Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América

Dirección General de Estudios de Posgrado
Facultad de Farmacia y Bioquímica
Unidad de Posgrado

Determinación de arsénico, cadmio, mercurio y plomo en truchas de piscigranjas de Lima y Junín, 2021

TESIS

Para optar el Grado Académico de Magíster en Toxicología

AUTOR

Anali Anyela PALACIOS LOZANO

ASESOR

Dr. César Augusto CANALES MARTÍNEZ

Lima, Perú

2026



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Palacios A. Determinación de arsénico, cadmio, mercurio y plomo en truchas de piscigranjas de Lima y Junín, 2021 [Tesis de maestría]. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Farmacia y Bioquímica, Unidad de Posgrado; 2026.

Metadatos complementarios: autor / asesor

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Anali Anyela Palacios Lozano
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	44758489
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0003-2155-4160
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Dr. César Augusto Canales Martínez
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	06269670
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-9933-710X
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Dr. Mario Carhuapoma Yance
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	28297248
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Dr. Mesías Moisés García Ortiz
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	07200816
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Dr. José Antonio Llahuilla Quea
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	09780810
Miembro del jurado 3	
Nombres y apellidos	Mg. Sixto Antonio González Elera
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	08063663

Datos de investigación	
Línea de investigación	B.2.3.2. Toxicología alimentaria
Grupo de investigación	No aplica
Agencia de financiamiento	Autofinanciamiento
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Centro Piscícola El Ingenio Departamento: Junín Provincia: Huancayo Distrito: Ingenio Latitud: -11.881175 Longitud: -75.257411 Piscigranja La Cabaña Departamento: Junín Provincia: Huancayo Distrito: Sapallanga Centro poblado: Miraflores Latitud aproximada: -12.11099 Longitud aproximada: -75.13484 Piscigranja El Pedregal Departamento: Lima Provincia: Yauyos Distrito: Huancaya Latitud: -12.20476 Longitud: -75.80014 Piscigranja Machu El Paraíso Escondido Departamento: Junín Provincia: Huancayo Sector: Machu, carretera Chongos Alto–Huasicancha Latitud referencial: -12.3234 Longitud referencial: -75.2918 Laboratorio: Actlabs Skyline Perú S.A.C. Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: San Miguel Dirección: Calle Martín de Murúa 170–174
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2021
URL de disciplinas OCDE	Toxicología https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#3.01.07 Química analítica https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.04.07

Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Farmacia y Bioquímica
Unidad de Posgrado

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE MAGÍSTER EN TOXICOLOGÍA

Siendo las **11:00 hrs. del 09 de octubre de 2026** se reunieron en el auditorio de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, el Jurado de tesis, presidido por el Dr. Mario Carhuapoma Yance e integrado por los siguientes miembros: Dr. Cesar Augusto Canales Martinez (asesor), Dr. Mesías Moisés García Ortiz, Dr. José Antonio Llahuilla Quea y Mg. Sixto Antonio González Elera; para la sustentación oral y pública de la tesis intitulada: **Determinación de arsénico, cadmio, mercurio y plomo en truchas de piscigranjas de Lima y Junín, 2021,** presentado por la Bachiller en Farmacia y Bioquímica **Anali Anyela Palacios Lozano.**

Acto seguido se procedió a la exposición de la tesis, con el fin de optar al Grado Académico de **Magíster en Toxicología.** Formuladas las preguntas, éstas fueron absueltas por la graduanda.

A continuación el Jurado de la tesis procedió a la calificación, la que dio como resultado el siguiente calificativo:

MUY BUENO – 17 (DIECISIETE).

Luego el Presidente del Jurado recomienda que la Facultad proponga que se le otorgue a la Bachiller en Farmacia y Bioquímica **Anali Anyela Palacios Lozano**, el Grado Académico de **Magíster en Toxicología.**

Se extiende el acta en Lima, a las 12:30 hrs. del 09 de octubre de 2026

Dr. Mario Carhuapoma Yance (P. P. T.C.)
Presidente

Dr. Cesar Augusto Canales Martinez (P. P. T.C.)
Miembro - Asesor

Dr. Mesías Moisés García Ortiz (P. P. T.C.)
Miembro

Dr. José Antonio Llahuilla Quea (P. Asoc. T.C.)
Miembro

Mg. Sixto Antonio González Elera (P. Aux. T.C.)
Mienbro

Observaciones:

Jr. Puno 1002 – Lima 1
Apartado Postal 4559 Lima 1
Teléfono 619-7000 anexo 4812
Email:upg.farmacia@unmsm.edu.pe

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE
SAN MARCOS
Universidad del Perú, Decana de América

Anexo 1

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, Dr. César Augusto Canales Martínez, en mi condición de asesor acreditado con el Dictamen N° 00093/FFB-UPG/2021 de la tesis, cuyo título es: **Determinación de arsénico, cadmio, mercurio y plomo en truchas de piscigranjas de Lima y Junín, 2021,** presentado por la Bach**. Anali Anyela Palacios Lozano**, para optar al Grado Académico de Magíster en Toxicología, CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante la plataforma PIDS, el documento evaluado cuenta con el **20**% de similitud, nivel PERMITIDO para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional.**

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del Grado Académico de Magíster en Toxicología.

Lima, 16 de julio de 2026

Dr. César Augusto Canales Martínez
Profesor Principal TC – Cód. 0A1812
Asesor

Firma del asesor

Dr. César Augusto Canales Martínez

DNI: 06269670

* Según corresponda: bachiller, magíster, doctor; título profesional o título de segunda especialidad

La vigencia del presente certificado corresponde a un período de noventa (90) días desde la fecha de su emisión; siempre que no haya observaciones en el texto durante el proceso de revisión por el jurado informante o surja alguna contingencia.

DEDICATORIA

A ***Dios****,* por guiar cada paso de mi vida y brindarme fortaleza durante este proceso académico.

A mis padres, ***Juan y Doménica*** por su amor, esfuerzo y apoyo incondicional, quienes fueron mi mayor motivación para alcanzar esta meta profesional.

A ***Oliver,*** porque algunas huellas permanecen para siempre en el corazón.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi sincero agradecimiento a la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Farmacia y Bioquímica, Unidad de Posgrado de la Maestría en Toxicología, por la formación académica brindada durante el desarrollo de mis estudios de posgrado.

De igual manera, agradezco al laboratorio Actlabs Skyline Perú S.A.C. por el apoyo técnico brindado para la realización de los análisis correspondientes.

Finalmente, expreso mi profunda gratitud a mis hermanas y personas cercanas por su apoyo incondicional, comprensión y constante motivación a lo largo del desarrollo de la presente investigación.

ÍNDICE

DEDICATORIA 2
AGRADECIMIENTOS 3
RESUMEN 6
ABSTRACT 7
ÍNDICE DE TABLAS 8
ÍNDICE DE FIGURAS 9
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN 10
1.1. Situación problemática 10
1.2. Objetivos de la investigación 11
1.2.1 Objetivo general 11
1.2.2 Objetivos específicos 11
1.3. Justificación de la Investigación 12
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO 14
2.1. Antecedentes de la investigación 14
2.2. Aspectos teóricos 16
2.2.1. Metales pesados 16
2.2.2. Caracterización específica de los elementos estudiados 16
2.2.3. Contaminación de ecosistemas acuáticos 19
2.2.4. Bioacumulación en peces 20
2.2.5. Toxicidad y efectos en salud humana 21
2.2.6. Inocuidad alimentaria y límites máximos permisibles 22
2.2.7. Riesgo toxicológico asociado al consumo de pescado 23
2.2.8. Trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* 24
2.2.9. Trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* como bioindicador 25
2.2.10. Técnicas analíticas para determinación de metales pesados 26
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA 30
3.1. Tipo de investigación 30
3.2. Consideraciones éticas 30
3.3. Diseño de investigación 31
3.4. Unidad de análisis 32
3.5. Población de estudio 32
3.6. Muestra o tamaño de muestra 32

3.7. Criterios de selección 33
3.7.1. Criterios de inclusión 33
3.7.2. Criterios de exclusión 33
3.8. Técnicas o instrumentos de recolección de la información o de datos 34
3.8.1 Fundamento de la espectrofotometría de absorción atómica 35
3.8.2 Fundamento de la espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito 35
3.8.3. Fundamento de la espectrofotometría de absorción atómica con generación de hidruros 36
3.9. Procesamiento de la información o de datos 36
CAPÍTULO IV. RESULTADOS 38
CAPÍTULO V. DISCUSIÓN 52
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES 55
CAPÍTULO VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 56
CAPÍTULO VIII. ANEXOS 60

RESUMEN

Introducción: La presencia de metales pesados en organismos hidrobiológicos constituye un potencial riesgo para la salud pública debido a su persistencia ambiental y capacidad de bioacumulación. **Objetivo:** Determinar las concentraciones de arsénico, cadmio, mercurio y plomo en tejido muscular de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) procedentes de piscigranjas ubicadas en Huancaya, Ingenio, Miraflores y Chongos Alto durante el año 2021. **Métodos:** Estudio cuantitativo, aplicado, observacional, descriptivo y transversal. Se analizaron 16 muestras de tejido muscular mediante espectrofotometría de absorción atómica en un laboratorio acreditado bajo la norma ISO/IEC 17025:2017. **Resultados:** La concentración promedio de arsénico fue mayor en Miraflores (1,020 mg/kg), registrándose valores entre 0,590 y 1,290 mg/kg; cuatro muestras presentaron concentraciones superiores al valor de referencia de 1,00 mg/kg establecido por el Reglamento Técnico MERCOSUR. La concentración promedio de cadmio fue mayor en Ingenio (0,060 mg/kg), registrándose valores entre 0,020 y 0,080 mg/kg; cinco muestras presentaron concentraciones superiores al valor de referencia de 0,050 mg/kg. La concentración promedio de mercurio fue mayor en Ingenio (0,570 mg/kg), registrándose valores entre 0,390 y 0,630 mg/kg; cinco muestras presentaron concentraciones superiores al valor de referencia de 0,500 mg/kg. La concentración promedio de plomo fue mayor en Ingenio (0,350 mg/kg), registrándose valores entre 0,150 y 0,420 mg/kg; seis muestras presentaron concentraciones superiores al valor de referencia de 0,300 mg/kg. **Conclusiones:** Se determinaron concentraciones detectables de arsénico, cadmio, mercurio y plomo en todas las muestras evaluadas. Se evidenciaron diferencias en las concentraciones promedio según zona de procedencia, registrándose el mayor promedio de arsénico en Miraflores y de cadmio, mercurio y plomo en Ingenio. Asimismo, se registraron muestras con concentraciones superiores a los valores de referencia establecidos por el Reglamento Técnico MERCOSUR para los metales evaluados.

Palabras clave: arsénico; cadmio; mercurio; plomo; trucha arcoíris; inocuidad alimentaria.

ABSTRACT

Introduction: The presence of heavy metals in aquatic organisms constitutes a potential risk to public health due to their environmental persistence and bioaccumulative capacity. **Objective:** To determine the concentrations of arsenic, cadmium, mercury, and lead in muscle tissue of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) obtained from fish farms located in Huancaya, Ingenio, Miraflores, and Chongos Alto during 2021. **Methods:** A quantitative, applied, observational, descriptive, and cross-sectional study was conducted. Sixteen muscle tissue samples were analyzed by atomic absorption spectrophotometry in a laboratory accredited under ISO/IEC 17025:2017. **Results:** The highest mean arsenic concentration was recorded in Miraflores (1.020 mg/kg), with values ranging from 0.590 to 1.290 mg/kg; four samples presented concentrations above the reference value of 1.00 mg/kg established by the MERCOSUR Technical Regulation. The highest mean cadmium concentration was recorded in Ingenio (0.060 mg/kg), with values ranging from 0.020 to 0.080 mg/kg; five samples presented concentrations above the reference value of 0.050 mg/kg. The highest mean mercury concentration was recorded in Ingenio (0.570 mg/kg), with values ranging from 0.390 to 0.630 mg/kg; five samples presented concentrations above the reference value of 0.500 mg/kg. The highest mean lead concentration was recorded in Ingenio (0.350 mg/kg), with values ranging from 0.150 to 0.420 mg/kg; six samples presented concentrations above the reference value of 0.300 mg/kg. **Conclusions:** Detectable concentrations of arsenic, cadmium, mercury, and lead were determined in all analyzed samples. Differences in mean concentrations according to sampling area were identified, with the highest mean arsenic concentration recorded in Miraflores and the highest mean cadmium, mercury, and lead concentrations recorded in Ingenio. In addition, samples with concentrations above the reference values established by the MERCOSUR Technical Regulation for the evaluated metals were identified.

Keywords: arsenic; cadmium; mercury; lead; rainbow trout; food safety.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Niveles de arsénico en tejido muscular de trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* procedentes de piscigranjas de Huancaya, Ingenio, Miraflores y Chongos Alto, expresados en mg/kg. 38
Tabla 2. Promedio de los niveles de arsénico en tejido muscular de trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* según lugar de procedencia, expresados en mg/kg. 39
Tabla 3. Niveles de cadmio en tejido muscular de trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* procedentes de piscigranjas de Huancaya, Ingenio, Miraflores y Chongos Alto, expresados en mg/kg. 41
Tabla 4. Promedio de los niveles de cadmio en tejido muscular de trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* según lugar de procedencia, expresados en mg/kg 42
Tabla 5. Niveles de mercurio en tejido muscular de trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* procedentes de piscigranjas de Huancaya, Ingenio, Miraflores y Chongos Alto, expresados en mg/kg. 44
Tabla 6. Promedio de los niveles de mercurio en tejido muscular de trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* según lugar de procedencia, expresados en mg/kg. 45
Tabla 7. Niveles de plomo en tejido muscular de trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* procedentes de piscigranjas de Huancaya, Ingenio, Miraflores y Chongos Alto, expresados en mg/kg. 47
Tabla 8. Promedio de los niveles de plomo en tejido muscular de trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* según lugar de procedencia, expresados en mg/kg. 49
Tabla 9. Resumen comparativo de los niveles de metales pesados en tejido muscular de trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* y su relación con los límites máximos permisibles 50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss*). 25
Figura 2. Concentraciones de arsénico en tejido muscular de trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* según lugar de procedencia. 39
Figura 3: Comparación de los niveles promedio de arsénico en tejido muscular de trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* según lugar de procedencia. 40
Figura 4. Concentraciones de cadmio en tejido muscular de trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* según lugar de procedencia. 42
Figura 5. Comparación de los niveles promedio de cadmio en tejido muscular de trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* según lugar de procedencia. 43
Figura 6. Concentraciones de mercurio en tejido muscular de trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* según lugar de procedencia. 45
Figura 7. Comparación de los niveles promedio de mercurio en tejido muscular de trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* según lugar de procedencia. 46
Figura 8. Concentraciones de plomo en tejido muscular de trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* según lugar de procedencia. 48
Figura 9. Comparación de los niveles promedio de plomo en tejido muscular de trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* según lugar de procedencia. 49

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

La presencia de metales pesados en ecosistemas acuáticos constituye un problema importante debido a que estos contaminantes pueden persistir durante largos periodos en el ambiente y acumularse en organismos que son de consumo humano. Entre los metales de mayor interés toxicológico destacan el arsénico, cadmio, mercurio y plomo, los cuales pueden incorporarse a la cadena alimentaria mediante el consumo de organismos hidrobiológicos contaminados, representando un posible riesgo para la salud pública.[1,2]

La trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* es considerada una de las especies de mayor producción y consumo en zonas altoandinas del Perú, especialmente en regiones donde la actividad acuícola representa una importante fuente económica y alimentaria. Por esta razón, resulta importante evaluar la presencia de contaminantes químicos en tejido muscular destinado al consumo humano, con la finalidad de generar información relacionada con inocuidad alimentaria y vigilancia toxicológica.

