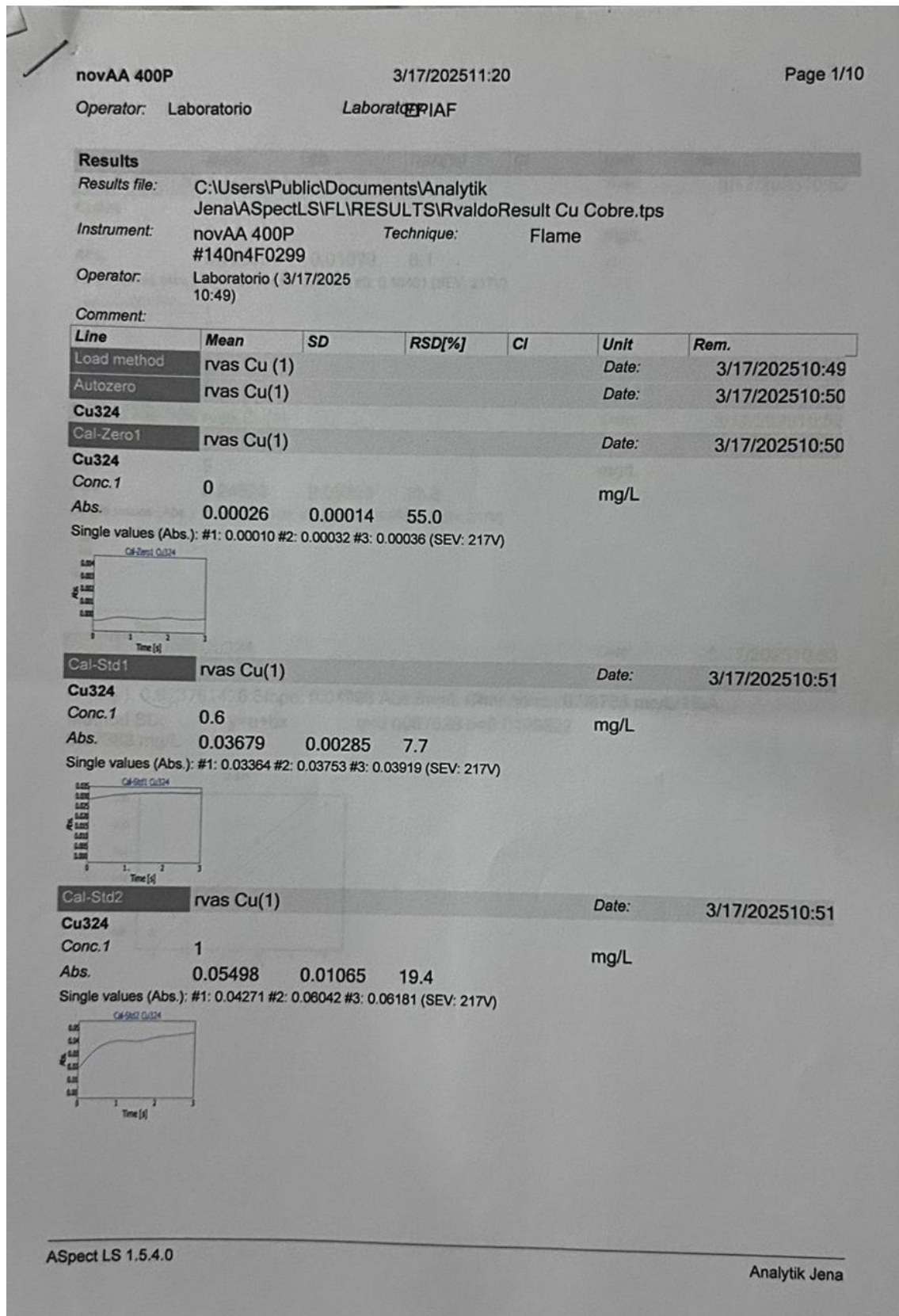


POM -2		Rivaldo Cd(1)			Date:	3/14/202512:14
Pre-DF:	1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF:	1.0	Blank corr.: off
Cd228						
Conc.1	0.0021	0.0028	135.0		mg/L	
Conc.2	0.0021	0.0028	135.0	0.0303	mg/L	
Abs.	0.00034	0.00040	118.9			
Single values (Abs.): #1: 0.00076 #2: 0.00031 #3: -0.00005 (SEV: 269V)						



Clean system	Date:	3/14/2025 12:15
Flame off	Date:	3/14/2025 12:16

Anexo 4 Informe de resultados del Cobre (Cu) mediante ICP-OES en el laboratorio de la Universidad Nacional de Juliaca



Operator: Laboratorio

Laboratory: IAF

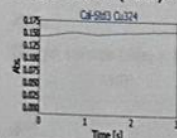
Line	Mean	SD	RSD[%]	CI	Unit	Rem.
Cal-Std3	rvas Cu(1)				Date:	3/17/2025 10:52

Cu324

Conc. 1 3 mg/L

Abs. 0.17635 0.01079 6.1

Single values (Abs.): #1: 0.16414 #2: 0.18029 #3: 0.18461 (SEV: 217V)



Cal-Std4	rvas Cu(1)
----------	------------

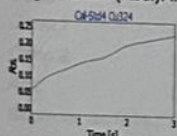
Date: 3/17/2025 10:52

Cu324

Conc. 1 5 mg/L

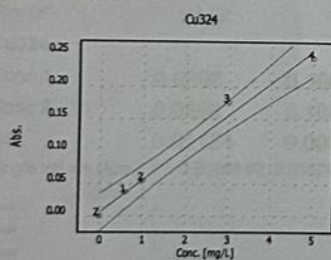
Abs. 0.24522 0.05723 23.3

Single values (Abs.): #1: 0.17940 #2: 0.27305 #3: 0.28321 (SEV: 217V)

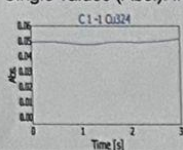


Compute calib. Cu324

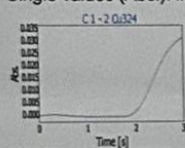
Date: 3/17/2025 10:53

Cu324 $R^2(\text{adj.}): 0.973761476$ Slope: 0.04998 Abs./mg/L Char.conc.: 0.08723 mg/L 1%AMethod SD: $y=a+bx$ $a=0.0067528$ $b=0.0499822$
0.27388 mg/L

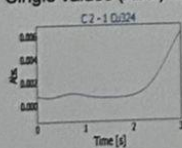
Line	Mean	SD	RSD[%]	CI	Unit	Rem.
C 1 - 1	rvas Cu(1)				Date:	3/17/2025 10:53
Pre-DF: 1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF: 1.0	Blank corr.: off		
Cu324						
Conc.1	0.9318	0.0039	0.4		mg/L	
Conc.2	0.9318	0.0039	0.4	0.6094	mg/L	
Abs.	0.05333	0.00019	0.4			
Single values (Abs.): #1: 0.05318 #2: 0.05326 #3: 0.05354 (SEV: 217V)						



C 1 - 2		rvas Cu(1)			Date:	3/17/202510:54
Pre-DF: 1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF: 1.0	Blank corr.:	off	
Cu324						
Conc.1	0.5912	0.4946	83.7		mg/L	
Conc.2	0.5912	0.4946	83.7	0.6397	mg/L	
Abs.	0.03630	0.02472	68.1			
Single values (Abs.): #1: 0.00779 #2: 0.04934 #3: 0.05177 (SEV: 217V)						



C 2 - 1	rvas Cu(1)				Date:	3/17/2025 10:54
Pre-DF: 1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF: 1.0	Blank corr.:	off	
Cu324						
Conc.1	0.0898	0.1605	178.8		mg/L	<KAL
Conc.2	0.0898	0.1605	178.8	0.6966	mg/L	<KAL
Abs.	0.01124	0.00802	71.4			<KAL
Single values (Abs.): #1: 0.00198 #2: 0.01574 #3: 0.01600 (SEV: 217V)						



Operator: Laboratorio

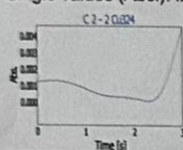
Laboratorio PIAF

Line	Mean	SD	RSD[%]	CI	Unit	Rem.
C 2 - 2	rvas Cu(1)				Date: 3/17/2025 10:55	
Pre-DF: 1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF: 1.0	Blank corr.: off		