En las zonas de Huancaya, Ingenio, Miraflores y Chongos Alto se desarrolla la crianza de trucha arcoíris bajo diferentes condiciones ambientales y acuícolas. Sin embargo, existe limitada información relacionada con la presencia de metales pesados en truchas procedentes de estas zonas de estudio.

En ese contexto, la presente investigación tuvo como objetivo determinar las concentraciones de arsénico, cadmio, mercurio y plomo en tejido muscular de trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* procedente de piscigranjas ubicadas en Huancaya, Ingenio, Miraflores y Chongos Alto durante el año 2021.

1.1. Situación problemática

La contaminación ambiental por metales pesados representa una preocupación de interés sanitario y ambiental debido a su persistencia en el medio ambiente y a su capacidad de incorporarse a la cadena alimentaria.[1,2] En los ecosistemas acuáticos, la presencia de contaminantes químicos puede afectar la calidad de los recursos hidrobiológicos utilizados para consumo humano, representando un posible riesgo para la salud pública.[3]

La trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* es una de las principales especies criadas y comercializadas para consumo humano en el Perú, especialmente en zonas altoandinas

donde la actividad piscícola representa una importante fuente económica y alimentaria.[4,6] Debido a ello, es importante evaluar la inocuidad de este recurso hidrobiológico y determinar la presencia de posibles contaminantes en tejido muscular destinado al consumo.

Entre los contaminantes de mayor interés se encuentran el arsénico, cadmio, mercurio y plomo, debido a sus efectos tóxicos y a la capacidad que presentan para acumularse en organismos acuáticos.[1,2] La presencia de estos metales pesados en peces puede estar relacionada con factores ambientales, actividades antropogénicas y características propias de las fuentes hídricas utilizadas en la actividad acuícola.[7,8]

En Huancaya, Ingenio, Miraflores y Chongos Alto se desarrolla la crianza de trucha arcoíris destinada a la comercialización y consumo humano. Sin embargo, existe limitada información sobre las concentraciones de arsénico, cadmio, mercurio y plomo en tejido muscular de truchas procedentes de estas piscigranjas, lo que dificulta conocer su calidad sanitaria y el posible riesgo asociado a su consumo.

Además, la evaluación de metales pesados en organismos de origen acuático permite verificar el cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos por normativas internacionales relacionadas con inocuidad alimentaria, como el Reglamento Técnico MERCOSUR.[9,11] En ese contexto, surge la necesidad de determinar los niveles de arsénico, cadmio, mercurio y plomo en tejido muscular de trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* procedente de piscigranjas ubicadas en Huancaya, Ingenio, Miraflores y Chongos Alto durante el año 2021.

1.2. Objetivos de la investigación

1.2.1. Objetivo general

Determinar las concentraciones de arsénico, cadmio, mercurio y plomo (mg/kg) en tejido muscular de trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* procedentes de piscigranjas ubicadas en Huancaya, Ingenio, Miraflores y Chongos Alto durante el año 2021.

1.2.2. Objetivos específicos

1. Determinar la concentración de arsénico en truchas arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) procedentes de piscigranjas ubicadas en Huancaya, Ingenio, Miraflores y Chongos Alto

2. Determinar la concentración de cadmio en truchas arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) procedentes de piscigranjas ubicadas en Huancaya, Ingenio, Miraflores y Chongos Alto.
3. Determinar la concentración de mercurio en truchas arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) procedentes de piscigranjas ubicadas en Huancaya, Ingenio, Miraflores y Chongos Alto.
4. Determinar la concentración de plomo en truchas arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) procedentes de piscigranjas ubicadas en Huancaya, Ingenio, Miraflores y Chongos Alto.

1.3. Justificación de la investigación

La evaluación de metales pesados en organismos hidrobiológicos es importante debido a que contaminantes como arsénico, cadmio, mercurio y plomo pueden acumularse en tejidos de consumo humano y generar posibles efectos adversos sobre la salud. En especies de consumo frecuente, como la trucha, la determinación de estos elementos permite conocer la calidad sanitaria del producto y generar información útil para vigilancia toxicológica y calidad del producto.[1,2]

La trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* representa una de las principales especies acuáticas de consumo y comercialización en zonas altoandinas del Perú, por ello es importante evaluar la calidad sanitaria de este recurso destinado a la alimentación humana.[4,6] De igual manera, la determinación de metales pesados en tejido muscular permite generar información relacionada con la presencia de contaminantes químicos en recursos hidrobiológicos procedentes de actividad piscícola.[7,8]

La presente investigación se justifica debido a la limitada información disponible sobre los niveles de arsénico, cadmio, mercurio y plomo en truchas procedentes de piscigranjas ubicadas en Huancaya, Ingenio, Miraflores y Chongos Alto.[12,13] Por ello, los resultados obtenidos aportarán evidencia científica sobre contaminación ambiental, inocuidad alimentaria y vigilancia toxicológica en organismos acuáticos de consumo humano.

Adicionalmente, el estudio permitirá comparar los resultados obtenidos con valores de referencia internacionales relacionados con contaminantes inorgánicos en alimentos, como el Reglamento Técnico MERCOSUR y el Codex Alimentarius, sirviendo como

referencia para futuras investigaciones y entidades vinculadas al control sanitario y ambiental.[9,11]

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Rivas Altez W.[12] realizó un estudio orientado a determinar las concentraciones de arsénico, mercurio y plomo en muestras de trucha, agua y alimento balanceado procedentes de piscigranjas de Oyón, Lima. Para el análisis de los metales pesados se empleó espectrofotometría de absorción atómica y los resultados fueron comparados con los límites máximos permisibles establecidos por SANIPES y Codex Alimentarius. Los hallazgos evidenciaron concentraciones dentro de los valores permitidos para consumo humano, resaltando la importancia del monitoreo toxicológico en alimentos de origen acuático destinados a la alimentación.

Gonzales S.[13] evaluó la bioacumulación de mercurio y cadmio en truchas arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* procedentes de piscigranjas de la región Junín. El estudio utilizó espectrofotometría de absorción atómica para el análisis de las muestras, identificándose diferencias en las concentraciones de ambos metales entre las zonas evaluadas. Los resultados sugieren que las características ambientales y las condiciones de cultivo podrían influir en la acumulación de contaminantes en organismos acuáticos.

Chui HN, Roque B, Huaquisto E.[14] investigaron la presencia de metales pesados en truchas arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* de crianza intensiva procedentes de la zona noroeste del lago Titicaca. Mediante análisis instrumental determinaron concentraciones de arsénico, cadmio, mercurio y plomo en tejido muscular de trucha, observando que los niveles encontrados no superaban los límites máximos permisibles establecidos para organismos hidrobiológicos de consumo humano.

Pantoja Tirado LR.[15] analizó la ecotoxicidad de cursos de agua superficial de la microcuenca del río Upamayo utilizando truchas arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* como bioindicadores ambientales. El estudio incluyó la evaluación de metales pesados en muestras de agua y tejido muscular mediante análisis instrumental, reportándose concentraciones por debajo de los límites máximos permisibles establecidos por SANIPES y MINAM. Los resultados permitieron evidenciar la utilidad de las especies hidrobiológicas como indicadores de contaminación ambiental.

Heshmati A et al.[7] determinaron las concentraciones de metales pesados en muestras de agua y músculo de trucha arcoíris procedentes de piscigranjas en Irán. Para el análisis utilizaron espectrometría de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES). Los resultados mostraron concentraciones inferiores a los límites permisibles internacionales, indicando que las muestras analizadas no representaban un riesgo significativo para el consumo humano.

Solgi E et al.[8] evaluaron las concentraciones de plomo, cobre, zinc y cobalto en truchas arcoíris procedentes de piscigranjas de Irán mediante espectroscopia de absorción atómica. Los resultados evidenciaron concentraciones elevadas de algunos metales pesados en determinadas zonas de estudio, sugiriendo influencia de la calidad ambiental y de las condiciones del ecosistema acuático sobre la acumulación de contaminantes en organismos hidrobiológicos.

Varol M, Kaya GK, Alp A.[16] investigaron las concentraciones de arsénico y otros metales pesados en truchas arcoíris criadas en un reservorio del río Éufrates, Turquía. El análisis instrumental permitió determinar concentraciones de arsénico, cadmio, mercurio y plomo en tejido muscular de trucha. Aunque la mayoría de los valores se encontraron dentro de los límites permisibles establecidos para consumo humano, los autores señalaron que la exposición prolongada podría representar un riesgo potencial en consumidores frecuentes de pescado.

Barszcz AA et al.[17] evaluaron la acumulación de metales pesados en músculo de trucha arcoíris procedente de sistemas acuícolas de Polonia. Los resultados evidenciaron diferencias en las concentraciones de plomo y otros metales pesados según las condiciones de cultivo y la calidad del entorno acuático evaluado.

Mielcarek K et al.[20] evaluaron el contenido de arsénico, cadmio, plomo y mercurio en peces de agua dulce y el riesgo asociado para la salud, resaltando la importancia de monitorear estos contaminantes en productos hidrobiológicos de consumo humano.

2.2. Aspectos teóricos

2.2.1. Metales pesados

Los metales pesados son elementos químicos de importancia toxicológica y ambiental debido a su persistencia en el ambiente y capacidad de bioacumularse en organismos vivos. Aunque algunos pueden encontrarse naturalmente en la corteza terrestre, actividades como minería, agricultura, industria y vertimiento de residuos han incrementado su presencia en diferentes ecosistemas, especialmente en ambientes acuáticos.[1,2]

En el agua, estos contaminantes pueden encontrarse disueltos, asociados a sedimentos o incorporarse a organismos hidrobiológicos mediante procesos de absorción y alimentación. Diversas especies acuáticas tienen la capacidad de acumular metales pesados en tejidos como hígado, branquias y músculo, lo que representa una preocupación sanitaria cuando estos organismos son destinados para consumo humano.[2,27]

Entre los principales metales de interés en toxicología alimentaria destacan el arsénico, cadmio, mercurio y plomo, debido a los efectos adversos que pueden ocasionar sobre distintos órganos y sistemas del organismo humano. La exposición prolongada a estos contaminantes se ha relacionado con alteraciones neurológicas, renales, hematológicas y metabólicas, dependiendo del tipo de metal y tiempo de exposición.[1,18]

En las últimas décadas, el incremento de actividades antropogénicas y la contaminación ambiental han generado preocupación respecto a la calidad sanitaria de recursos hidrobiológicos de consumo humano. Debido a ello, organismos nacionales e internacionales relacionados con vigilancia sanitaria e inocuidad alimentaria, como SANIPES, Codex Alimentarius y MERCOSUR, han establecido medidas y valores de referencia orientados al control de contaminantes químicos en alimentos para consumo humano.[9,11]

2.2.2. Caracterización específica de los elementos evaluados

2.2.2.1. Arsénico

El arsénico es un elemento químico ampliamente distribuido en el medio ambiente que puede encontrarse de forma natural en agua, suelo y sedimentos como consecuencia de

procesos geológicos y actividad volcánica; además, actividades antropogénicas como minería, metalurgia, agricultura e industria contribuyen al incremento de sus concentraciones en diferentes ecosistemas ambientales.[2,19]

En medios acuáticos, el arsénico puede presentarse en formas orgánicas e inorgánicas, siendo estas últimas consideradas de mayor toxicidad para los organismos vivos. La incorporación de este contaminante en organismos hidrobiológicos puede producirse mediante absorción directa desde el agua o a través de la cadena alimentaria, favoreciendo su acumulación en distintos tejidos.[19,20]

La exposición prolongada al arsénico se ha relacionado con efectos tóxicos a nivel dermatológico, gastrointestinal, cardiovascular, neurológico y carcinogénico. Diversos estudios han señalado que la exposición crónica a concentraciones elevadas de arsénico puede generar alteraciones celulares y estrés oxidativo, constituyendo un riesgo potencial para la salud humana.[1,2]

Debido a su importancia toxicológica y ambiental, diferentes organismos internacionales han establecido límites máximos permisibles para arsénico en alimentos de consumo humano, especialmente en productos acuáticos relacionados con exposición alimentaria frecuente.[9,11]

2.2.2.2. Cadmio

El cadmio es un metal pesado de elevada persistencia ambiental que puede incorporarse a ecosistemas acuáticos mediante actividades industriales, agrícolas y contaminación de fuentes hídricas. Este contaminante presenta elevada capacidad de acumulación en sedimentos y organismos acuáticos, favoreciendo su incorporación a la cadena alimentaria.[2,20]

En especies acuáticas el cadmio puede acumularse principalmente en hígado, riñón y músculo, dependiendo de factores relacionados con tiempo de exposición, edad del organismo y condiciones fisicoquímicas del medio acuático. Su capacidad de bioacumulación representa una preocupación relacionada con inocuidad alimentaria y vigilancia toxicológica.[6,20]

La exposición crónica al cadmio se asocia principalmente con alteraciones renales, daño óseo y estrés oxidativo celular. Diversas investigaciones han reportado efectos tóxicos relacionados con alteraciones metabólicas e inmunológicas en exposiciones prolongadas.[2,18]

2.2.2.3. Mercurio

El mercurio es considerado uno de los metales pesados de mayor toxicidad debido a su capacidad de transformación y biomagnificación en ecosistemas acuáticos. Este contaminante puede incorporarse al ambiente por actividades industriales, minería y procesos naturales, distribuyéndose posteriormente en agua, sedimentos y organismos vivos.[21,22]

En medios acuáticos, determinados microorganismos transforman el mercurio inorgánico en metilmercurio, compuesto caracterizado por elevada toxicidad y gran capacidad de acumulación en organismos hidrobiológicos. Debido a ello, los peces constituyen una de las principales fuentes de exposición alimentaria al mercurio en seres humanos.[21,22]

La exposición prolongada al mercurio puede generar efectos tóxicos principalmente sobre el sistema nervioso central, además de alteraciones renales e inmunológicas. La toxicidad del metilmercurio representa una preocupación importante relacionada con salud pública, especialmente en poblaciones con elevado consumo de organismos hidrobiológicos.[1,22]

2.2.2.4. Plomo

El plomo es un metal pesado ampliamente distribuido en el ambiente debido a actividades antropogénicas relacionadas con minería, combustibles, agricultura e industria. Este contaminante puede ingresar a ecosistemas acuáticos mediante vertimientos y contaminación ambiental de fuentes hídricas, favoreciendo posteriormente su incorporación en organismos acuáticos destinados al consumo humano.[2,24]

En organismos hidrobiontes, el plomo puede acumularse en diferentes tejidos dependiendo del tiempo de exposición y concentración ambiental. Diversos estudios han señalado que la contaminación por plomo en ecosistemas acuáticos representa un problema relacionado con seguridad alimentaria y salud pública.[17,24]

La exposición crónica al plomo puede afectar principalmente el sistema nervioso, hematológico y renal. Cabe señalar que la toxicidad de este metal pesado puede generar alteraciones neurológicas y metabólicas, especialmente en exposiciones prolongadas y poblaciones vulnerables.[23,25]

2.2.3. Contaminación de ecosistemas acuáticos

La contaminación de ecosistemas acuáticos por metales pesados se considera una problemática ambiental de importancia mundial debido a la persistencia y capacidad de dispersión de estos contaminantes en cuerpos de agua superficiales y subterráneos. Diversas actividades antropogénicas, como minería, agricultura, industria, vertimiento de residuos y uso de fertilizantes químicos, contribuyen al incremento de concentraciones de metales pesados en ambientes acuáticos, afectando la calidad del agua y de los organismos que habitan en estos ecosistemas.[3,19]

En medios acuáticos, los metales pesados pueden encontrarse disueltos en el agua, asociados a partículas suspendidas o acumulados en sedimentos. Los sedimentos representan uno de los principales reservorios de contaminantes debido a su capacidad para retener metales pesados durante largos periodos, favoreciendo posteriormente su incorporación en organismos acuáticos mediante procesos biológicos y tróficos.[21,25]

La presencia de metales pesados en ecosistemas acuáticos depende de diversos factores fisicoquímicos como pH, temperatura, oxígeno disuelto, salinidad y composición mineral del agua. Estas condiciones influyen en la movilidad, biodisponibilidad y toxicidad de los contaminantes, determinando su capacidad de acumulación en organismos hidrobiológicos.[6,7]

Los organismos acuáticos expuestos a contaminación por metales pesados pueden presentar alteraciones fisiológicas, metabólicas y reproductivas relacionadas con procesos de estrés oxidativo y toxicidad celular. Cabe destacar que la acumulación de contaminantes en peces de consumo humano representa una preocupación relacionada con salud pública debido a la posibilidad de transferencia de metales pesados a través de la cadena alimentaria.[1,20]

En el Perú, los recursos hídricos utilizados para actividades piscícolas pueden verse influenciados por actividades mineras, agrícolas y descargas contaminantes, motivo por el cual la vigilancia ambiental y sanitaria de recursos hidrobiológicos representa una medida importante para la evaluación de riesgos asociados a contaminación química y seguridad alimentaria.[3,10]

2.2.4. Bioacumulación en peces

La bioacumulación es el proceso mediante el cual determinadas sustancias químicas presentes en el ambiente se incorporan progresivamente en los organismos vivos cuando su velocidad de ingreso supera su eliminación. En ecosistemas acuáticos, los metales pesados pueden ingresar a los peces a través del agua, sedimentos y alimentación, favoreciendo su acumulación en diferentes tejidos biológicos.[2,6]

Los peces son utilizados como organismos de interés en estudios de bioacumulación debido a su capacidad para incorporar contaminantes presentes en el medio acuático. La concentración de metales pesados en sus tejidos puede variar según factores como tiempo de exposición, concentración del contaminante, calidad del agua y características del ecosistema.[7,16]

El tejido muscular representa una de las matrices biológicas de mayor importancia sanitaria, debido a que se considera la principal porción destinada al consumo humano. Por ello, la determinación de metales pesados en músculo de peces permite estimar posibles riesgos asociados a exposición alimentaria y evaluar la calidad sanitaria de estos productos.[17,20]

El proceso de bioacumulación se encuentra estrechamente relacionado con la biomagnificación trófica, fenómeno mediante el cual la concentración de contaminantes aumenta progresivamente a medida que se asciende en la cadena alimentaria. Debido a ello, especies hidrobiológicas destinadas al consumo humano pueden actuar como vehículos de exposición a metales pesados cuando habitan en ecosistemas contaminados.[22,25]

En peces de cultivo, la acumulación de metales pesados puede estar influenciada por factores relacionados con calidad del agua, composición del alimento balanceado,

características del sistema acuícola y condiciones ambientales del entorno. Por esta razón, la vigilancia de contaminantes químicos en organismos acuáticos implica una medida importante relacionada con inocuidad alimentaria, salud pública y control sanitario.[6,12]

2.2.5. Toxicidad y efectos en salud humana

La exposición a metales pesados constituye un problema de importancia sanitaria debido a los efectos tóxicos que estos contaminantes pueden producir sobre diferentes órganos y sistemas del organismo humano. La toxicidad depende de factores como tipo de metal, concentración, tiempo de exposición, vía de ingreso y susceptibilidad individual. Entre las principales vías de exposición se encuentran el consumo de agua y alimentos contaminados, especialmente organismos acuáticos procedentes de ecosistemas acuáticos expuestos a contaminación ambiental.[1,2]

El arsénico se encuentra asociado a efectos tóxicos dermatológicos, gastrointestinales, cardiovasculares y neurológicos. La exposición prolongada puede generar alteraciones celulares relacionadas con estrés oxidativo y daño tisular, además de incrementar el riesgo de enfermedades crónicas y procesos carcinogénicos.[1,18]

El cadmio presenta elevada afinidad por tejidos renales y óseos, motivo por el cual la exposición crónica se relaciona principalmente con nefrotoxicidad, alteraciones metabólicas y desmineralización ósea. Diferentes investigaciones han descrito efectos asociados con estrés oxidativo y alteraciones celulares derivadas de exposiciones prolongadas a este metal pesado.[20,21]

El mercurio, especialmente en su forma orgánica como metilmercurio, posee elevada capacidad neurotóxica debido a su facilidad para atravesar barreras biológicas y acumularse en tejido nervioso. La exposición prolongada puede producir alteraciones neurológicas, sensoriales e inmunológicas, siendo considerada una de las principales preocupaciones relacionadas con contaminación alimentaria en recursos hidrobiológicos.[21,22]

Por otro lado, la toxicidad del plomo afecta principalmente el sistema nervioso, hematológico y renal. La exposición prolongada a este contaminante puede producir alteraciones cognitivas, metabólicas y hematológicas, especialmente en población infantil

y grupos vulnerables. Debido a ello, organismos internacionales han establecido medidas orientadas al control de la exposición alimentaria a este metal pesado.[23,25]

La presencia de metales pesados en alimentos de consumo humano representa una preocupación relacionada con inocuidad alimentaria y salud pública, debido a la posibilidad de exposición crónica a bajas concentraciones de contaminantes químicos. En ese contexto, la vigilancia toxicológica y el monitoreo de recursos hidrobiológicos desempeñan un papel importante en la prevención de riesgos asociados con contaminación ambiental y seguridad alimentaria.[1,10]

2.2.6. Inocuidad alimentaria y límites máximos permisibles

La inocuidad alimentaria incluye el conjunto de condiciones y medidas necesarias para garantizar que los alimentos no representen riesgos para la salud del consumidor cuando son preparados y consumidos de acuerdo con su uso previsto. En productos acuáticos, la vigilancia de contaminantes químicos se considera un aspecto importante relacionado con salud pública y control sanitario debido a la posibilidad de exposición alimentaria a sustancias tóxicas presentes en ecosistemas acuáticos contaminados.[10,11]

Los metales pesados representan uno de los principales contaminantes químicos de interés en inocuidad alimentaria debido a su persistencia en el ambiente y capacidad para acumularse en organismos de consumo humano. La exposición prolongada a concentraciones elevadas de arsénico, cadmio, mercurio y plomo puede generar efectos tóxicos sobre diferentes órganos y sistemas del organismo humano, motivo por el cual organismos nacionales e internacionales han establecido medidas orientadas al control sanitario de alimentos.[1,2]

Los límites máximos permisibles constituyen valores de referencia establecidos a partir de evaluaciones toxicológicas y criterios de riesgo alimentario, permitiendo determinar concentraciones aceptables de contaminantes químicos en alimentos. Estos valores son utilizados como herramientas de vigilancia sanitaria para prevenir efectos adversos relacionados con exposición crónica a contaminantes ambientales y fortalecer las medidas de control relacionadas con seguridad alimentaria.[9,11]

En el Perú, SANIPES representa la autoridad competente en vigilancia sanitaria e inocuidad de productos hidrobiológicos para consumo humano, con la finalidad de proteger la salud pública y garantizar la inocuidad de alimentos procedentes de actividad pesquera y acuícola.[10]

Organismos internacionales como Codex Alimentarius y MERCOSUR han establecido valores de referencia para contaminantes inorgánicos en alimentos, permitiendo estandarizar criterios relacionados con seguridad alimentaria, vigilancia toxicológica y control sanitario en productos de consumo humano.[9,11]

En productos acuáticos, el análisis de tejido muscular adquiere especial importancia debido a que representa la principal porción destinada al consumo humano. Por ello, la determinación de contaminantes químicos en este tejido permite evaluar la calidad sanitaria de organismos acuáticos y verificar el cumplimiento de estándares relacionados con inocuidad alimentaria y seguridad alimentaria.[17,20]

Diversas investigaciones resaltan la importancia del monitoreo periódico de contaminantes químicos en organismos hidrobiológicos procedentes de sistemas acuícolas y ecosistemas naturales, debido a la influencia de factores ambientales y antropogénicos sobre la calidad sanitaria de alimentos de consumo humano.[21,27]

2.2.7. Riesgo toxicológico asociado al consumo de pescado

El consumo de pescado es una importante fuente de proteínas, ácidos grasos esenciales, vitaminas y minerales para la alimentación humana. Sin embargo, la presencia de contaminantes químicos como arsénico, cadmio, mercurio y plomo en estos alimentos representa una preocupación relacionada con inocuidad alimentaria y salud pública debido a la posibilidad de exposición crónica a metales pesados mediante el consumo frecuente.[1,2]

Los ecosistemas acuáticos contaminados pueden favorecer la incorporación y acumulación de metales pesados en peces de consumo humano. Debido a ello, diferentes investigaciones han señalado que la exposición alimentaria prolongada a concentraciones elevadas de contaminantes metálicos puede generar efectos tóxicos sobre sistemas

neurológico, renal, hematológico e inmunológico, dependiendo del tipo de metal, concentración y tiempo de exposición.[16,22]

La evaluación del riesgo toxicológico asociado al consumo de pescado permite estimar posibles efectos adversos derivados de la exposición alimentaria a contaminantes químicos presentes en tejido muscular de biota acuática. En ese contexto, organismos nacionales e internacionales han establecido criterios y valores de referencia relacionados con vigilancia sanitaria e inocuidad alimentaria.[9,11]

Diversos estudios relacionados con evaluación de riesgo alimentario y presencia de metales pesados en peces comerciales han resaltado la importancia del monitoreo periódico de contaminantes en organismos acuáticos, especialmente en especies de amplia comercialización y consumo frecuente, debido a la capacidad de estos contaminantes para persistir y transferirse a través de la cadena alimentaria.[20,26]

2.2.8. Trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)*

La trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* es una especie hidrobiológica de agua dulce originaria de Norteamérica y ampliamente distribuida a nivel mundial debido a su importancia económica, nutricional y alimentaria. En el Perú, su introducción favoreció el desarrollo de la acuicultura en zonas altoandinas, convirtiéndose en una de las principales especies destinadas a producción y consumo humano.[4,6]

Esta especie presenta elevada capacidad de adaptación a ecosistemas de agua fría y buenas características productivas, factores que han favorecido su cultivo en diferentes regiones del país. La trucha arcoíris es considerada una importante fuente de proteína de alto valor biológico, motivo por el cual su producción y comercialización representan actividades relevantes para el abastecimiento alimentario y desarrollo económico regional.[4,6]

Taxonómicamente, la trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* pertenece al reino Animalia, filo Chordata, clase Actinopterygii, orden Salmoniformes, familia Salmonidae, género *Oncorhynchus* y especie *Oncorhynchus mykiss*.[4]

Diversas investigaciones han señalado que la trucha arcoíris presenta sensibilidad frente a alteraciones en la calidad del agua y capacidad para incorporar contaminantes presentes

en ecosistemas acuáticos, especialmente metales pesados. Debido a ello, esta especie ha sido utilizada en estudios relacionados con contaminación ambiental, bioacumulación y vigilancia toxicológica en organismos hidrobiológicos de consumo humano.[7,27]

El tejido muscular es considerado una de las principales estructuras de interés sanitario debido a que representa la porción destinada al consumo humano. Por esta razón, la determinación de contaminantes químicos en músculo de trucha arcoíris permite evaluar la calidad sanitaria de productos acuáticos y estimar posibles riesgos asociados a exposición alimentaria a metales pesados.[12,14]

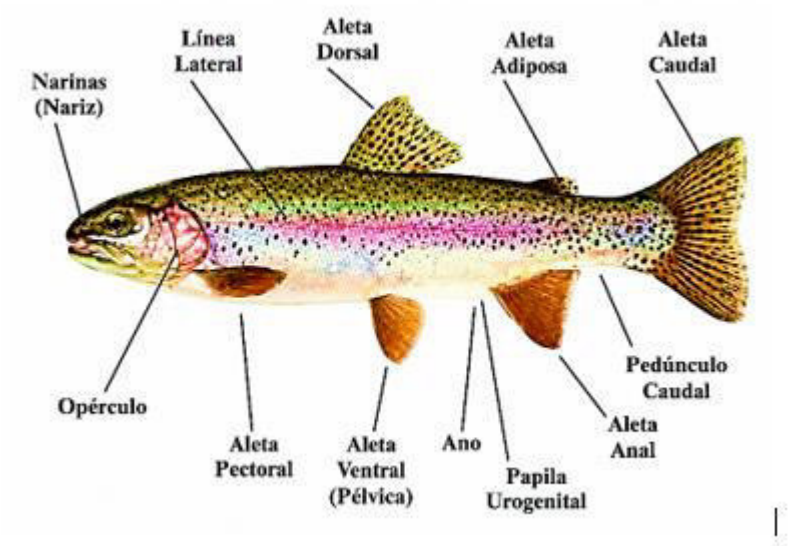


Figura 1. Trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss*).
Fuente: Ministerio de la Producción del Perú.[4]

2.2.9. Trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* como bioindicador

La trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* es considerada una especie de importancia en estudios ambientales y toxicológicos debido a su sensibilidad frente a alteraciones en la calidad del agua y a su capacidad para incorporar contaminantes presentes en ecosistemas acuáticos. Estas características han permitido que sea utilizada como bioindicador en investigaciones relacionadas con contaminación ambiental y vigilancia ecotoxicológica.[6,27]

Los bioindicadores son organismos capaces de proporcionar información sobre las condiciones ambientales de un ecosistema mediante la evaluación de alteraciones

fisiológicas, bioquímicas y acumulación de contaminantes en sus tejidos biológicos. En ecosistemas acuáticos, la utilización de peces como bioindicadores permite evaluar la presencia de contaminantes químicos y estimar el impacto de la contaminación sobre organismos vivos y recursos destinados al consumo humano.[27,28]

Diversas investigaciones ecotoxicológicas han señalado que los peces constituyen organismos centinela útiles para la evaluación de contaminación ambiental debido a su capacidad para responder fisiológica y bioquímicamente frente a exposición a contaminantes químicos presentes en ecosistemas acuáticos.[28,29]