Cu324

Conc.1	0.0756	0.1595	211.0		mg/L	<KAL
Conc.2	0.0756	0.1595	211.0	0.6984	mg/L	<KAL
Abs.	0.01053	0.00797	75.7			<KAL

Single values (Abs.): #1: 0.00136 #2: 0.01440 #3: 0.01582 (SEV: 217V)

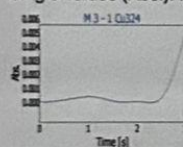


M 3 - 1	rvas Cu(1)				Date: 3/17/2025 10:55	
Pre-DF: 1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF: 1.0	Blank corr.: off		

Cu324

Conc.1	0.0751	0.1659	221.0		mg/L	<KAL
Conc.2	0.0751	0.1659	221.0	0.6984	mg/L	<KAL
Abs.	0.01051	0.00829	79.0			<KAL

Single values (Abs.): #1: 0.00095 #2: 0.01470 #3: 0.01586 (SEV: 217V)

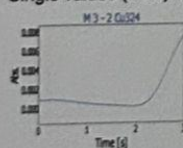


M 3 - 2	rvas Cu(1)				Date: 3/17/2025 10:56	
Pre-DF: 1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF: 1.0	Blank corr.: off		

Cu324

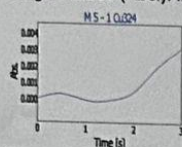
Conc.1	0.0782	0.1510	193.0		mg/L	<KAL
Conc.2	0.0782	0.1510	193.0	0.6980	mg/L	<KAL
Abs.	0.01066	0.00755	70.8			<KAL

Single values (Abs.): #1: 0.00200 #2: 0.01423 #3: 0.01577 (SEV: 217V)



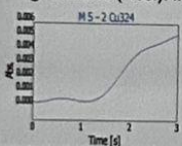
Line	Mean	SD	RSD[%]	CI	Unit	Rem.
M 5 - 1	rvas Cu(1)					Date: 3/17/2025 10:56
Pre-DF: 1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF: 1.0	Blank corr.: off		
Cu324						
Conc.1	-0.0372	0.0660	177.3		mg/L	<KAL
Conc.2	-0.0372	0.0660	177.3	0.7129	mg/L	<KAL
Abs.	0.00489	0.00330	67.5			<KAL

Single values (Abs.): #1: 0.00114 #2: 0.00620 #3: 0.00734 (SEV: 217V)



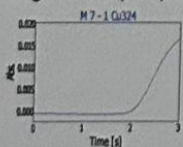
M 5 - 2		rvas Cu(1)			Date: 3/17/2025 10:57	
Pre-DF: 1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF: 1.0	Blank corr.: off		
Cu324						
Conc. 1	-0.0233	0.0620	266.7		mg/L	<KAL
Conc. 2	-0.0233	0.0620	266.7	0.7111	mg/L	<KAL
Abs.	0.00559	0.00310	55.5			<KAL

Single values (Abs.): #1: 0.00207 #2: 0.00676 #3: 0.00793 (SEV: 217V)



M 7 - 1	rvas Cu(1)				Date:	3/17/2025 10:58
Pre-DF: 1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF: 1.0	Blank corr.:	off	
Cu324						
Conc. 1	0.2743	0.2888	105.3		mg/L	<KAL
Conc. 2	0.2743	0.2888	105.3	0.6741	mg/L	<KAL
Abs.	0.02046	0.01443	70.5			<KAL

Single values (Abs.): #1: 0.00382 #2: 0.02804 #3: 0.02953 (SEV: 217V)

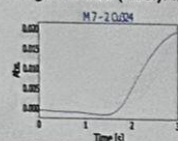


Operator: Laboratorio

Laboratorio AF

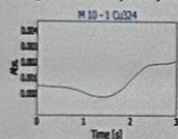
Line	Mean	SD	RSD[%]	CI	Unit	Rem.
M 7 - 2	rvas Cu(1)				Date:	3/17/202510:58
Pre-DF: 1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF: 1.0	Blank corr.:	off	
Cu324						
Conc.1	0.2907	0.2666	91.7		mg/L	<KAL
Conc.2	0.2907	0.2666	91.7	0.6722	mg/L	<KAL
Abs.	0.02128	0.01332	62.6			<KAL

Single values (Abs.): #1: 0.00592 #2: 0.02824 #3: 0.02969 (SEV: 217V)



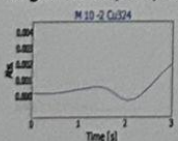
M 10 - 1	rvas Cu(1)				Date:	3/17/2025 10:59
Pre-DF: 1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF: 1.0	Blank corr.:	off	
Cu324						
Conc.1	-0.0739	0.0341	46.1		mg/L	<KAL
Conc.2	-0.0739	0.0341	46.1	0.7178	mg/L	<KAL
Abs.	0.00306	0.00170	55.7			<KAL

Single values (Abs.): #1: 0.00111 #2: 0.00426 #3: 0.00381 (SEV: 217V)



M 10 -2	rvas Cu(1)				Date:	3/17/202510:59
Pre-DF: 1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF: 1.0	Blank corr.:	off	
Cu324						
Conc.1	-0.0704	0.0434	61.7		mg/L	<KAL
Conc.2	-0.0704	0.0434	61.7	0.7173	mg/L	<KAL
Abs.	0.00324	0.00217	67.0			<KAL

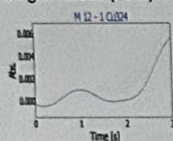
Single values (Abs.): #1: 0.00075 #2: 0.00420 #3: 0.00475 (SEV: 217V)



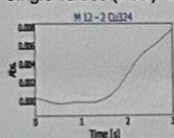
Operator: Laboratorio

Laboratory: PIAF

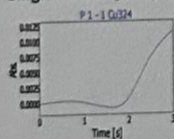
Line	Mean	SD	RSD[%]	CI	Unit	Rem.
M 12 - 1	rvas Cu(1)				Date:	3/17/2025 11:00
Pre-DF: 1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF: 1.0	Blank corr.: off		
Cu324						
Conc.1	0.0783	0.1597	204.1		mg/L	<KAL
Conc.2	0.0783	0.1597	204.1	0.6980	mg/L	<KAL
Abs.	0.01066	0.00798	74.8			<KAL
Single values (Abs.): #1: 0.00147 #2: 0.01470 #3: 0.01582 (SEV: 217V)						



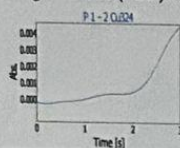
Time [s]		rvas Cu(1)			Date:	3/17/2025 11:00
Pre-DF:	1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF: 1.0	Blank corr.: off	
Cu324						
Conc.1	0.0847	0.1449	171.1		mg/L	<KAL
Conc.2	0.0847	0.1449	171.1	0.6972	mg/L	<KAL
Abs.	0.01098	0.00724	65.9			<KAL
Single values (Abs.): #1: 0.00264 #2: 0.01464 #3: 0.01567 (SEV: 217V)						



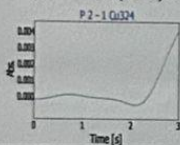
P 1 - 1		rvas Cu(1)			Date:	3/17/2025 11:01
Pre-DF:	1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF: 1.0	Blank corr.:	off
Cu324						
Conc.1	0.1349	0.1792	132.8		mg/L	<KAL
Conc.2	0.1349	0.1792	132.8	0.6909	mg/L	<KAL
Abs.	0.01350	0.00896	66.4			<KAL
Single values (Abs.): #1: 0.00317 #2: 0.01811 #3: 0.01921 (SEV: 217V)						



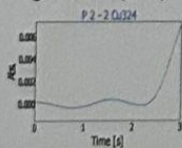
Line	Mean	SD	RSD[%]	CI	Unit	Rem.
P 1 - 2	rvas Cu(1)					Date: 3/17/2025 11:01
Pre-DF: 1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF: 1.0	Blank corr.: off		
Cu324						
Conc.1	0.0008	0.0975	###.#		mg/L	<KAL
Conc.2	0.0008	0.0975	###.#	0.7079	mg/L	<KAL
Abs.	0.00679	0.00488	71.8			<KAL
Single values (Abs.): #1: 0.00122 #2: 0.00887 #3: 0.01029 (SEV: 217V)						