Investigaciones han reportado que la trucha arcoíris posee capacidad para acumular metales pesados en distintos tejidos biológicos, principalmente en hígado, riñón, branquias y músculo. La acumulación de contaminantes depende de factores como concentración ambiental, tiempo de exposición, calidad del agua, alimentación y condiciones fisicoquímicas del ecosistema acuático.[16,29]

El tejido muscular representa una de las estructuras de mayor interés sanitario debido a que es considerado la principal porción destinada al consumo humano. Por ello, la determinación de arsénico, cadmio, mercurio y plomo en músculo de trucha arcoíris permite evaluar posibles riesgos asociados a exposición alimentaria a contaminantes químicos y verificar la calidad sanitaria en alimentos de origen acuático.[12,14]

Investigaciones experimentales desarrolladas en trucha arcoíris han reportado alteraciones fisiológicas e histopatológicas relacionadas con exposición a metales pesados, evidenciando cambios en tejidos y funciones biológicas asociados a procesos de toxicidad celular y estrés oxidativo.[28,30]

Debido a estas características, la trucha arcoíris presenta utilidad en estudios relacionados con contaminación ambiental, bioacumulación y vigilancia sanitaria de ecosistemas acuáticos destinados a la producción alimentaria y al consumo humano.[6,27]

2.2.10. Técnicas analíticas para determinación de metales pesados

La determinación de metales pesados en muestras biológicas y ambientales requiere el empleo de técnicas analíticas instrumentales que permitan identificar y cuantificar concentraciones de contaminantes con adecuada sensibilidad, precisión y exactitud. Estas

metodologías son ampliamente utilizadas en estudios relacionados con toxicología, vigilancia sanitaria, inocuidad alimentaria y control ambiental.[31,32]

El análisis de metales pesados en organismos comprende diferentes etapas, entre ellas recolección de muestras, preparación, digestión y cuantificación instrumental. La adecuada ejecución de cada procedimiento es importante para garantizar confiabilidad y reproducibilidad de los resultados obtenidos durante el análisis químico.[31]

En muestras biológicas como músculo de peces, la preparación de muestras generalmente incluye procesos de homogeneización y digestión ácida con la finalidad de liberar los metales presentes en la matriz biológica y facilitar su posterior cuantificación instrumental. Diversos métodos emplean mezclas de ácidos concentrados y calentamiento controlado para lograr la mineralización de las muestras analizadas.[32,33]

Entre las principales técnicas utilizadas para determinación de metales pesados se encuentra la espectrofotometría de absorción atómica, método ampliamente empleado debido a su sensibilidad y capacidad para cuantificar elementos metálicos en concentraciones bajas. Esta técnica se basa en la absorción de radiación electromagnética por átomos libres en estado gaseoso, lo que permite determinar concentraciones específicas de diferentes metales presentes en una muestra.[31,33]

La espectrofotometría de absorción atómica puede emplear diferentes sistemas de atomización, entre ellos llama y horno de grafito, dependiendo del tipo de muestra y concentración del analito. Su aplicación en análisis toxicológicos y ambientales ha permitido la determinación de arsénico, cadmio, mercurio y plomo en diferentes matrices biológicas y ambientales relacionadas con estudios de contaminación y vigilancia sanitaria.[6,15]

La validación y control de calidad analítica constituyen aspectos importantes durante el análisis instrumental, debido a que permiten garantizar precisión, exactitud y confiabilidad de los resultados obtenidos. Para ello, se utilizan procedimientos relacionados con calibración instrumental, empleo de blancos, estándares de referencia y control de interferencias analíticas.[31,33]

2.2.10.1. Digestión ácida de muestras

La digestión ácida es uno de los procedimientos más utilizados para la preparación de muestras biológicas y ambientales destinadas al análisis de metales pesados. Este proceso tiene como finalidad descomponer la materia orgánica presente en la muestra y liberar los elementos metálicos contenidos en la matriz biológica, facilitando posteriormente su cuantificación mediante técnicas instrumentales.[31,32]

En muestras biológicas como tejido muscular de peces, la digestión ácida generalmente emplea ácidos concentrados y calentamiento controlado para lograr la mineralización de la muestra. Entre los reactivos más utilizados se encuentran ácido nítrico, ácido sulfúrico y ácido perclórico, debido a su capacidad oxidante y eficiencia para degradar compuestos orgánicos presentes en matrices biológicas.[32,34]

La adecuada preparación de muestras representa un aspecto importante durante el análisis toxicológico y ambiental debido a que influye directamente sobre la precisión, exactitud y confiabilidad de los resultados analíticos obtenidos. La digestión ácida permite reducir interferencias derivadas de la matriz biológica y mejorar la sensibilidad durante la cuantificación instrumental de metales pesados.[31,33]

2.2.10.2. Espectrofotometría de absorción atómica

La espectrofotometría de absorción atómica es una técnica instrumental ampliamente utilizada para la determinación de metales pesados en muestras biológicas, ambientales y alimentarias debido a su sensibilidad, precisión y capacidad para cuantificar elementos metálicos en concentraciones bajas.[31,33]

El fundamento de esta técnica se basa en la absorción de radiación electromagnética por átomos libres en estado gaseoso. Cada elemento químico absorbe radiación a longitudes de onda específicas, permitiendo identificar y cuantificar concentraciones de metales presentes en una muestra determinada.[31]

La espectrofotometría de absorción atómica puede emplear diferentes sistemas de atomización, entre ellos llama y horno de grafito, dependiendo del tipo de muestra y concentración del analito. Su aplicación en estudios toxicológicos y ambientales ha

permitido la determinación de arsénico, cadmio, mercurio y plomo en diferentes matrices relacionadas con vigilancia sanitaria, inocuidad alimentaria y control ambiental.[6,15]

Debido a su sensibilidad analítica y confiabilidad, esta técnica forma parte de uno de los métodos más utilizados para el análisis de contaminantes metálicos en organismos hidrobiológicos de interés alimentario.[31,33]

2.2.10.3. Cuantificación instrumental

La cuantificación instrumental de metales pesados comprende el conjunto de procedimientos analíticos orientados a determinar la concentración de elementos metálicos presentes en una muestra mediante técnicas instrumentales calibradas y validadas.[31,32]

Durante el análisis instrumental, la determinación cuantitativa de los analitos se realiza mediante comparación de la señal obtenida en la muestra con estándares de concentración conocida, permitiendo establecer curvas de calibración para la cuantificación de los elementos evaluados. Estos procedimientos permiten obtener resultados analíticos con adecuada sensibilidad y exactitud.[31,33]

La confiabilidad de los resultados instrumentales depende de diferentes factores relacionados con calibración del equipo, control de calidad analítica, empleo de blancos, estándares de referencia y control de posibles interferencias analíticas. Por ello, la validación de los procedimientos analíticos constituye una etapa importante en estudios relacionados con análisis toxicológico, vigilancia sanitaria y determinación de contaminantes químicos.[32,34]

Cabe señalar que la cuantificación instrumental de arsénico, cadmio, mercurio y plomo en organismos hidrobiológicos permite evaluar concentraciones de contaminantes presentes en tejidos de consumo humano y comparar los resultados obtenidos con límites máximos permisibles establecidos por organismos nacionales e internacionales relacionados con inocuidad alimentaria y salud pública.[9,11]

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo de investigación

La presente investigación fue de tipo aplicada, debido a que estuvo orientada a generar conocimiento relacionado con la determinación de arsénico, cadmio, mercurio y plomo en truchas arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* destinadas al consumo humano, con fines de evaluación toxicológica, vigilancia sanitaria e inocuidad alimentaria.[35,36]

La investigación aplicada utiliza conocimientos científicos y metodológicos para abordar problemas relacionados con salud pública, contaminación ambiental y seguridad alimentaria, lo que permite generar información útil para la evaluación de riesgos y toma de decisiones en el ámbito sanitario y ambiental.[35,36]

De acuerdo con ello, el estudio presentó un enfoque cuantitativo debido a que se realizó la medición y análisis de concentraciones de metales pesados mediante técnicas instrumentales de laboratorio, obteniéndose resultados expresados en valores numéricos susceptibles de análisis estadístico e interpretación toxicológica.[31,35]

3.2. Consideraciones éticas

La presente investigación se desarrolló respetando principios éticos relacionados con integridad científica, veracidad de los resultados, manejo responsable de la información y transparencia durante el desarrollo del estudio. Las muestras biológicas analizadas correspondieron a truchas arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* destinadas al consumo humano, obtenidas con fines exclusivos de investigación académica y evaluación toxicológica.

Las muestras fueron obtenidas durante actividades regulares de comercialización y producción acuícola, sin intervención experimental sobre los sistemas de crianza evaluados.

El estudio no involucró procedimientos experimentales en animales vivos ni intervenciones que comprometieran el bienestar animal, debido a que las muestras analizadas correspondieron a tejido muscular obtenido de ejemplares destinados a

comercialización y consumo humano. Por ello, la investigación fue desarrollada respetando principios relacionados con responsabilidad científica y ética en investigación.

Los análisis químicos fueron realizados por Actlabs Skyline Perú S.A.C., laboratorio acreditado bajo la norma ISO/IEC 17025:2017, certificación internacional que garantiza competencia técnica y cumplimiento de procedimientos relacionados con control de calidad analítica y validación de métodos instrumentales.

Como parte de la validación taxonómica, la identificación de la especie hidrobiológica fue realizada por un profesional competente mediante evaluación de características morfológicas y criterios taxonómicos correspondientes a *Oncorhynchus mykiss.*

La información obtenida en la investigación fue utilizada únicamente con fines académicos y científicos, garantizando el adecuado manejo de los resultados obtenidos y el respeto de principios éticos aplicados a investigación científica.

Declaración de conflicto de intereses

La autora declara no presentar conflicto de intereses económico, institucional ni personal relacionado con el desarrollo de la presente investigación.

3.3. Diseño de investigación

La investigación presentó un diseño observacional, descriptivo y transversal. [35,36]

Fue observacional debido a que no existió manipulación deliberada de las variables durante el desarrollo del estudio, limitándose la investigación a la determinación analítica de las concentraciones de arsénico, cadmio, mercurio y plomo presentes en muestras de músculo de trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* procedentes de piscigranjas de las zonas evaluadas.[35,36]

La investigación presentó un enfoque descriptivo, debido a que estuvo orientado a identificar y describir los niveles de metales pesados presentes en las muestras analizadas, así como realizar la comparación de los resultados obtenidos con los valores de referencia establecidos por normativas internacionales relacionadas con contaminantes inorgánicos en alimentos.[9,11]

El estudio fue de corte transversal debido a que la recolección de las muestras correspondió a un único periodo del año 2021, sin realizar seguimiento longitudinal de las unidades de estudio.[35,36]

3.4. Unidad de análisis

La unidad de análisis estuvo constituida por muestras de tejido muscular de trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* procedentes de piscigranjas ubicadas en Huancaya, Ingenio, Miraflores y Chongos Alto, recolectadas durante el año 2021.

El tejido muscular fue seleccionado debido a que corresponde a la principal porción destinada al consumo humano y a una de las matrices biológicas de mayor interés en estudios relacionados con inocuidad alimentaria, vigilancia toxicológica y evaluación de contaminantes químicos en productos de origen acuático.[17,20]

3.5. Población de estudio

La población de estudio estuvo conformada por truchas arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* procedentes de piscigranjas ubicadas en Huancaya, Ingenio, Miraflores y Chongos Alto, durante el año 2021.

La población incluyó ejemplares procedentes de sistemas de producción acuícola de las zonas de estudio y utilizados para consumo humano, considerados de interés para la evaluación de arsénico, cadmio, mercurio y plomo en tejido muscular con fines de vigilancia toxicológica e inocuidad alimentaria.[4,6]

3.6. Muestra o tamaño de muestra

La muestra estuvo conformada por 16 muestras de tejido muscular de trucha arcoíris (Oncorhynchus mykiss), recolectadas en piscigranjas ubicadas en Huancaya, Ingenio, Miraflores y Chongos Alto, durante el año 2021.

Se recolectaron cuatro muestras por cada zona de estudio (Huancaya, Ingenio, Miraflores y Chongos Alto) para la determinación de arsénico, cadmio, mercurio y plomo mediante espectrofotometría de absorción atómica.

El muestreo fue de tipo no probabilístico por conveniencia. Las muestras fueron remitidas al laboratorio para su procesamiento instrumental, manteniéndose durante todo el proceso las condiciones adecuadas de conservación, identificación y trazabilidad.[35,36]

3.7. Criterios de selección

3.7.1. Criterios de inclusión

- Truchas arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) destinadas al consumo humano y procedentes de piscigranjas ubicadas en Huancaya, Ingenio, Miraflores y Chongos Alto, recolectadas durante el año 2021.
- Ejemplares de trucha que presentaron condiciones adecuadas de conservación y manipulación al momento de la obtención de las muestras.
- Muestras de tejido muscular obtenidas y acondicionadas adecuadamente para la determinación de arsénico, cadmio, mercurio y plomo mediante espectrofotometría de absorción atómica.
- Muestras que contaron con adecuada identificación, conservación y trazabilidad durante las etapas de recolección, almacenamiento, transporte y procesamiento analítico.
- Muestras que cumplieron con las condiciones necesarias para garantizar la confiabilidad y calidad del análisis toxicológico realizado en laboratorio acreditado.

3.7.2. Criterios de exclusión

- Truchas que presentaron alteraciones físicas, signos evidentes de deterioro o condiciones inadecuadas de conservación que pudieran comprometer la calidad de la muestra biológica.
- Muestras de tejido muscular insuficientes o que no cumplieron con las condiciones requeridas para el procesamiento analítico instrumental.
- Muestras que presentaron contaminación, pérdida de identificación o alteración durante las etapas de conservación, transporte, almacenamiento o análisis.
- Muestras que no cumplieron con los criterios establecidos para garantizar confiabilidad, trazabilidad y calidad de los resultados toxicológicos obtenidos.

Las muestras mantuvieron condiciones adecuadas para garantizar la confiabilidad del procesamiento analítico.

3.8. Técnicas o instrumentos de recolección de la información o de datos

Para la obtención de los datos se empleó como técnica analítica la espectrofotometría de absorción atómica, utilizada para la determinación cuantitativa de arsénico, cadmio, mercurio y plomo en muestras de tejido muscular de trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss*).[31,33]

El análisis de las muestras fue realizado en el laboratorio Actlabs Skyline Perú S.A.C., acreditado bajo la norma ISO/IEC 17025:2017, garantizando la competencia técnica y la confiabilidad de los resultados obtenidos. Durante las etapas de recolección, conservación, almacenamiento y transporte se mantuvieron condiciones adecuadas para preservar la integridad y trazabilidad de las muestras hasta su procesamiento analítico. Las muestras fueron debidamente identificadas y acondicionadas para evitar alteraciones que pudieran comprometer la validez de los resultados obtenidos. Asimismo, el laboratorio aplicó procedimientos de aseguramiento y control de calidad analítica conforme a los estándares establecidos para laboratorios acreditados bajo la norma ISO/IEC 17025:2017.

Las muestras fueron sometidas a un proceso de digestión previa del tejido muscular con la finalidad de obtener soluciones aptas para el análisis instrumental de los metales pesados evaluados. Posteriormente, la determinación analítica se realizó mediante espectrofotometría de absorción atómica utilizando metodologías específicas según el elemento analizado, conforme al Informe de Ensayo N.° P21-892 emitido por el laboratorio Actlabs Skyline Perú S.A.C.