P 2 - 1		rvas Cu(1)			Date:	3/17/2025 11:02
Pre-DF: 1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF: 1.0	Blank corr.:	off	
Cu324						
Conc.1	-0.0023	0.1027	###.#		mg/L	<KAL
Conc.2	-0.0023	0.1027	###.#	0.7084	mg/L	<KAL
Abs.	0.00664	0.00513	77.3			<KAL
Single values (Abs.): #1: 0.00073 #2: 0.00914 #3: 0.01003 (SEV: 217V)						



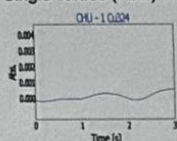
P 2 - 2		rvas Cu(1)			Date:	3/17/2025 11:03
Pre-DF:	1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF:	1.0	Blank corr.: off
Cu324						
Conc.1	0.1301	0.2095	161.0		mg/L	<KAL
Conc.2	0.1301	0.2095	161.0	0.6915	mg/L	<KAL
Abs.	0.01326	0.01047	79.0			<KAL
Single values (Abs.): #1: 0.00121 #2: 0.01841 #3: 0.02015 (SEV: 217V)						



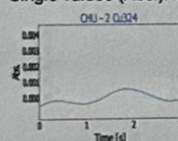
Operator: Laboratorio

Laboratorio PIAF

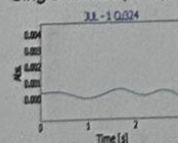
Line	Mean	SD	RSD[%]	CI	Unit	Rem.
CHU - 1	rvas Cu(1)				Date:	3/17/202511:03
Pre-DF: 1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF: 1.0	Blank corr.: off		
Cu324						
Conc.1	-0.1228	0.0041	3.3		mg/L	<KAL
Conc.2	-0.1228	0.0041	3.3	0.7243	mg/L	<KAL
Abs.	0.00062	0.00020	33.0			<KAL
Single values (Abs.): #1: 0.00047 #2: 0.00085 #3: 0.00053 (SEV: 217V)						



CHU - 2		rvas Cu(1)			Date: 3/17/2025 11:04	
Pre-DF:	1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF: 1.0	Blank corr.: off	
Cu324						
Conc.1	-0.1322	0.0049	3.7		mg/L	<KAL
Conc.2	-0.1322	0.0049	3.7	0.7256	mg/L	<KAL
Abs.	0.00014	0.00024	169.0			<KAL
Single values (Abs.): #1: 0.00032 #2: -0.00014 #3: 0.00025 (SEV: 217V)						



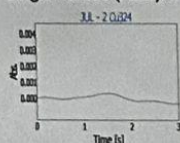
Time [s]					Date:	3/17/2025 11:04
JUL - 1	rvas Cu(1)					
Pre-DF: 1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF: 1.0	Blank corr.:	off	
Cu324						
Conc.1	-0.1203	0.0027	2.2		mg/L	<KAL
Conc.2	-0.1203	0.0027	2.2	0.7240	mg/L	<KAL
Abs.	0.00074	0.00013	18.0			<KAL
Single values (Abs.): #1: 0.00060 #2: 0.00087 #3: 0.00075 (SEV: 217V)						



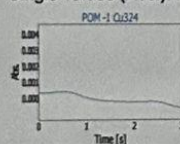
Operator: Laboratorio

Laboratory: IAF

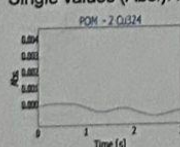
Line	Mean	SD	RSD[%]	CI	Unit	Rem.
JUL - 2	rvas Cu(1)				Date:	3/17/202511:05
Pre-DF: 1	Wt.[g]:		Vol.[mL]: 100	AS-DF: 1.0	Blank corr.:	off
Cu324						
Conc.1	-0.1245	0.0039	3.2		mg/L	<KAL
Conc.2	-0.1245	0.0039	3.2	0.7246	mg/L	<KAL
Abs.	0.00053	0.00020	37.3			<KAL
Single values (Abs.): #1: 0.00038 #2: 0.00075 #3: 0.00046 (SEV: 217V)						



POM -1		rvas Cu(1)			Date:	3/17/202511:05
Pre-DF:	1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF:	1.0	Blank corr.: off
Cu324						
Conc.1	-0.1274	0.0077	6.0		mg/L	<KAL
Conc.2	-0.1274	0.0077	6.0	0.7250	mg/L	<KAL
Abs.	0.00038	0.00038	100.3			<KAL
Single values (Abs.): #1: 0.00030 #2: 0.00004 #3: 0.00080 (SEV: 217V)						

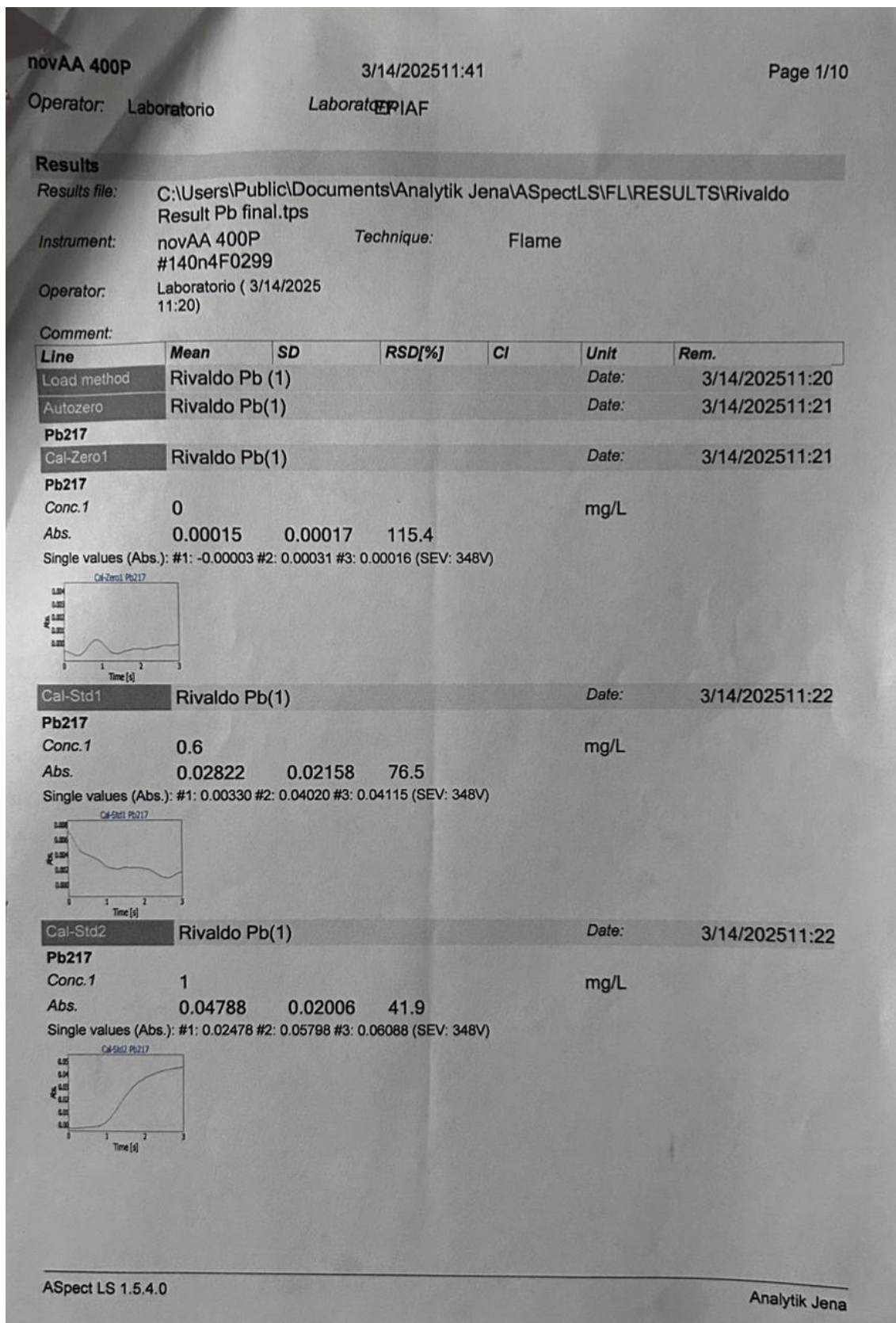


POM - 2		rvas Cu(1)			Date:	3/17/2025 11:06
Pre-DF:	1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF:	1.0	Blank corr.: off
Cu324						
Conc.1	-0.1328	0.0038	2.8		mg/L	<KAL
Conc.2	-0.1328	0.0038	2.8	0.7257	mg/L	<KAL
Abs.	0.00012	0.00019	163.9			<KAL
Single values (Abs.): #1: -0.00002 #2: 0.00004 #3: 0.00033 (SEV: 217V)						