• Plomo (Pb) y cadmio (Cd): mediante absorción atómica con horno de grafito (HG-AAS).
• Arsénico (As) y mercurio (Hg): mediante absorción atómica con generación de hidruros (GH-AAS).

El equipo instrumental fue calibrado mediante soluciones patrón certificadas y se aplicaron procedimientos de control de calidad analítica, incluyendo uso de blancos y

estándares de referencia, con la finalidad de garantizar precisión, exactitud y confiabilidad de los resultados analíticos obtenidos.[31,33]

Los resultados obtenidos fueron reportados en el Informe de Ensayo N.° P21-892 emitido por el laboratorio Actlabs Skyline Perú S.A.C.

3.8.1 Fundamento de la espectrofotometría de absorción atómica

La espectrofotometría de absorción atómica es una técnica analítica ampliamente utilizada para la determinación de metales en matrices biológicas y ambientales, basada en la capacidad de los átomos libres en estado gaseoso para absorber radiación electromagnética a longitudes de onda específicas. La cantidad de energía absorbida es proporcional a la concentración del elemento presente en la muestra, de acuerdo con los principios establecidos por la ley de Beer-Lambert.[31,33]

Esta técnica se caracteriza por presentar adecuada sensibilidad, selectividad y precisión para la cuantificación de elementos metálicos en concentraciones bajas, siendo ampliamente utilizada en estudios relacionados con toxicología, inocuidad alimentaria y vigilancia ambiental.[31,33]

3.8.2 Fundamento de la espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito

La espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito es una variante instrumental que permite la atomización de la muestra mediante calentamiento programado en un tubo de grafito bajo condiciones controladas de temperatura. Este procedimiento incrementa significativamente la sensibilidad analítica del método y permite la determinación de metales presentes en concentraciones traza.[31,33]

La técnica de horno de grafito es ampliamente empleada para la determinación de plomo y cadmio en matrices biológicas debido a su capacidad para mejorar los límites de detección, reducir interferencias de matriz y optimizar la precisión analítica durante la cuantificación instrumental.[31,33]

3.8.3. Fundamento de la espectrofotometría de absorción atómica con generación de hidruros

La técnica de generación de hidruros se basa en la formación de compuestos volátiles de determinados elementos metálicos, como arsénico y mercurio, mediante reacciones químicas específicas que permiten generar especies gaseosas transportadas posteriormente hacia el sistema de atomización para su detección instrumental mediante espectrofotometría de absorción atómica.[31,33]

Este procedimiento permite incrementar sensibilidad y selectividad analítica durante la determinación de arsénico y mercurio, además de reducir interferencias derivadas de la matriz biológica y mejorar los límites de detección para estos elementos metálicos.[31,33]

3.8.4. Fundamento de la digestión ácida asistida por microondas

La digestión ácida es un procedimiento previo al análisis instrumental orientado a la descomposición de la materia orgánica presente en la muestra mediante el empleo de ácidos concentrados, lo que permite liberar los metales contenidos en la matriz biológica y obtener soluciones homogéneas aptas para el análisis instrumental.[32,34]

La digestión asistida por microondas permite optimizar este procedimiento mediante control de temperatura y presión en sistemas cerrados, favoreciendo mayor eficiencia en la mineralización de las muestras, reducción de tiempos de procesamiento y adecuada recuperación de los analitos evaluados.[32,34]

3.9. Procesamiento de la información o de datos

Los datos obtenidos del análisis de las muestras fueron organizados y registrados en una base de datos elaborada en Microsoft Excel, considerando las concentraciones de arsénico, cadmio, mercurio y plomo determinadas en tejido muscular de trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss).*

Posteriormente, la información fue procesada mediante el programa estadístico STATA versión 17. Se aplicó estadística descriptiva mediante el cálculo de medidas de tendencia central y dispersión, incluyendo promedio, valor mínimo y valor máximo, con la finalidad

de describir el comportamiento de las concentraciones de metales pesados en las muestras analizadas.[35,38]

Con fines exploratorios se aplicó análisis de varianza (ANOVA), con el propósito de comparar las concentraciones de metales pesados entre las zonas de estudio. Los resultados de este análisis fueron interpretados considerando el tamaño muestral y el tipo de muestreo no probabilístico empleado en la investigación.[37,38]

Los resultados fueron presentados mediante tablas y gráficos, facilitando la comparación descriptiva de las concentraciones entre las zonas evaluadas durante el desarrollo de la investigación en el año 2021.

Finalmente, las concentraciones determinadas fueron comparadas con los valores de referencia establecidos por el Reglamento Técnico MERCOSUR para contaminantes inorgánicos en alimentos, con la finalidad de evaluar su cumplimiento en relación con la inocuidad alimentaria en alimentos de origen acuático para consumo humano.[9,11]

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

4.1. Resultados de arsénico

Tabla 1. Niveles de arsénico en tejido muscular de trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* procedentes de piscigranjas de Huancaya, Ingenio, Miraflores y Chongos Alto, expresados en mg/kg.

N.º Muestra	Lugar de procedencia	Código de la muestra	Arsénico (mg/kg)	MERCOSUR (mg/kg)
01	Huancaya	PHYL-01	0,630	1,00
02		PHYL-02	0,780	
03		PHYL-03	0,590	
04		PHYL-04	0,870	
05	Ingenio	IIHJ-01	0,790	
06		IIHJ-02	1,160	
07		IIHJ-03	1,020	
08		IIHJ-04	0,930	
09	Miraflores	LCMHJ-01	0,880	
10		LCMHJ-02	1,090	
11		LCMHJ-03	1,290	
12		LCMHJ-04	0,810	
13	Chongos Alto	EMCAHJ-01	0,620	
14		EMCAHJ-02	0,770	
15		EMCAHJ-03	0,930	
16		EMCAHJ-04	0,710	

Fuente: Elaboración propia a partir del Informe de Ensayo P21-892, Actlabs Skyline Perú S.A.C.

La Tabla 1 muestra los niveles de arsénico en tejido muscular de trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* procedentes de piscigranjas de Huancaya, Ingenio, Miraflores y Chongos Alto. Las concentraciones determinadas de arsénico estuvieron comprendidas entre 0,590 y 1,290 mg/kg, registrándose el valor más elevado en la muestra LCMHJ-03 procedente de Miraflores (1,290 mg/kg), mientras que la menor concentración correspondió a la muestra PHYL-03 de Huancaya (0,590 mg/kg). De acuerdo con los límites máximos permisibles establecidos por MERCOSUR (1,00 mg/kg), cuatro muestras presentaron concentraciones superiores al valor de referencia, correspondientes a Ingenio y Miraflores.[9]

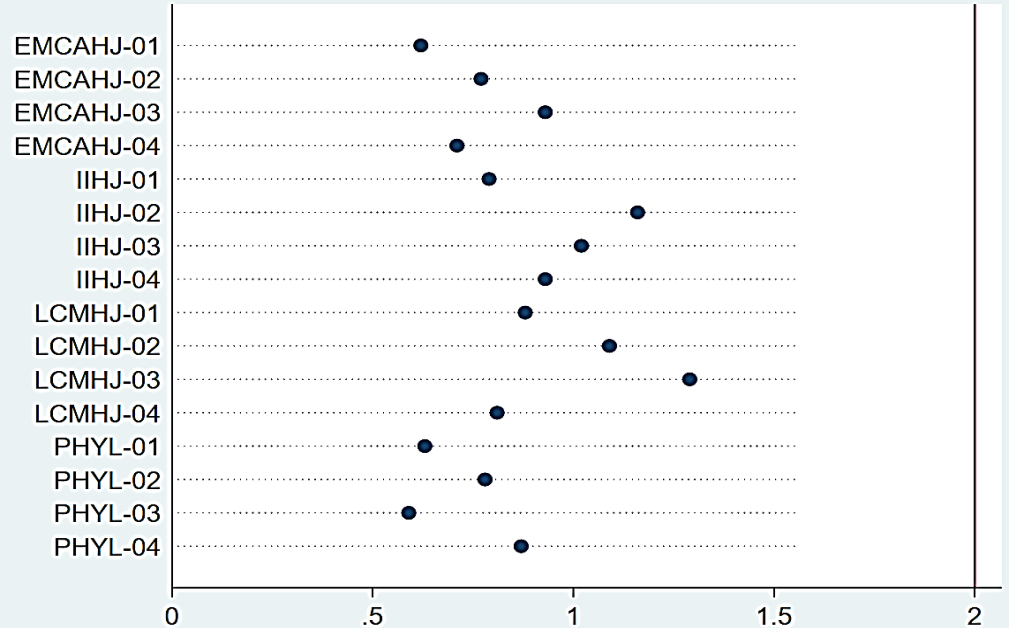


Figura 2. Concentraciones de arsénico en tejido muscular de trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* según lugar de procedencia.
Fuente: Elaboración propia a partir del Informe de Ensayo P21-892, Actlabs Skyline Perú S.A.C.

En la Figura 2 se presentan las concentraciones individuales de arsénico en tejido muscular de trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* procedentes de Huancaya, Ingenio, Miraflores y Chongos Alto. La mayor concentración correspondió a la muestra LCMHJ-03 de Miraflores (1,290 mg/kg), mientras que el valor más bajo se registró en la muestra PHYL-03 de Huancaya (0,590 mg/kg). La línea roja indica el límite máximo permisible establecido por MERCOSUR para arsénico de origen acuático. Cuatro muestras presentaron concentraciones superiores al valor de referencia de 1,00 mg/kg establecido por el Reglamento Técnico MERCOSUR, correspondientes a las zonas de Ingenio y Miraflores.[9]

Tabla 2. Promedio de los niveles de arsénico en tejido muscular de trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* según lugar de procedencia, expresados en mg/kg.

Lugar de procedencia	Promedio (mg/kg)	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Huancaya	0,720	0,130	0,590	0,870
Ingenio	0,980	0,150	0,790	1,160
Miraflores	1,020	0,220	0,810	1,290
Chongos Alto	0,760	0,130	0,620	0,930

Fuente: Elaboración propia a partir del Informe de Ensayo P21-892, Actlabs Skyline Perú S.A.C.

La Tabla 2 muestra los niveles promedio de arsénico en tejido muscular de trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* según lugar de procedencia. Miraflores presentó el mayor promedio de arsénico (1,020 mg/kg), seguido de Ingenio (0,980 mg/kg), Chongos Alto (0,760 mg/kg) y Huancaya (0,720 mg/kg). Cabe destacar que Miraflores registró la concentración máxima más elevada (1,290 mg/kg), mientras que Huancaya presentó el valor mínimo más bajo (0,590 mg/kg).

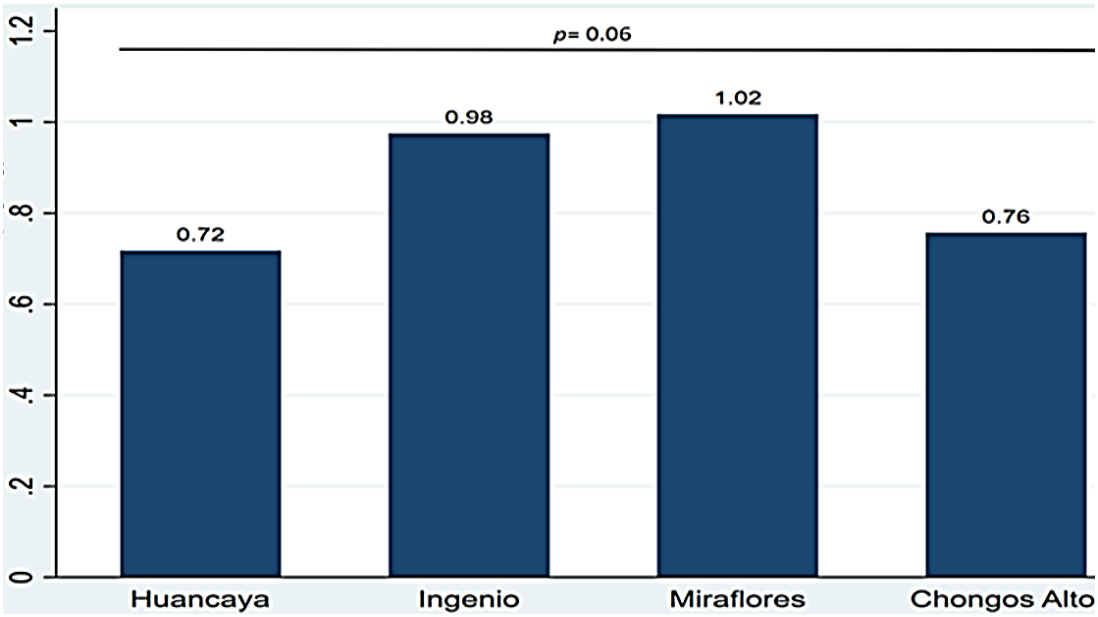


Figura 3*:* Comparación de los niveles promedio de arsénico en tejido muscular de trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* según lugar de procedencia.

Fuente: Elaboración propia a partir del Informe de Ensayo P21-892, Actlabs Skyline Perú S.A.C.

La Figura 3 presenta la comparación de las concentraciones promedio de arsénico en tejido muscular de trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* según zona de procedencia. Las muestras provenientes de Miraflores e Ingenio registraron las mayores concentraciones promedio de arsénico, con valores de 1,02 mg/kg y 0,98 mg/kg, respectivamente, mientras que Huancaya presentó la menor concentración promedio (0,72 mg/kg). Chongos Alto mostró un valor intermedio de 0,76 mg/kg.

Las muestras procedentes de Miraflores e Ingenio registraron los mayores promedios de arsénico, con valores de 1,020 mg/kg y 0,980 mg/kg, respectivamente. El análisis de

varianza (ANOVA) mostró un valor de p=0,06, evidenciándose ausencia de diferencias estadísticamente significativas entre las zonas evaluadas.

4.2. Resultados del cadmio

Tabla 3. Niveles de cadmio en tejido muscular de trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* procedentes de piscigranjas de Huancaya, Ingenio, Miraflores y Chongos Alto, expresados en mg/kg.

N.º Muestra	Lugar de procedencia	Código de muestra	Cadmio (mg/kg)	MERCOSUR (mg/kg)
01	Huancaya	PHYL-01	0,020	0,050
02		PHYL-02	0,040	
03		PHYL-03	0,060	
04		PHYL-04	0,030	
05	Ingenio	IIHJ-01	0,040	
06		IIHJ-02	0,080	
07		IIHJ-03	0,060	
08		IIHJ-04	0,070	
09	Miraflores	LCMHJ-01	0,040	
10		LCMHJ-02	0,060	
11		LCMHJ-03	0,020	
12		LCMHJ-04	0,040	
13	Chongos Alto	EMCAHJ-01	0,030	
14		EMCAHJ-02	0,020	
15		EMCAHJ-03	0,040	
16		EMCAHJ-04	0,020	

Fuente: Elaboración propia a partir del Informe de Ensayo P21-892, Actlabs Skyline Perú S.A.C.