Clean system	Date: 3/17/2025 11:07
Flame off	Date: 3/17/2025 11:12

Anexo 5 Informe de resultados del Plomo (Pb) mediante ICP-OES en el laboratorio de la Universidad Nacional de Juliaca



novAA 400P

3/14/202511:41

Page 2/10

Operator: Laboratorio

Laboratorio PIAF

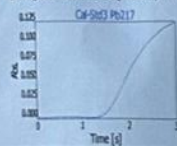
Line	Mean	SD	RSD[%]	CI	Unit	Rem.
Cal-Std3	Rivaldo Pb(1)				Date:	3/14/202511:23

Pb217

Conc. 1 3 mg/L

Abs. 0.12521 0.07428 59.3

Single values (Abs.): #1: 0.03957 #2: 0.16391 #3: 0.17214 (SEV: 348V)



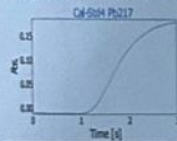
Cal-Std4	Rivaldo Pb(1)	Date:	3/14/202511:24
----------	---------------	-------	----------------

Pb217

Conc. 1 5 mg/L

Abs. 0.18709 0.09550 51.0

Single values (Abs.): #1: 0.07692 #2: 0.23807 #3: 0.24628 (SEV: 348V)

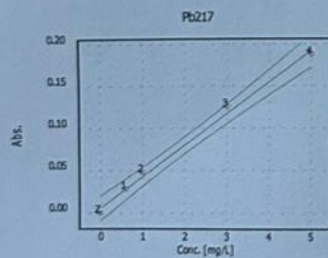


Compute calib.	Pb217	Date:	3/14/202511:24
----------------	-------	-------	----------------

Pb217

 $R^2(\text{adj.}): 0.988314130$ Slope: 0.03721 Abs./mg/L Char.conc.: 0.11718 mg/L/1%AMethod SD: $y=a+bx$ $a=0.0062673$ $b=0.0372088$

0.18211 mg/L



Operator: Laboratorio

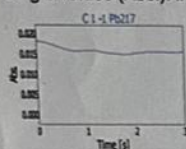
Laboratorio PIAF

Line	Mean	SD	RSD[%]	CI	Unit	Rem.
C 1 - 1	Rivaldo Pb(1)				Date:	3/14/2025 11:24
Pre-DF: 1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF: 1.0	Blank corr.: off		

Pb217

Conc. 1	0.2555	0.0535	20.9		mg/L
Conc. 2	0.2555	0.0535	20.9	0.4497	mg/L
Abs.	0.01578	0.00199	12.6		

Single values (Abs.): #1: 0.01748 #2: 0.01626 #3: 0.01359 (SEV: 348V)

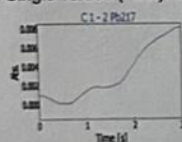


C 1 - 2	Rivaldo Pb(1)				Date:	3/14/2025 11:25
Pre-DF: 1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF: 1.0	Blank corr.: off		

Pb217

Conc. 1	0.0792	0.1268	160.0		mg/L	<KAL
Conc. 2	0.0792	0.1268	160.0	0.4640	mg/L	<KAL
Abs.	0.00921	0.00472	51.2			<KAL

Single values (Abs.): #1: 0.00377 #2: 0.01206 #3: 0.01181 (SEV: 348V)

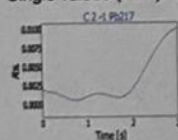


C 2 - 1	Rivaldo Pb(1)				Date:	3/14/2025 11:25
Pre-DF: 1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF: 1.0	Blank corr.: off		

Pb217

Conc. 1	0.1031	0.1481	143.6		mg/L	<KAL
Conc. 2	0.1031	0.1481	143.6	0.4620	mg/L	<KAL
Abs.	0.01011	0.00551	54.5			<KAL

Single values (Abs.): #1: 0.00375 #2: 0.01306 #3: 0.01351 (SEV: 348V)

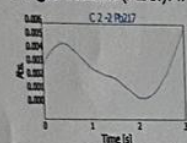


Operator: Laboratorio

Laboratorio PIAF

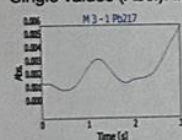
Line	Mean	SD	RSD[%]	CI	Unit	Rem.
C 2 -2	Rivaldo Pb(1)					Date: 3/14/202511:26
Pre-DF: 1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF: 1.0	Blank corr.: off		
Pb217						
Conc.1	0.1103	0.1783	161.6		mg/L	<KAL
Conc.2	0.1103	0.1783	161.6	0.4614	mg/L	<KAL
Abs.	0.01037	0.00664	64.0			<KAL

Single values (Abs.): #1: 0.00277 #2: 0.01337 #3: 0.01498 (SEV: 348V)



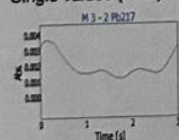
M 3 - 1		Rivaldo Pb(1)			Date:	3/14/202511:26
Pre-DF: 1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF: 1.0	Blank corr.:	off	
Pb217						
Conc.1	0.0595	0.1400	235.4		mg/L	<KAL
Conc.2	0.0595	0.1400	235.4	0.4657	mg/L	<KAL
Abs.	0.00848	0.00521	61.4			<KAL
Single values (Abs.): #1: 0.00247 #2: 0.01130 #3: 0.01167 (SEV: 348V)						

Single values (Abs.): #1: 0.00247 #2: 0.01130 #3: 0.01167 (SEV: 348V)



Time [s]					Date:	3/14/2025 11:27
M 3 - 2	Rivaldo Pb(1)					
Pre-DF: 1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF: 1.0	Blank corr.:	off	
Pb217						
Conc.1	0.0343	0.1227	357.3		mg/L	<KAL
Conc.2	0.0343	0.1227	357.3	0.4678	mg/L	<KAL
Abs.	0.00755	0.00457	60.5			<KAL
Single values (Abs.): #1: 0.00233 #2: 0.00946 #3: 0.01085 (SEV: 348V)						

Single values (Abs.): #1: 0.00233 #2: 0.00946 #3: 0.01085 (SEV: 348V)

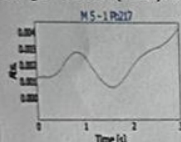


Operator: Laboratorio

Laboratorio PIAF

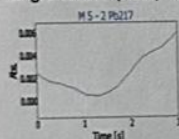
Line	Mean	SD	RSD[%]	CI	Unit	Rem.
M 5 - 1	Rivaldo Pb(1)				Date:	3/14/202511:28
Pre-DF: 1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF: 1.0	Blank corr.:	off	
Pb217						
Conc.1	0.0337	0.1169	346.4		mg/L	<KAL
Conc.2	0.0337	0.1169	346.4	0.4679	mg/L	<KAL
Abs.	0.00752	0.00435	57.8			<KAL

Single values (Abs.): #1: 0.00250 #2: 0.01002 #3: 0.01005 (SEV: 348V)



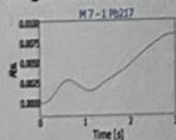
M 5 - 2		Rivaldo Pb(1)			Date:	3/14/2025 11:28
Pre-DF:	1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF:	1.0	Blank corr.: off
Pb217						
Conc.1	0.0535	0.1273	237.9		mg/L	<KAL
Conc.2	0.0535	0.1273	237.9	0.4662	mg/L	<KAL
Abs.	0.00826	0.00474	57.4			<KAL