La Tabla 3 muestra los niveles de cadmio en tejido muscular de trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* procedentes de piscigranjas de Huancaya, Ingenio, Miraflores y Chongos Alto. Las concentraciones determinadas de cadmio estuvieron comprendidas entre 0,020 y 0,080 mg/kg, registrándose el valor más elevado en la muestra IIHJ-02 procedente de Ingenio (0,080 mg/kg), mientras que las menores concentraciones correspondieron a las muestras LCMHJ-03, EMCAHJ-02 y EMCAHJ-04 (0,020 mg/kg). De acuerdo con los límites máximos permisibles establecidos por MERCOSUR (0,050 mg/kg), cinco muestras presentaron concentraciones superiores al valor de referencia, correspondientes a Ingenio, Huancaya y Miraflores.[9]

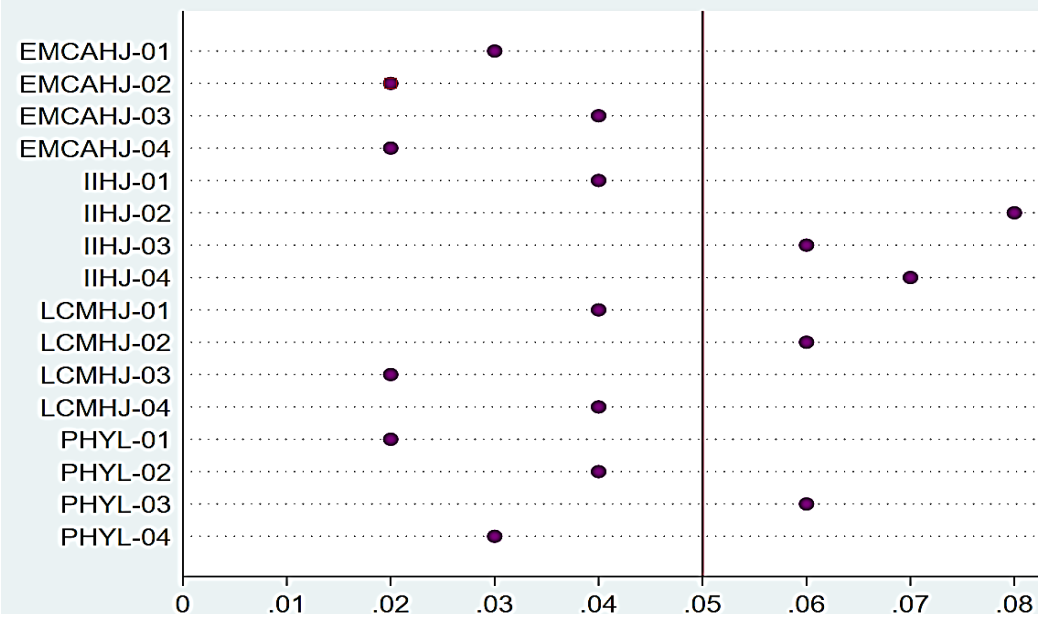


Figura 4. Concentraciones de cadmio en tejido muscular de trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* según lugar de procedencia.
Fuente: Elaboración propia a partir del Informe de Ensayo P21-892, Actlabs Skyline Perú S.A.C.

En la Figura 4 se presentan las concentraciones individuales de cadmio en tejido muscular de trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* procedentes de Huancaya, Ingenio, Miraflores y Chongos Alto. La mayor concentración correspondió a la muestra IIHJ-02 de Ingenio (0,080 mg/kg), mientras que los valores más bajos se registraron en las muestras LCMHJ-03, EMCAHJ-02 y EMCAHJ-04 (0,020 mg/kg). La línea roja indica el límite máximo permisible establecido por MERCOSUR para cadmio en productos acuáticos. Se observó además que cinco muestras superaron dicho valor, distribuidas en las zonas de Huancaya, Ingenio y Miraflores.[9]

Tabla 4. Promedio de los niveles de cadmio en tejido muscular de trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* según lugar de procedencia, expresados en mg/kg

Lugar de procedencia	Promedio (mg/kg)	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Huancaya	0,040	0,020	0,020	0,060
Ingenio	0,060	0,020	0,040	0,080
Miraflores	0,040	0,020	0,020	0,060
Chongos Alto	0,030	0,010	0,020	0,040

Fuente: Elaboración propia a partir del Informe de Ensayo P21-892, Actlabs Skyline Perú S.A.C.

La Tabla 4 muestra los niveles promedio de cadmio en tejido muscular de trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* según lugar de procedencia. Ingenio presentó el mayor promedio de cadmio (0,060 mg/kg), seguido de Huancaya y Miraflores (0,040 mg/kg), mientras que Chongos Alto registró el promedio más bajo (0,030 mg/kg). Ingenio registró la concentración máxima de cadmio (0,080 mg/kg), mientras que los valores mínimos (0,020 mg/kg) se observaron en Huancaya, Miraflores y Chongos Alto.

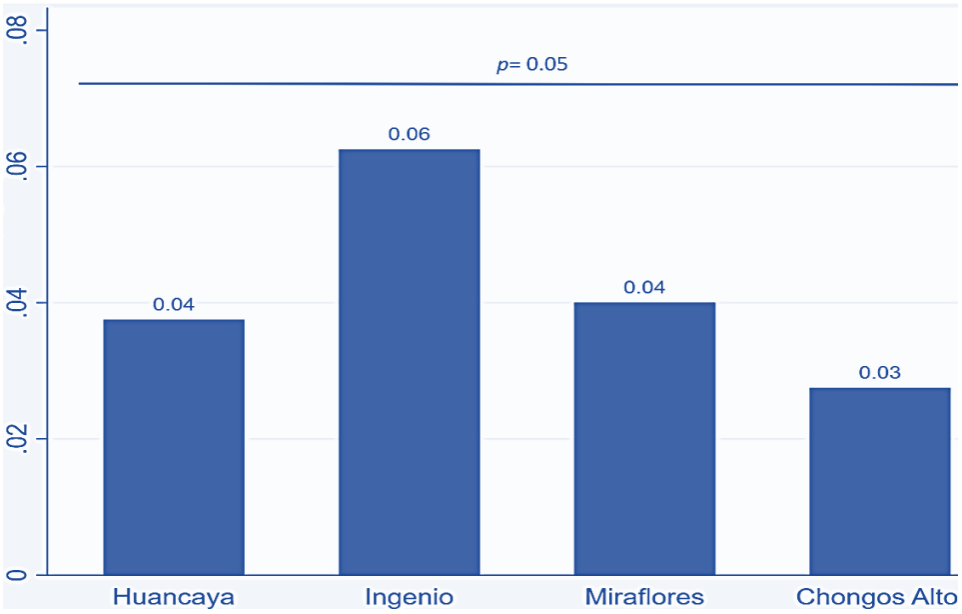


Figura 5. Comparación de los niveles promedio de cadmio en tejido muscular de trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* según lugar de procedencia.

Fuente: Elaboración propia a partir del Informe de Ensayo P21-892, Actlabs Skyline Perú S.A.C.

La Figura 5 muestra la distribución de las concentraciones promedio de cadmio en tejido muscular de trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* procedentes de las zonas evaluadas. Las muestras correspondientes a Ingenio registraron el valor promedio más alto de cadmio (0,06 mg/kg), mientras que Chongos Alto presentó la menor concentración promedio (0,03 mg/kg). En Huancaya y Miraflores se observaron concentraciones intermedias similares, ambas con valores promedio de 0,04 mg/kg.

Ingenio registró el mayor promedio de cadmio (0,060 mg/kg), mientras que Chongos Alto presentó el menor promedio (0,030 mg/kg). El análisis de varianza (ANOVA) mostró un valor de p=0,05, evidenciándose una tendencia a diferencias entre las zonas evaluadas;

sin embargo, los resultados deben interpretarse de manera exploratoria debido al tamaño muestral y al tipo de muestreo empleado.

4.3. Resultados de mercurio

Tabla 5. Niveles de mercurio en tejido muscular de trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* procedentes de piscigranjas de Huancaya, Ingenio, Miraflores y Chongos Alto, expresados en mg/kg.

N.º Muestra	Lugar de procedencia	Código de muestra	Mercurio (mg/kg)	MERCOSUR (mg/kg)
01	Huancaya	PHYL-01	0,480	0,500
02		PHYL-02	0,520	
03		PHYL-03	0,390	
04		PHYL-04	0,410	
05	Ingenio	IIHJ-01	0,620	
06		IIHJ-02	0,590	
07		IIHJ-03	0,430	
08		IIHJ-04	0,630	
09	Miraflores	LCMHJ-01	0,440	
10		LCMHJ-02	0,390	
11		LCMHJ-03	0,490	
12		LCMHJ-04	0,450	
13	Chongos Alto	EMCAHJ-01	0,480	
14		EMCAHJ-02	0,510	
15		EMCAHJ-03	0,390	
16		EMCAHJ-04	0,440	

Fuente: Elaboración propia a partir del Informe de Ensayo P21-892, Actlabs Skyline Perú S.A.C.

La Tabla 5 muestra los niveles de mercurio en tejido muscular de trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* procedentes de piscigranjas de Huancaya, Ingenio, Miraflores y Chongos Alto. Las concentraciones determinadas de mercurio estuvieron comprendidas entre 0,390 y 0,630 mg/kg, registrándose la mayor concentración en la muestra IIHJ-04 procedente de Ingenio (0,630 mg/kg), mientras que las menores concentraciones correspondieron a las muestras PHYL-03, LCMHJ-02 y EMCAHJ-03 (0,390 mg/kg). Cinco muestras presentaron concentraciones superiores al valor de referencia de 0,500 mg/kg establecido por MERCOSUR, correspondientes a Ingenio, Huancaya y Chongos Alto.[9]

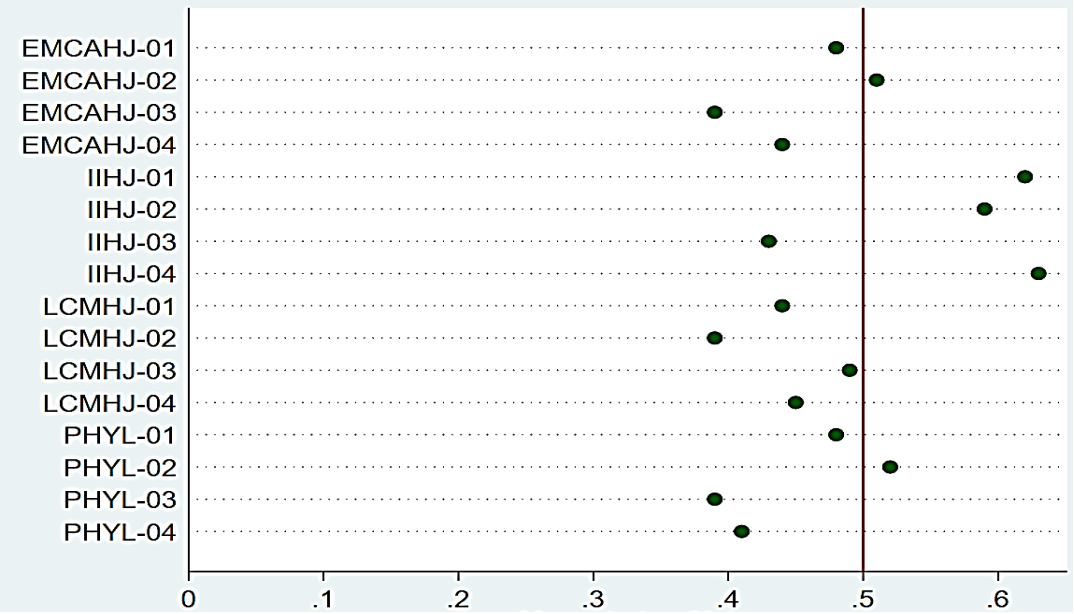


Figura 6. Concentraciones de mercurio en tejido muscular de trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* según lugar de procedencia.

Fuente: Elaboración propia a partir del Informe de Ensayo P21-892, Actlabs Skyline Perú S.A.C.

En la Figura 6 se presentan las concentraciones individuales de mercurio en tejido muscular de trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* procedentes de Huancaya, Ingenio, Miraflores y Chongos Alto. La mayor concentración correspondió a la muestra IIHJ-04 de Ingenio (0,630 mg/kg), mientras que los valores más bajos se registraron en las muestras PHYL-03, LCMHJ-02 y EMCAHJ-03 (0,390 mg/kg). La línea roja indica el límite máximo permisible establecido por MERCOSUR para mercurio en especies acuáticas. Cinco muestras superaron dicho valor, distribuidas en las zonas de Ingenio, Huancaya y Chongos Alto.[9]

Tabla 6. Promedio de los niveles de mercurio en tejido muscular de trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* según lugar de procedencia, expresados en mg/kg.

Lugar de procedencia	Promedio (mg/kg)	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Huancaya	0,450	0,060	0,390	0,520
Ingenio	0,570	0,090	0,430	0,630
Miraflores	0,440	0,040	0,390	0,490
Chongos Alto	0,460	0,050	0,390	0,510

Fuente: Elaboración propia a partir del Informe de Ensayo P21-892, Actlabs Skyline Perú S.A.C.

La Tabla 6 muestra los niveles promedio de mercurio en tejido muscular de trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* según lugar de procedencia. Ingenio presentó el mayor promedio de mercurio (0,570 mg/kg), seguido de Chongos Alto (0,460 mg/kg), Huancaya (0,450 mg/kg) y Miraflores (0,440 mg/kg). Ingenio registró la concentración máxima de mercurio (0,630 mg/kg), mientras que los valores mínimos (0,390 mg/kg) se observaron en Huancaya, Miraflores y Chongos Alto.

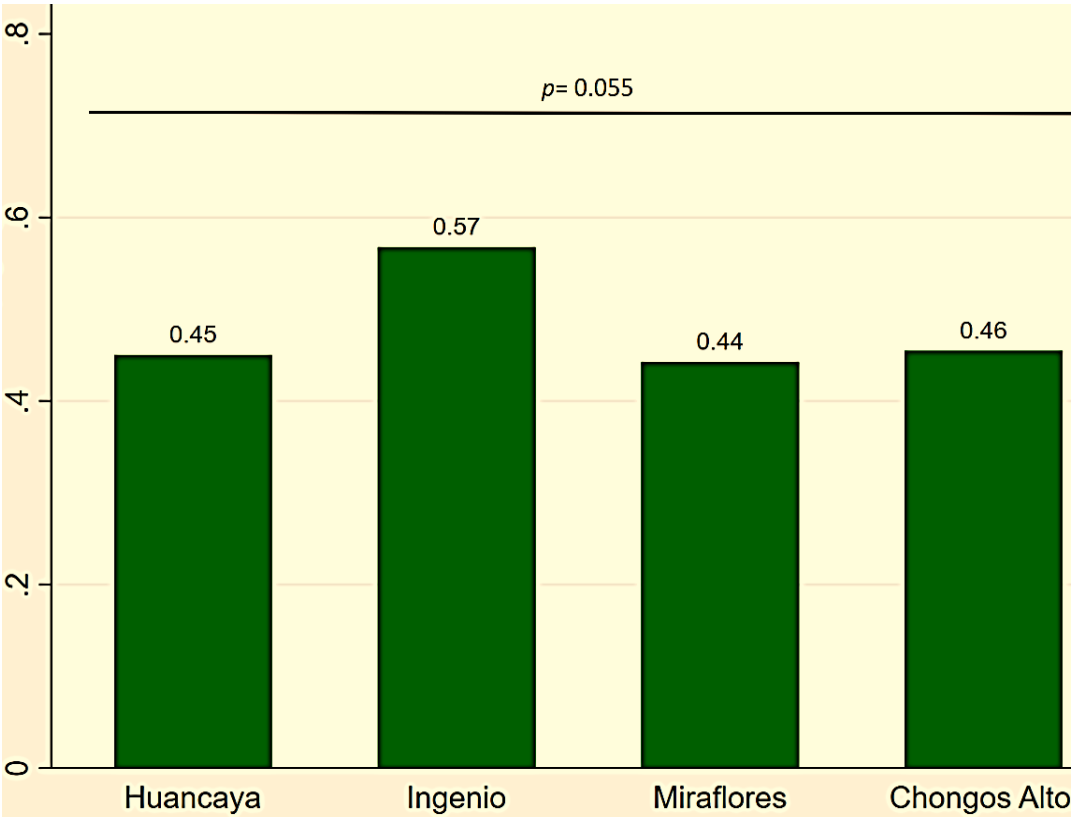


Figura 7. Comparación de los niveles promedio de mercurio en tejido muscular de trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* según lugar de procedencia.