Single values (Abs.): #1: 0.00279 #2: 0.01086 #3: 0.01112 (SEV: 348V)



M 7 - 1		Rivaldo Pb(1)			Date:	3/14/2025 11:29
Pre-DF:	1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF:	1.0	Blank corr.: off
Pb217						
Conc.1	0.0659	0.0978	148.3		mg/L	<KAL
Conc.2	0.0659	0.0978	148.3	0.4652	mg/L	<KAL
Abs.	0.00872	0.00364	41.7			<KAL

Single values (Abs.): #1: 0.00452 #2: 0.01085 #3: 0.01080 (SEV: 348V)

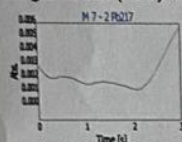


Operator: Laboratorio

Laboratorio PIAF

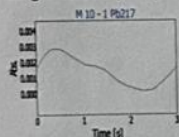
Line	Mean	SD	RSD[%]	Cl	Unit	Rem.
M 7 - 2	Rivaldo Pb(1)				Date:	3/14/202511:29
Pre-DF: 1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100		AS-DF: 1.0	Blank corr.:	off
Pb217						
Conc.1	0.0337	0.1203	357.2		mg/L	<KAL
Conc.2	0.0337	0.1203	357.2	0.4679	mg/L	<KAL
Abs.	0.00752	0.00448	59.5			<KAL

Single values (Abs.): #1: 0.00235 #2: 0.01027 #3: 0.00994 (SEV: 348V)



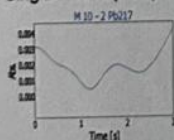
M 10 - 1	Rivaldo Pb(1)				Date:	3/14/2025 11:30
Pre-DF: 1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100		AS-DF: 1.0	Blank corr.:	off
Pb217						
Conc.1	0.0211	0.1229	582.5		mg/L	<KAL
Conc.2	0.0211	0.1229	582.5	0.4690	mg/L	<KAL
Abs.	0.00705	0.00457	64.9			<KAL

Single values (Abs.): #1: 0.00178 #2: 0.00938 #3: 0.01000 (SEV: 348V)



Time [s]						Date: 3/14/2025 11:30	
M 10 - 2		Rivaldo Pb(1)					
Pre-DF: 1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100		AS-DF: 1.0	Blank corr.: off		
Pb217							
Conc.1	0.0292	0.1188	407.2		mg/L	<KAL	
Conc.2	0.0292	0.1188	407.2	0.4683	mg/L	<KAL	
Abs.	0.00735	0.00442	60.1			<KAL	

Single values (Abs.): #1: 0.00227 #2: 0.00954 #3: 0.01025 (SEV: 348V)

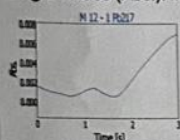


Operator: Laboratorio

Laboratorio PIAF

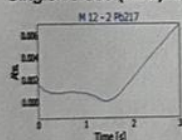
Line	Mean	SD	RSD[%]	CI	Unit	Rem.
M 12 - 1	Rivaldo Pb(1)				Date:	3/14/202511:31
Pre-DF: 1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100		AS-DF: 1.0	Blank corr.: off	
Pb217						
Conc.1	0.0354	0.1046	295.3		mg/L	<KAL
Conc.2	0.0354	0.1046	295.3	0.4677	mg/L	<KAL
Abs.	0.00759	0.00389	51.3			<KAL

Single values (Abs.): #1: 0.00309 #2: 0.00984 #3: 0.00982 (SEV: 348V)



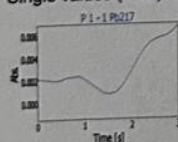
M 12 - 2	Rivaldo Pb(1)				Date:	3/14/2025 11:31
Pre-DF: 1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100		AS-DF: 1.0	Blank corr.: off	
Pb217						
Conc.1	0.0249	0.1077	432.8		mg/L	<KAL
Conc.2	0.0249	0.1077	432.8	0.4687	mg/L	<KAL
Abs.	0.00719	0.00401	55.7			<KAL

Single values (Abs.): #1: 0.00257 #2: 0.00971 #3: 0.00930 (SEV: 348V)



Time [s]						Date:	3/14/2025 11:32
P 1 - 1		Rivaldo Pb(1)					
Pre-DF: 1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100		AS-DF: 1.0	Blank corr.: off		
Pb217							
Conc.1	0.0321	0.0941	292.7		mg/L	<KAL	
Conc.2	0.0321	0.0941	292.7	0.4680	mg/L	<KAL	
Abs.	0.00746	0.00350	46.9			<KAL	

Single values (Abs.): #1: 0.00342 #2: 0.00940 #3: 0.00956 (SEV: 348V)

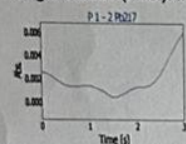


Operator: Laboratorio

Laboratorio PIAF

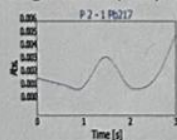
Line	Mean	SD	RSD[%]	CI	Unit	Rem.
P 1 - 2	Rivaldo Pb(1)				Date:	3/14/202511:32
Pre-DF: 1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF: 1.0	Blank corr.: off		
Pb217						
Conc.1	0.0277	0.1135	410.2		mg/L	<KAL
Conc.2	0.0277	0.1135	410.2	0.4684	mg/L	<KAL
Abs.	0.00730	0.00422	57.9			<KAL

Single values (Abs.): #1: 0.00243 #2: 0.01002 #3: 0.00944 (SEV: 348V)



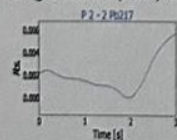
P 2 - 1		Rivaldo Pb(1)			Date:	3/14/202511:33
Pre-DF:	1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF:	1.0	Blank corr.: off
Pb217						
Conc.1	0.0124	0.1098	882.3		mg/L	<KAL
Conc.2	0.0124	0.1098	882.3	0.4697	mg/L	<KAL
Abs.	0.00673	0.00408	60.7			<KAL

Single values (Abs.): #1: 0.00201 #2: 0.00912 #3: 0.00906 (SEV: 348V)



P 2 - 2		Rivaldo Pb(1)			Date:	3/14/2025 11:34
Pre-DF:	1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF:	1.0	Blank corr.: off
Pb217						
Conc.1	0.0242	0.1085	448.7		mg/L	<KAL
Conc.2	0.0242	0.1085	448.7	0.4687	mg/L	<KAL
Abs.	0.00717	0.00404	56.3			<KAL

Single values (Abs.): #1: 0.00255 #2: 0.00892 #3: 0.01003 (SEV: 348V)



Operator: Laboratorio

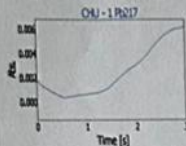
Laboratorio PIAF

Line	Mean	SD	RSD[%]	CI	Unit	Rem.
CHU - 1	Rivaldo Pb(1)				Date:	3/14/2025 11:34
Pre-DF: 1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF: 1.0	Blank corr.: off		

Pb217

Conc.1	0.0282	0.1018	360.4		mg/L	<KAL
Conc.2	0.0282	0.1018	360.4	0.4684	mg/L	<KAL
Abs.	0.00732	0.00379	51.7			<KAL

Single values (Abs.): #1: 0.00298 #2: 0.00904 #3: 0.00994 (SEV: 348V)

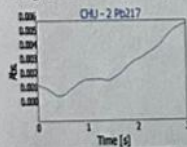


CHU - 2	Rivaldo Pb(1)				Date:	3/14/2025 11:35
Pre-DF: 1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF: 1.0	Blank corr.: off		

Pb217

Conc.1	0.0306	0.1090	356.8		mg/L	<KAL
Conc.2	0.0306	0.1090	356.8	0.4682	mg/L	<KAL
Abs.	0.00740	0.00406	54.8			<KAL

Single values (Abs.): #1: 0.00272 #2: 0.00980 #3: 0.00969 (SEV: 348V)