Fuente: Elaboración propia a partir del Informe de Ensayo P21-892, Actlabs Skyline Perú S.A.C.

La Figura 7 presenta la comparación de las concentraciones promedio de mercurio en tejido muscular de trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* según zona de procedencia. Las muestras provenientes de Ingenio registraron la mayor concentración promedio de mercurio (0,57 mg/kg), mientras que Miraflores presentó el valor promedio más bajo (0,44 mg/kg). Por su parte, Huancaya y Chongos Alto evidenciaron concentraciones promedio similares de 0,45 mg/kg y 0,46 mg/kg, respectivamente.

Ingenio presentó el mayor promedio de mercurio (0,570 mg/kg). El análisis de varianza (ANOVA) mostró un valor de p=0,055, evidenciándose ausencia de diferencias estadísticamente significativas entre las zonas evaluadas

4.4. Resultados de plomo

Tabla 7. Niveles de plomo en tejido muscular de trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* procedentes de piscigranjas de Huancaya, Ingenio, Miraflores y Chongos Alto, expresados en mg/kg.

N.º Muestra	Lugar de procedencia	Código de muestra	Plomo (mg/kg)	MERCOSUR (mg/kg)
01	Huancaya	PHYL-01	0,260	0,300
02		PHYL-02	0,180	
03		PHYL-03	0,240	
04		PHYL-04	0,150	
05	Ingenio	IIHJ-01	0,350	
06		IIHJ-02	0,280	
07		IIHJ-03	0,420	
08		IIHJ-04	0,330	
09	Miraflores	LCMHJ-01	0,190	
10		LCMHJ-02	0,280	
11		LCMHJ-03	0,320	
12		LCMHJ-04	0,220	
13	Chongos Alto	EMCAHJ-01	0,150	
14		EMCAHJ-02	0,410	
15		EMCAHJ-03	0,380	
16		EMCAHJ-04	0,280	

Fuente: Elaboración propia a partir del Informe de Ensayo P21-892, Actlabs Skyline Perú S.A.C.

La Tabla 7 muestra los niveles de plomo en tejido muscular de trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* procedentes de piscigranjas de Huancaya, Ingenio, Miraflores y Chongos Alto. Las concentraciones determinadas de plomo estuvieron comprendidas entre 0,150 y 0,420 mg/kg, registrándose la mayor concentración en la muestra IIHJ-03 procedente de Ingenio (0,420 mg/kg), mientras que las menores concentraciones

correspondieron a las muestras PHYL-04 y EMCAHJ-01 (0,150 mg/kg). Seis muestras presentaron concentraciones superiores al valor de referencia de 0,300 mg/kg establecido por MERCOSUR, correspondientes a Ingenio, Chongos Alto y Miraflores.[9]

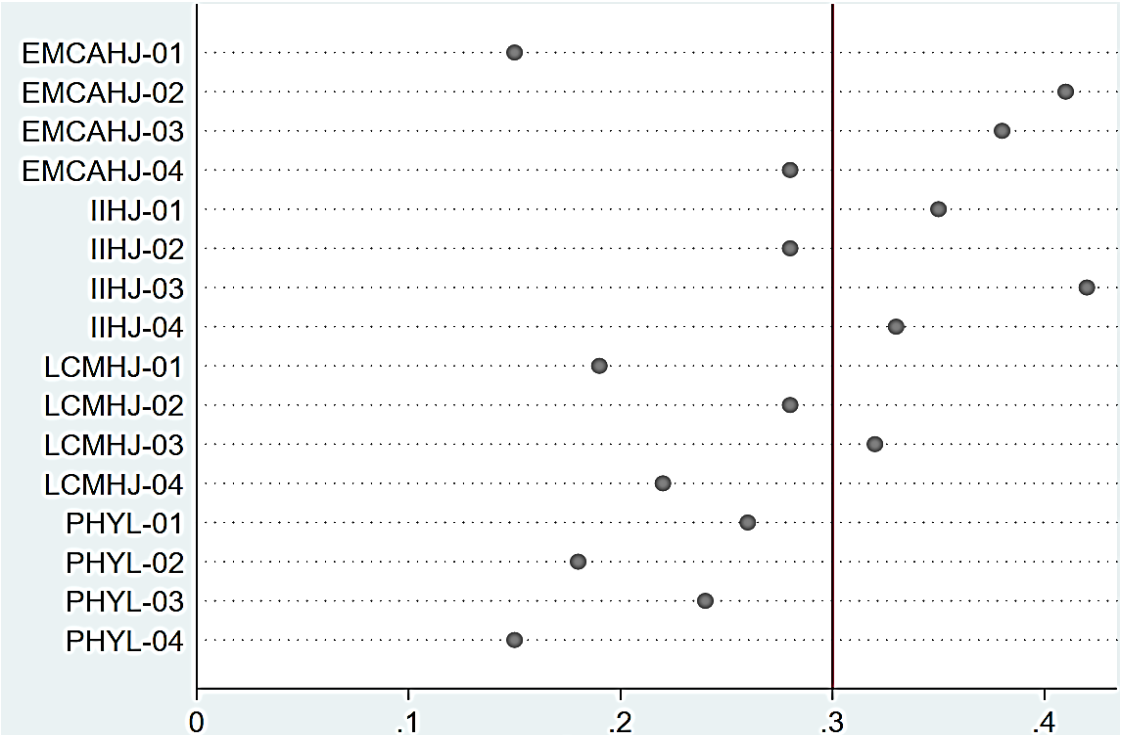


Figura 8. Concentraciones de plomo en tejido muscular de trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* según lugar de procedencia.
Fuente: Elaboración propia a partir del Informe de Ensayo P21-892, Actlabs Skyline Perú S.A.C.

En la Figura 8 se presentan las concentraciones individuales de plomo en tejido muscular de trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* procedentes de Huancaya, Ingenio, Miraflores y Chongos Alto. La mayor concentración correspondió a la muestra IIHJ-03 de Ingenio (0,420 mg/kg), mientras que los valores más bajos se registraron en las muestras PHYL-04 y EMCAHJ-01 (0,150 mg/kg). La línea roja indica el límite máximo permisible establecido por MERCOSUR para plomo en productos acuáticos. Se identificó que seis muestras superaron dicho valor, distribuidas en las zonas de Ingenio, Chongos Alto y Miraflores.[9]

Tabla 8. Promedio de los niveles de plomo en tejido muscular de trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* según lugar de procedencia, expresados en mg/kg.

Lugar de procedencia	Promedio (mg/kg)	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Huancaya	0,210	0,050	0,150	0,260
Ingenio	0,350	0,050	0,280	0,420
Miraflores	0,250	0,060	0,190	0,320
Chongos Alto	0,310	0,120	0,150	0,410

Fuente: Elaboración propia a partir del Informe de Ensayo P21-892, Actlabs Skyline Perú S.A.C.

La Tabla 8 muestra los niveles promedio de plomo en tejido muscular de trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* según lugar de procedencia. Ingenio presentó el mayor promedio de plomo (0,350 mg/kg), seguido de Chongos Alto (0,310 mg/kg), Miraflores (0,250 mg/kg) y Huancaya (0,210 mg/kg). Ingenio también presentó la concentración máxima de plomo (0,420 mg/kg), mientras que los valores mínimos (0,150 mg/kg) se observaron en Huancaya y Chongos Alto.

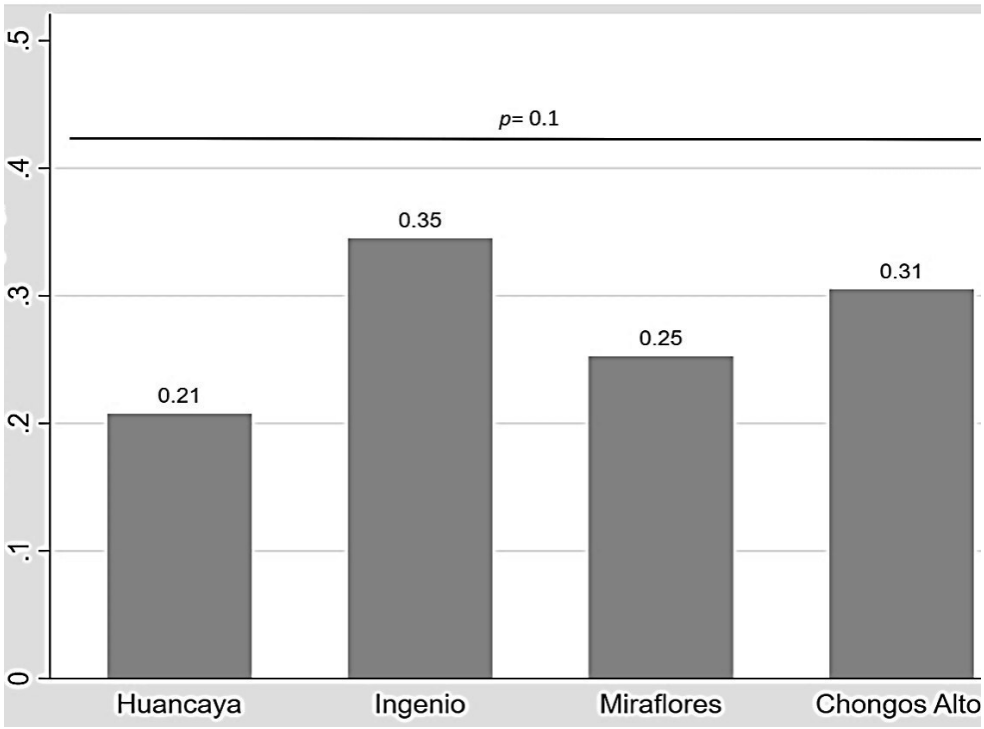


Figura 9. Comparación de los niveles promedio de plomo en tejido muscular de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) según lugar de procedencia.

Fuente: Elaboración propia a partir del Informe de Ensayo P21-892, Actlabs Skyline Perú S.A.C.

La Figura 9 presenta la distribución de las concentraciones promedio de plomo en tejido muscular de trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* procedentes de las zonas evaluadas. Las muestras correspondientes a Ingenio registraron la mayor concentración promedio de plomo (0,35 mg/kg), seguidas de Chongos Alto (0,31 mg/kg). En contraste, Huancaya presentó el valor promedio más bajo (0,21 mg/kg), mientras que Miraflores evidenció una concentración intermedia de 0,25 mg/kg.

Ingenio y Chongos Alto registraron los mayores promedios de plomo respecto a las demás zonas evaluadas. El análisis de varianza (ANOVA) mostró un valor de p=0,10, evidenciándose ausencia de diferencias estadísticamente significativas entre las zonas evaluadas.

4.5 Resumen comparativo de los metales pesados evaluados

Tabla 9. Resumen comparativo de los niveles de metales pesados en tejido muscular de trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* y su relación con los límites máximos permisibles

Metal pesado	Mayor promedio (mg/kg)	Lugar de procedencia	Límite máximo permisible (mg/kg	Norma de referencia	Muestras que superaron el límite
Arsénico	1,020	Miraflores	1,000	MERCOSUR	4
Cadmio	0,060	Ingenio	0,050	MERCOSUR	5
Mercurio	0,570	Ingenio	0,500	MERCOSUR	5
Plomo	0,350	Ingenio	0,300	MERCOSUR	6

Fuente: Elaboración propia a partir del Informe de Ensayo P21-892, Actlabs Skyline Perú S.A.C.

La Tabla 9 presenta un resumen comparativo de los niveles de metales pesados detectados en tejido muscular de trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* procedentes de las piscigranjas evaluadas, así como su relación con los valores de referencia establecidos por el Reglamento Técnico MERCOSUR para contaminantes inorgánicos en alimentos. Se observó que el arsénico presentó el mayor promedio en las muestras procedentes de Miraflores (1,020 mg/kg), registrando concentraciones superiores al valor de referencia empleado para comparación normativa. El cadmio, mercurio y plomo registraron sus mayores promedios en Ingenio, evidenciándose concentraciones que superan los límites máximos permisibles establecidos por MERCOSUR. El plomo fue el metal que presentó

el mayor número de muestras que excedieron el límite de referencia (6 muestras), seguido de cadmio y mercurio (5 muestras cada uno). En general, los resultados evidenciaron la presencia de concentraciones que superan los límites máximos permisibles en diversas muestras analizadas, observándose una mayor frecuencia de excedencia en las muestras procedentes de Ingenio.[9]

CAPÍTULO V. DISCUSIÓN

La presente investigación permitió determinar las concentraciones de arsénico, cadmio, mercurio y plomo en tejido muscular de trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* procedente de piscigranjas ubicadas en Huancaya, Ingenio, Miraflores y Chongos Alto durante el año 2021, evidenciándose la presencia de estos metales en todas las zonas evaluadas. Estos resultados reflejan la importancia del monitoreo toxicológico en organismos hidrobiológicos de consumo humano, considerando que los ecosistemas acuáticos pueden verse influenciados por factores ambientales y actividades antropogénicas que favorecen la incorporación de contaminantes químicos en la biota acuática.[3,27]

En relación con el arsénico, las concentraciones determinadas oscilaron entre 0,590 y 1,290 mg/kg, registrándose los valores más elevados en las muestras procedentes de Miraflores e Ingenio. Cuatro muestras presentaron concentraciones superiores al valor de referencia de 1,00 mg/kg establecido por el Reglamento Técnico MERCOSUR., lo cual resulta relevante desde el punto de vista de la inocuidad alimentaria.[9] Este comportamiento podría estar asociado a condiciones propias del entorno, como la calidad del agua, la composición del suelo o la posible influencia de actividades antropogénicas, entre ellas la minería, lo cual ha sido descrito en estudios previos.[2,19] Estos resultados guardan relación con lo reportado por Varol et al.[16] y Mielcarek et al.[20], quienes destacan la persistencia del arsénico en ecosistemas acuáticos y su capacidad de incorporarse a la cadena trófica.