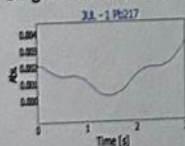


JUL - 1	Rivaldo Pb(1)				Date:	3/14/2025 11:35
Pre-DF: 1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF: 1.0	Blank corr.: off		

Pb217

Conc.1	0.0219	0.1235	564.2		mg/L	<KAL
Conc.2	0.0219	0.1235	564.2	0.4689	mg/L	<KAL
Abs.	0.00708	0.00459	64.9			<KAL

Single values (Abs.): #1: 0.00179 #2: 0.00935 #3: 0.01010 (SEV: 348V)



Operator: Laboratorio

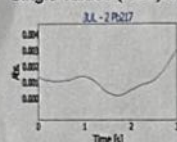
Laboratorio PIAF

Line	Mean	SD	RSD[%]	CI	Unit	Rem.
JUL - 2	Rivaldo Pb(1)					Date: 3/14/2025 11:36
Pre-DF: 1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF: 1.0	Blank corr.: off		

Pb217

Conc. 1	0.0043	0.1167	###.#		mg/L	<KAL
Conc. 2	0.0043	0.1167	###.#	0.4704	mg/L	<KAL
Abs.	0.00643	0.00434	67.6			<KAL

Single values (Abs.): #1: 0.00145 #2: 0.00839 #3: 0.00944 (SEV: 348V)

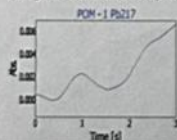


POM - 1	Rivaldo Pb(1)					Date: 3/14/2025 11:36
Pre-DF: 1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF: 1.0	Blank corr.: off		

Pb217

Conc. 1	0.0259	0.1017	392.3		mg/L	<KAL
Conc. 2	0.0259	0.1017	392.3	0.4686	mg/L	<KAL
Abs.	0.00723	0.00378	52.3			<KAL

Single values (Abs.): #1: 0.00289 #2: 0.00902 #3: 0.00979 (SEV: 348V)

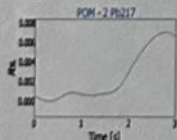


POM - 2	Rivaldo Pb(1)					Date: 3/14/2025 11:37
Pre-DF: 1	Wt.[g]:	Vol.[mL]: 100	AS-DF: 1.0	Blank corr.: off		

Pb217

Conc. 1	0.0255	0.0966	378.6		mg/L	<KAL
Conc. 2	0.0255	0.0966	378.6	0.4686	mg/L	<KAL
Abs.	0.00722	0.00359	49.8			<KAL

Single values (Abs.): #1: 0.00307 #2: 0.00914 #3: 0.00944 (SEV: 348V)



Clean system

Date: 3/14/2025 11:37

Flame off

Date: 3/14/2025 11:40

**Anexo 6 Informe de ensayo del laboratorio mediante el método
Dietilditiocarbonato de Plata – Universidad Nacional de San
Agustín**



UNSA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA

Laboratorio de
Investigación y Servicios
LABINVSERV

INFORME DE ENSAYOS

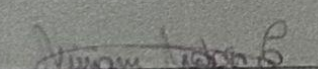
REPORTE N°: 25730-25

ANÁLISIS DE:	UNIDAD	RESULTADOS	METODO DE ENSAYO APLICADO NORMA/REFERENCIA/NOMBRE
Arsénico	mg/100g	0,0016	Método de Dietilditiocarbamato de Plata
Cromo	mg/100g	0,862	Método Absorción Atómica

OBSERVACIONES:

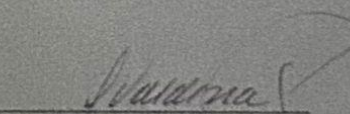
Página 2 de 2

Emitido en Arequipa, el 04 de abril de 2025.



Dra. Miriam Vilma María Málaga Correo
Coordinadora(e) del Laboratorio
RCQP - TES





Lic. Qqtm. Fredy Agostiño Valtierra Peña
Químico Responsable
RCQP - 892

Av. Independencia s/n Arequipa - Pabellón de Química - Laboratorio 106 - Primer Piso
Teléfono (054) 226360 / E-mail: labinvserv@unsa.edu.pe

INFORME DE ENSAYOS

REPORTE N°: 25731-25

ANÁLISIS DE:	UNIDAD	RESULTADOS	METODO DE ENSAYO APLICADO NORMA/REFERENCIA/NOMBRE
Arsénico	mg/100g	0,002	Método de Dietilditiotiocarbamato de Plata

OBSERVACIONES:

Página 2 de 2

Emisado en Arequipa, el 04 de abril de 2025.


Dra. Miriam Vilma María Málaga Cornejo
Coordinadora(s) del Laboratorio
RCP - 758




Lic. Quiza Fredy Agustin Valdivia Peña
Químico Responsable
RCP - 872



UNSA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA

Laboratorio de
Investigación y Servicios
LABINVSERV

INFORME DE ENSAYOS

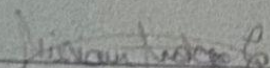
REPORTE N°: 25732-25

ANÁLISIS DE:	UNIDAD	RESULTADOS	METODO DE ENSAYO APLICADO NORMA/REFERENCIA/NOMBRE
Cromo	mg/100g	0,275	Método Absorción Atómica

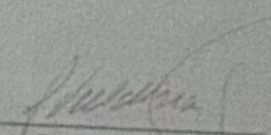
OBSERVACIONES:

Página 2 de 2

Emitido en Arequipa, el 04 de abril de 2025.


Dra. Miriam Vilma María Málaga Corzo
Coordinadora del Laboratorio
RQP - 258




Lic. Quím. Fredy Agostino Valderrama Peña
Químico Responsable
RQP - 092

Anexo 7 Directrices metodológicas EPA 3050B

MÉTODO 3050B

DIGESTIÓN ÁCIDA DE SEDIMENTOS, LODOS Y SUELOS

1.0 ALCANCE Y APLICACIÓN

1.1 Este método se ha desarrollado para proporcionar dos procedimientos de digestión independientes: uno para la preparación de sedimentos, lodos y muestras de suelo para su análisis mediante espectrometría de absorción atómica de llama (FLAA) o espectrometría de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente (ICP-AES), y otro para la preparación de sedimentos, lodos y muestras de suelo para su análisis mediante espectrometría de absorción atómica con horno de grafito (GFAA) o espectrometría de masas de plasma acoplado inductivamente (ICP-MS). Los extractos de estos dos procedimientos no son intercambiables y solo deben utilizarse con las determinaciones analíticas descritas en esta sección. Las muestras preparadas mediante este método pueden analizarse mediante ICP-AES o GFAA para todos los metales enumerados, siempre que los límites de detección sean adecuados para el uso final requerido de los datos. Se pueden utilizar técnicas de determinación alternativas si son científicamente válidas y se cumplen los criterios de control de calidad del método, incluidos los relativos a las i Este método puede analizar otros elementos y matrices si se demuestra su eficacia para los analitos de interés, en las matrices de interés y a los niveles de concentración de interés (véase la sección 8.0). A continuación se enumeran las técnicas de determinación recomendadas para cada elemento:

FLAA/ICP-AES		GFAA/ICP-MS
Aluminio	Magnesio	Arsénico
Antimonio	Manganeso	Berilio
Bario	Molibdeno	Cadmio
Berilio	Níquel	Cromo
Cadmio	Potasio	Cobalto
Calcio	Plata	Hierro
Cromo	Sodio	Dirigir
Cobalto	Talio	Molibdeno
Cobre	Vanadio	Selenio
Hierro	Zinc	Talio
Dirigir		
Vanadio		

1.2 Este método no es una técnica de digestión total para la mayoría de las muestras. Se trata de una digestión con ácido muy fuerte que disuelve casi todos los elementos que podrían estar disponibles para el medio ambiente. Por diseño, los elementos ligados a estructuras de silicato no suelen disolverse con este procedimiento, ya que normalmente no son móviles en el medio ambiente. Si se requiere una digestión total, utilice el método 3052.

2.0 RESUMEN DEL MÉTODO

2.1 Para la digestión de las muestras, se utiliza una muestra representativa de 1-2 gramos (peso húmedo) o 1 gramo La muestra (peso) se digiere con adiciones repetidas de ácido nítrico (HNO_3 (HO)). $\frac{1}{3}$ (peso seco) y peróxido de hidrógeno

2.2

2.2 Para el análisis GFAA o ICP-MS, el digestato resultante se reduce en volumen, mientras que Calentar y luego diluir hasta un volumen final de 100 mL.

2.3 Para los análisis ICP-AES o FLAA, se añade ácido clorhídrico (HCl) al digestato inicial y la muestra se somete a reflujo. En un paso opcional para aumentar la solubilidad de algunos metales (véase la Sección 7.3.1: NOTA), este digestato se filtra y el papel de filtro y los residuos se enjuagan, primero

Se añade ácido clorhídrico caliente y, a continuación, agua reactiva caliente. El papel de filtro y el residuo se devuelven al matraz de digestión, se someten a reflujo con ácido clorhídrico adicional y se filtran de nuevo. El digestato se diluye hasta un volumen final de 100 mL.

Si es necesario, se deberá secar una alícuota de muestra separada para determinar el porcentaje total de sólidos 2.4.

3.0 INTERFERENCIAS

3.1 Las muestras de lodo pueden contener diversos tipos de matriz, cada uno de los cuales puede presentar su propio desafío analítico. Las muestras enriquecidas y cualquier material de referencia estándar pertinente deben procesarse de acuerdo con los requisitos de control de calidad establecidos en la Sección 8.0 para ayudar a determinar si el Método 3050B es aplicable a un residuo determinado.

4.0 APARATOS Y MATERIALES

4.1 Recipientes de digestión - 250 mL.

4.2 Dispositivo de recuperación de vapor (por ejemplo, vidrios de reloj acanalados, dispositivo de reflujo adecuado, sistema adecuado para el manejo de disolventes).

4.3 Hornos de secado: capaces de mantener $30\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

4.4 Dispositivo de medición de temperatura capaz de medir hasta al menos $125\text{ }^{\circ}\text{C}$ con precisión y exactitud adecuadas (por ejemplo, termómetro, sensor IR, termopar, termistor, etc.)

4.5 Papel de filtro: Whatman n.º 41 o equivalente.

4.6 Centrífuga y tubos de centrifuga.

4.7 Balanza analítica: capaz de realizar pesajes precisos con una exactitud de 0,01 g.

4.8 Fuente de calor: ajustable y capaz de mantener una temperatura de $90\text{--}95\text{ }^{\circ}\text{C}$. (p. ej., caliente) placas, digestor de bloques, microondas, etc.)

4.9 Embudo o similar.

4.10 Probeta graduada o dispositivo de medición de volumen equivalente.

4.11 Matraces volumétricos - 100 mL.

5.0 REACTIVOS

5.1 En todas las pruebas se utilizarán reactivos de grado analítico. Salvo indicación contraria, se espera que todos los reactivos cumplan con las especificaciones del Comité de Reactivos Analíticos de la Sociedad Química Americana, cuando dichas especificaciones estén disponibles. Se pueden utilizar otros grados, siempre que se verifique previamente que el reactivo tenga la pureza suficiente para permitir su uso sin que disminuya la exactitud de la determinación. Si la pureza de un reactivo es dudosa, analízelo para determinar el nivel de impurezas. El blanco del reactivo debe ser inferior al límite de detección (LD) para poder utilizarse.

5.2 Agua reactiva. El agua reactiva estará libre de interferencias. Todas las referencias al agua en el método se refieren al agua reactiva, salvo que se especifique lo contrario. Consulte el Capítulo Uno para obtener una definición de agua reactiva.

5.3 Ácido nítrico (concentrado), HNO_3 . El ácido debe analizarse para determinar el nivel de impurezas. Si el valor del blanco del método es $<$ Límite de Detección del Método (LDM), el ácido puede utilizarse.

5.4 Ácido clorhídrico (concentrado), HCl . El ácido debe analizarse para determinar el nivel de impurezas. Si el valor del blanco del método es inferior al límite de detección (LDM), el ácido puede utilizarse.

5.5 Peróxido de hidrógeno (30%), H_2O_2 . El oxidante debe analizarse para determinar el nivel de impurezas. Si el valor del blanco del método es $<$ MDL, se puede utilizar el peróxido.

6.0 RECOGIDA, CONSERVACIÓN Y MANIPULACIÓN DE MUESTRAS

6.1 Todas las muestras deben haberse recogido utilizando un plan de muestreo que tenga en cuenta las consideraciones tratadas en el Capítulo Nueve de este manual.

6.2 Todos los recipientes de muestra deben estar libres de contaminación, con niveles iguales o inferiores al límite de detección. Se aceptan tanto recipientes de plástico como de vidrio. Consulte el Capítulo Tres, Sección 3.1.3, para obtener más información.

6.3 Las muestras no acuosas deben refrigerarse al recibirlas y analizarse lo antes posible.

6.4 Puede resultar difícil obtener una muestra representativa con materiales húmedos o mojados. Las muestras húmedas pueden secarse, triturarse y molerse para reducir la variabilidad entre submuestras, siempre y cuando el secado no afecte la extracción de los analitos de interés.

7.0 PROCEDIMIENTO

7.1 Mezcle bien la muestra para lograr homogeneidad y tamícela, si es necesario, con un tamiz USS n.º 10. Limpie todo el equipo utilizado para la homogeneización según las instrucciones de la sección 6.0 para minimizar la posible contaminación cruzada. Para cada procedimiento de digestión, pese con una precisión de 0,01 g y transfiera una muestra de 1-2 g (peso húmedo) o 1 g (peso seco) a un recipiente de digestión. Para muestras con alto contenido de líquido, se puede utilizar una muestra de mayor tamaño, siempre que la digestión se complete.

NOTA: Todos los pasos que requieran el uso de ácidos deben realizarse bajo una campana extractora por personal debidamente capacitado y utilizando el equipo de seguridad de laboratorio apropiado. Se recomienda el uso de un sistema de depuración de vapores ácidos para minimizar los residuos.

7.2 Para la digestión de muestras para análisis por GFAA o ICP-MS, agregue 10 mL de HNO_3 1:1, mezcle la suspensión y cubra con un vidrio de reloj o un dispositivo de recuperación de vapor. Caliente la muestra a $95 \pm 5^\circ\text{C}$ y refluja durante 10 a 15 minutos sin ebullición. Dejar enfriar la muestra, añadir 5 mL de HNO_3 concentrado. 3, vuelva a colocar la tapa y deje que refluya durante 30 minutos. Si se generan humos marrones, repita indicando la oxidación de la muestra por HNO_3 y hasta 3 este paso (adición de 5 mL de HNO_3 concentrado) sobre 3 que no se desprendan humos marrones de la muestra, lo que indica la reacción completa con HNO_3 . 3 Usando un vidrio de reloj acanalado o un sistema de recuperación de vapor, deje que la solución se evapore hasta aproximadamente 5 mL sin hervir o caliente a $95 \pm 5^\circ\text{C}$ sin hervir durante dos horas. Mantenga una cubierta de solución sobre el fondo del recipiente en todo momento.

**Anexo 8 Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los
Recursos Hídricos Superficiales – ANA (2016).**



6.16. Preservación, llenado de la cadena de custodia, almacenamiento, conservación y transporte de las muestras

a. Preservación

Una vez tomada la muestra de agua, se procede inmediatamente a adicionarle el preservante para los parámetros requeridos de acuerdo con lo indicado en el anexo VII (conservación y preservación de muestra de agua en función del parámetro evaluado). Una vez preservada la muestra, homogenizar y cerrar herméticamente el recipiente. Se deberán considerar las medidas de seguridad en la manipulación de reactivos utilizados (por ejemplo, ácidos, álcalis, formaldehído) teniendo en cuenta las normas de seguridad y protección personal para sustancias químicas siguiendo las recomendaciones de los fabricantes estipuladas en las hojas de seguridad Material Safety Data Sheets (MSDS).



Los reactivos deben manipularse adecuadamente para evitar el contacto con los ojos, labios y la piel (manos), y de esa manera provocar la corrosión. Asimismo, deben tomarse precauciones para evitar la inhalación de gases tóxicos y la ingestión de materiales tóxicos a través de la nariz, la boca y la piel. Por lo cual, es esencial el uso de mascarillas, gafas de seguridad y guantes descartables resistentes a los reactivos; se recomiendan los guantes delgados de nitrilo o vinilo de color verde o celeste.

Las tapas de goma o neopreno o tapas de rosca con empaque son adecuados, siempre que los reactivos no reaccionen con estos materiales.

Durante el trabajo de campo, los reactivos se deben almacenar de forma separada de los recipientes para muestras y otros equipos en un cooler pequeño, limpio y seguro para impedir la contaminación cruzada.



sistema de enfriamiento ($5^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$), refrigerante (ice pack, hielo o similar) o un refrigerador móvil. En el caso de utilizar hielo, colocarlo en bolsas herméticas. Las cajas térmicas (coolers) deberán mantenerse a la sombra para permitir una mayor conservación de la temperatura.

Las muestras deben ser transportadas inmediatamente al laboratorio cumpliendo los tiempos de almacenamiento máximo de cada parámetro de acuerdo con el cuadro del anexo VII (conservación y preservación de muestra de agua en función del parámetro evaluado); para el transporte de las muestras se debe sellar la caja térmica (cooler) de forma que asegure la integridad de la muestras.



Para el envío y traslado de las muestras al laboratorio existen diversos medios (aéreo, terrestre y fluvial); el personal responsable deberá utilizar el medio de comunicación que pueda garantizar las condiciones de tiempo de almacenamiento máximo de cada parámetro.



6.17. Aseguramiento de la calidad del muestreo

Los controles de calidad del proceso de muestreo son el único medio para identificar errores en el proceso de monitoreo; por lo tanto, deben formar parte de cada monitoreo de la calidad del agua y tener sus criterios de aceptación definidos. La utilización de estos controles debe ser incluida en el plan de monitoreo considerando todos los analitos de interés (elementos, compuestos, iones).

Para realizar el control de calidad aplicado al muestreo, se tienen los siguientes blancos y duplicados de acuerdo con las determinaciones analíticas.

Anexo 9 Metodología AOAC (2012) para la digestión y análisis de Pb, Cu, Cd mediante ICP-OES

4.1.11 DETERMINACIÓN DE PLOMO, COBRE Y CADMIO EN TEJIDOS POR ESPECTROMETRÍA DE EMISIÓN ÓPTICA CON PLASMA ACOPLADO INDUCTIVAMENTE (ICP-OES)

1. ALCANCE

Este método es aplicable para la determinación de plomo (Pb), cobre (Cu) y cadmio (Cd) en tejidos de origen animal, como peces y otros organismos acuáticos.

2. PRINCIPIO

La muestra se digiere con ácido nítrico y peróxido de hidrógeno para destruir la materia orgánica y liberar los metales. Los analitos se cuantifican mediante espectrometría de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES). La intensidad de emisión es proporcional a la concentración del analito.

3. EQUIPOS Y MATERIALES

- Espectrómetro ICP-OES
- Sistema de digestión (bloque digestor o placa calefactora)
- Balanza analítica ($\pm 0,1$ mg)
- Material volumétrico clase A
- Vasos de digestión de teflón o vidrio
- Pipetas automáticas y volumétricas
- Papel filtro Whatman N° 42
- Agua ultrapura (resistividad ≥ 18 M Ω ·cm)

4. REACTIVOS

- Ácido nítrico concentrado (HNO₃, 65 %)
- Peróxido de hidrógeno (H₂O₂, 30 %)
- Soluciones estándar multielementales de Pb, Cu y Cd (1000 mg/L)
- Solución de nitrato de itrio (opcional, estándar interno)
- Agua ultrapura

5. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- 5.1 Homogeneizar el tejido y secar a 60 °C hasta peso constante.
- 5.2 Triturar y homogeneizar en un mortero de ágata o molino.

6. DIGESTIÓN DE LA MUESTRA

- 6.1 Pesar 0,50–1,00 g de muestra seca en un vaso de digestión.
- 6.2 Agregar 10 mL de HNO₃ concentrado.
- 6.3 Dejar pre-digerir 30 min a temperatura ambiente.
- 6.4 Calentar suavemente hasta obtener digestión casi completa.
- 6.5 Agregar 3 mL de H₂O₂ al 30 % y continuar la digestión hasta obtener una solución clara.
- 6.6 Enfriar, filtrar si es necesario y transferir cuantitativamente a un matraz aforado de 50 mL.
- 6.7 Aforar con agua ultrapura.

7. CONDICIONES DEL ICP-OES (TÍPICAS)

- Potencia de RF: 1,1–1,3 kW
- Flujo de plasma: 12–15 L/min
- Flujo auxiliar: 0,5 L/min
- Flujo de nebulizador: 0,7–0,9 L/min
- Cámara de nebulización: ciclónica

8. LONGITUDES DE ONDA DE MEDICIÓN

Analito	Longitud de onda (nm)
Plomo (Pb)	220,353
Cobre (Cu)	324,754
Cadmio (Cd)	228,802

9. CURVA DE CALIBRACIÓN

Preparar estándares de trabajo a partir de soluciones patrón (1000 mg/L) en rangos apropiados, por ejemplo: 0,01; 0,05; 0,10; 0,50; 1,00 mg/L. Construir la curva de calibración graficando la intensidad de emisión vs. concentración.

10. CÁLCULOS

La concentración del analito en la muestra se calcula a partir de la curva de calibración y se expresa en mg/kg de peso seco.

11. CONTROL DE CALIDAD

- Incluir blancos de reactivos y blancos de método.
- Analizar materiales de referencia certificados (CRM) cuando estén disponibles.
- Asegurar recuperaciones entre 80–120 %.
- Coeficiente de variación (CV) ≤ 10 %.

12. REFERENCIAS

AOAC INTERNATIONAL. *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 19th ed. Gaithersburg, MD, USA: AOAC International, 2012.

Nota: Este procedimiento se basa en los principios generales descritos en el Capítulo 4: Métodos Químicos, Sección 4.1 (Elementos y Minerales) de la 19ª Edición (2012) de los Métodos Oficiales de AOAC International.

Anexo 10 Calibración de curva para el Cadmio (Cd)

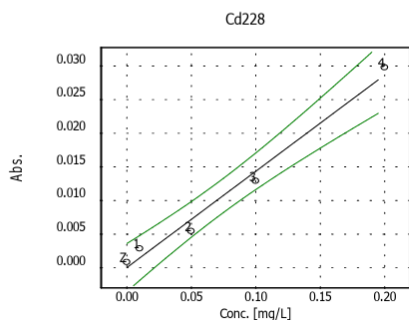
Compute calib. Cd228 Date: 3/14/2025 12:01

Cd228

$R^2(\text{adj.}): 0.967764602$ Slope: 0.14310 Abs./mg/L Char.conc.: 0.03047 mg/L/1%A

Method SD: $y=a+bx$ $a=0.0000405$ $b=0.1431007$

0.01207 mg/L



Anexo 11 Calibración de curva para el Plomo (Pb)

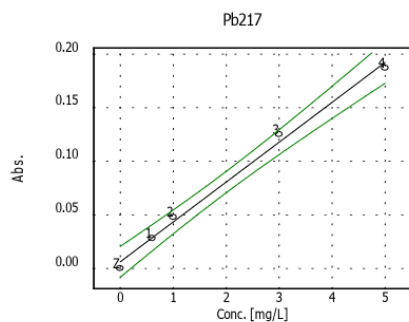
Compute calib. Pb217 Date: 3/14/2025 11:24

Pb217

$R^2(\text{adj.}): 0.988314130$ Slope: 0.03721 Abs./mg/L Char.conc.: 0.11718 mg/L/1%A

Method SD: $y=a+bx$ $a=0.0062673$ $b=0.0372088$

0.18211 mg/L



Anexo 12 Calibración de curva para el Cobre (Cu)

Compute calib.

Cu324

Date:

3/17/2025 10:53

Cu324

$R^2(\text{adj.}): 0.973761476$ Slope: 0.04998 Abs./mg/L Char.conc.: 0.08723 mg/L/1%A

Method SD: $y=a+bx$ $a=0.0067528$ $b=0.0499822$

0.27388 mg/L