Respecto al cadmio, Ingenio registró el mayor promedio de cadmio entre las zonas evaluadas. Este resultado sugiere la posible influencia de factores ambientales locales, como la presencia de este metal en sedimentos o fuentes hídricas, así como su capacidad de bioacumulación en organismos acuáticos. Resultados similares han sido reportados por Gonzales[13] y Solgi et al.[8], quienes señalan que las concentraciones de metales pesados pueden variar en función de las condiciones del entorno acuático. Desde una perspectiva toxicológica, la presencia de cadmio es relevante debido a su asociación con efectos adversos a nivel renal en exposiciones prolongadas.[2,20]

En cuanto al mercurio, las concentraciones promedio mostraron valores relativamente similares entre las zonas evaluadas, observándose una ligera tendencia a mayores niveles

en las muestras procedentes de Ingenio. Sin embargo, no se presentaron diferencias marcadas entre las zonas evaluadas. Este comportamiento podría explicarse por condiciones ambientales compartidas o por procesos de bioacumulación similares en los sistemas de cultivo. Heshmati et al.[7] reportaron resultados comparables en truchas de piscigranja, lo que evidencia la importancia del monitoreo periódico de este contaminante debido a su toxicidad y capacidad de biomagnificación en la cadena alimentaria.[21,22]

En relación con el plomo, las mayores concentraciones se registraron en Ingenio y Chongos Alto, aunque sin evidenciarse diferencias marcadas entre las zonas evaluadas. Este comportamiento sugiere que su presencia podría estar influenciada por factores ambientales comunes en las áreas de estudio. Estos resultados guardan relación con lo reportado por Barszcz et al.[17] y Mielcarek et al.[20], quienes describen la presencia de plomo en organismos acuáticos y su relevancia en términos de salud pública debido a sus efectos adversos sobre el sistema nervioso y hematológico.[23,25]

De manera general, los resultados obtenidos confirman que la trucha arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* presenta capacidad de bioacumular metales pesados presentes en el ambiente acuático, lo que respalda su uso como bioindicador en estudios de contaminación ambiental y vigilancia sanitaria de alimentos de origen acuático.[27,28]

En ese contexto, la comparación con los límites máximos permisibles establecidos por el Reglamento Técnico MERCOSUR permitió identificar que, en el caso del arsénico, algunas muestras superaron los valores de referencia, lo cual podría representar un riesgo potencial para la salud del consumidor en escenarios de exposición prolongada.[9] En este contexto, es importante considerar que la exposición a metales pesados a través de la dieta puede generar efectos acumulativos a largo plazo, incluso cuando las concentraciones individuales no son elevadas.[1,18]

Desde una perspectiva de evaluación de riesgo, indicadores como la ingesta diaria estimada (EDI) y el cociente de riesgo (HQ) son herramientas ampliamente utilizadas para estimar el impacto de estos contaminantes en la salud humana.[20,26] Aunque dichos parámetros no fueron calculados en el presente estudio, los niveles detectados, especialmente en el caso del arsénico, evidencian la necesidad de desarrollar investigaciones futuras orientadas a la evaluación cuantitativa del riesgo en la población consumidora.

Finalmente, es importante señalar que, si bien se aplicó análisis de varianza (ANOVA) con fines exploratorios para comparar las concentraciones entre las zonas evaluadas, los resultados deben interpretarse con cautela debido al tamaño muestral y al tipo de muestreo empleado.[37,38] Entre las principales limitaciones del estudio se encuentran el reducido tamaño de la muestra y el empleo de un muestreo no probabilístico por conveniencia, lo que limita la generalización de los resultados a otras piscigranjas. No obstante, durante las etapas de recolección, conservación, transporte y procesamiento de las muestras se mantuvieron condiciones adecuadas de identificación, conservación y trazabilidad, garantizando la confiabilidad de los resultados obtenidos. En ese sentido, los hallazgos del presente estudio aportan información relevante para la vigilancia toxicológica e inocuidad alimentaria, por lo que se recomienda desarrollar futuras investigaciones con un mayor tamaño muestral e incorporar la evaluación de variables ambientales que permitan complementar la interpretación de los resultados.

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES

1. Se determinaron concentraciones detectables de arsénico, cadmio, mercurio y plomo en tejido muscular de trucha arcoíris (Oncorhynchus mykiss) procedente de piscigranjas ubicadas en Huancaya, Ingenio, Miraflores y Chongos Alto durante el año 2021.
2. La concentración promedio de arsénico fue mayor en las muestras procedentes de Miraflores (1,020 mg/kg), registrándose concentraciones comprendidas entre 0,590 y 1,290 mg/kg. Asimismo, cuatro muestras presentaron concentraciones superiores al valor de referencia de 1,00 mg/kg establecido por el Reglamento Técnico MERCOSUR.
3. La concentración promedio de cadmio fue mayor en las muestras procedentes de Ingenio (0,060 mg/kg), registrándose concentraciones comprendidas entre 0,020 y 0,080 mg/kg. Del total de muestras analizadas, cinco presentaron concentraciones superiores al valor de referencia de 0,050 mg/kg establecido por el Reglamento Técnico MERCOSUR.
4. La concentración promedio de mercurio fue mayor en las muestras procedentes de Ingenio (0,570 mg/kg), registrándose concentraciones comprendidas entre 0,390 y 0,630 mg/kg. Asimismo, cinco muestras presentaron concentraciones superiores al valor de referencia de 0,500 mg/kg establecido por el Reglamento Técnico MERCOSUR.
5. La concentración promedio de plomo fue mayor en las muestras procedentes de Ingenio (0,350 mg/kg), registrándose concentraciones comprendidas entre 0,150 y 0,420 mg/kg. Del total de muestras analizadas, seis presentaron concentraciones superiores al valor de referencia de 0,300 mg/kg establecido por el Reglamento Técnico MERCOSUR.
6. Se evidenciaron diferencias en las concentraciones promedio de arsénico, cadmio, mercurio y plomo entre las zonas evaluadas, observándose mayores concentraciones promedio de arsénico en Miraflores y de cadmio, mercurio y plomo en Ingenio, lo que resalta la importancia del monitoreo periódico de contaminantes inorgánicos en recursos hidrobiológicos destinados al consumo humano.

CAPÍTULO VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Jaishankar M, Tseten T, Anbalagan N, Mathew BB, Beeregowda KN. Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. Interdiscip Toxicol. 2014;7(2):60-72. doi:10.2478/intox-2014-0009.
2. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological profile for arsenic, cadmium, mercury and lead. Atlanta: ATSDR; 2019. Disponible en: https://www.atsdr.cdc.gov
3. Ministerio del Ambiente del Perú. Decreto Supremo N.° 004-2017-MINAM: Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua. Lima: MINAM; 2017. Disponible en: https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/263936-004-2017-minam
4. Ministerio de la Producción del Perú. Manual técnico de cultivo de trucha arcoíris (Oncorhynchus mykiss). Lima: PRODUCE; 2018. Disponible en: https://www.gob.pe/produce
5. Storelli MM. Potential human health risks from metals (Hg, Cd, and Pb) and polychlorinated biphenyls in seafood. Food Chem Toxicol. 2008;46(8):2782-2788. doi:10.1016/j.fct.2008.05.012
6. Food and Agriculture Organization. The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Rome: FAO; 2022. Disponible en: https://www.fao.org
7. Heshmati A, Nili-Ahmadabadi A, Rahimi A, Vahidinia A. Determination of toxic elements in rainbow trout and water samples from fish farms in Iran. Food Chem Toxicol. 2010;48(5):1234-1238. doi: 10.1016/j.fct.2010.02.012
8. Solgi E, Esmaili-Sari A, Riyahi-Bakhtiari A, Hadipour M. Heavy metal concentrations in rainbow trout from fish farms in Iran. Environ Monit Assess. 2012;184(3):1605-1613. doi:10.1007/s10661-011-2061-5
9. Mercado Común del Sur (MERCOSUR). Reglamento Técnico MERCOSUR sobre límites máximos de contaminantes inorgánicos en alimentos. Resolución GMC N.º 12/11. Montevideo: MERCOSUR; 2011. Disponible en: https://normas.mercosur.int
10. Servicio Nacional de Sanidad Pesquera (SANIPES). Plan nacional de vigilancia sanitaria de productos hidrobiológicos. Lima: SANIPES; 2020. Disponible en: https://www.sanipes.gob.pe

11. Codex Alimentarius Commission. General standard for contaminants and toxins in food and feed (CXS 193-1995). Rome: FAO/WHO; 2019. Disponible en: https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius
12. Rivas Altez W. Determinación de arsénico, mercurio y plomo en truchas, agua y alimento balanceado de piscigranjas de Oyón, Lima [tesis]. Lima: Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión; 2020.
13. Gonzales S. Bioacumulación de mercurio y cadmio en truchas arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* en piscigranjas de Junín [tesis]. Junín: Universidad Nacional del Centro del Perú; 2019.
14. Chui HN, Roque B, Huaquisto E, Sardón DL, Belizario G, Calatayud AP. Metales pesados en truchas arcoíris *(Oncorhynchus mykiss)* de crianza intensiva del lago Titicaca. Rev Investig Vet Perú. 2021;32(3):e20312. doi:10.15381/rivep.v32i3.20312
15. Pantoja Tirado LR. Ecotoxicidad en cursos de agua superficial de la microcuenca del río Upamayo utilizando Oncorhynchus mykiss como bioindicador [tesis]. Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica; 2023.
16. Varol M, Kaya GK, Alp A. Heavy metal and arsenic concentrations in rainbow trout *(Oncorhynchus mykiss)* farmed in a dam reservoir. Sci Total Environ. 2017;599-600:1288-1296. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.05.176
17. Barszcz AA, Czerniejewski P, Kijewska A, Keszka S. Accumulation of heavy metals in rainbow trout from aquaculture systems in Poland. Environ Sci Pollut Res Int. 2020;27(15):18567-18576. doi:10.1007/s11356-020-08036-8
18. Tchounwou PB, Yedjou CG, Patlolla AK, Sutton DJ. Heavy metal toxicity and the environment. EXS. 2012; 101:133-164. doi:10.1007/978-3-7643-8340-4_6
19. Ellenhorn MJ. Ellenhorn's medical toxicology: diagnosis and treatment of human poisoning. 2nd ed. Baltimore: Williams & Wilkins; 1997.
20. Mielcarek K, Nowakowski P, Puścion-Jakubik A, Soroczyńska J. Arsenic, cadmium, lead and mercury content and health risk assessment of freshwater fish. Food Chem. 2022; 378:132127. doi: 10.1016/j.foodchem.2021.132127
21. Clarkson TW, Magos L. The toxicology of mercury and its chemical compounds. Crit Rev Toxicol. 2006;36(8):609-662. doi:10.1080/10408440600845619
22. World Health Organization. Preventing disease through healthy environments: exposure to mercury. Geneva: WHO; 2017. Disponible en: https://www.who.int

23. Flora G, Gupta D, Tiwari A. Toxicity of lead: a review with recent updates. Interdiscip Toxicol. 2012;5(2):47-58. doi:10.2478/v10102-012-0009-2
24. Patrick L. Lead toxicity, a review of the literature. Part I: exposure, evaluation, and treatment. Altern Med Rev. 2006;11(1):2-22.
25. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological profile for lead. Atlanta: ATSDR; 2020. Disponible en: https://www.atsdr.cdc.gov
26. Burger J, Gochfeld M. Heavy metals in commercial fish in New Jersey. Environ Res. 2005;99(3):403-412. doi: 10.1016/j.envres.2005.05.010
27. Authman MMN, Zaki MS, Khallaf EA, Abbas HH. Use of fish as bio-indicator of heavy metal pollution. J Aquac Res Dev. 2015;6(4):1-13. doi:10.4172/2155-9546.1000328
28. Van der Oost R, Beyer J, Vermeulen NPE. Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: a review. Environ Toxicol Pharmacol. 2003;13(2):57-149. doi:10.1016/S1382-6689(02)00126-6
29. Farkas A, Salánki J, Specziár A. Relation between growth and the heavy metal concentration in organs of bream Abramis brama L. populating Lake Balaton. Arch Environ Contam Toxicol. 2003;43(2):236-243. doi:10.1007/s00244-002-1278-1
30. Al-Bairuty GA, Shaw BJ, Handy RD, Henry TB. Histopathological effects of waterborne copper nanoparticles and copper sulphate on the organs of rainbow trout (Oncorhynchus mykiss). Ecotoxicol Environ Saf. 2013; 97:188-198. doi: 10.1016/j.ecoenv.2013.08.034
31. Skoog DA, Holler FJ, Crouch SR. Principios de análisis instrumental. 6a ed. México: Cengage Learning; 2008.
32. Harris DC. Análisis químico cuantitativo. 8a ed. Barcelona: Reverté; 2012.
33. Welz B, Sperling M. Atomic absorption spectrometry. 3rd ed. Weinheim: Wiley-VCH; 1999.
34. APHA. Standard methods for the examination of water and wastewater. 22nd ed. Washington DC: American Public Health Association; 2012.
35. Hernández Sampieri R, Fernández Collado C, Baptista Lucio P. Metodología de la investigación. 6a ed. México: McGraw-Hill; 2014.
36. Ñaupas Paitán H, Valdivia Dueñas MR, Palacios Vilela JJ, Romero Delgado HE. Metodología de la investigación cuantitativa-cualitativa. 5a ed. Bogotá: Ediciones de la U; 2018.

37. Montgomery DC. Design and analysis of experiments. 8th ed. New York: John Wiley & Sons; 2013.
38. Miller JN, Miller JC. Statistics and chemometrics for analytical chemistry. 6th ed. Harlow: Pearson Education; 2010.

CAPÍTULO VIII. ANEXOS

Anexo 1. Informe de Ensayo N.º P21-892 emitido por Actlabs Skyline Perú S.A.C.

Quality Analysis...

Actlabs

Innovative Technologies

INFORME DE ENSAYO
P21-892

A solicitud de:	ANALI ANYELA PALACIOS LOZANO
Asunto:	Análisis Químico de Plomo, Cadmio, Mercurio y Arsénico en trucha
Atención:	ANALI ANYELA PALACIOS LOZANO
Cantidad de Muestra(s):	16
Fecha de Recepción:	Martes, 09 de Noviembre del 2021
Fecha de Reporte:	Miercoles, 01 de Diciembre del 2021
Instrucciones de Ensayo:	ABSORCION ATOMICA CON HORNO DE GRAFITO HG AAS Y GENERADOR DE HIDRUROS GH AAS

Quality Analysis...

Total de páginas: 03 (incluida esta)

Actlabs
Innovative Technologies

Ing. Verónica Caso Canta
Jefe de Laboratorio

Certificados por:

SE PROHÍBE LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN LA AUTORIZACIÓN DE ACTLABS SKYLINE PERU S.A.C.
"Este servicio ha sido realizado de acuerdo a los controles establecidos por un sistema de gestión de la calidad que cumple con los requisitos de la norma ISO 9001:2015, con número de certificado de AENOR ER-0174/2019 e IQNet ES-0174/2019".

Calle Martín de Murúa N° 170 - 174, Urb. Maranga - San Miguel, Lima - Perú
Central Telefónica: (511) 464 9762 • Móvil: 994 697 262 • Correo: servicio.cliente@actlabsperu.com • www.actlabsperu.com

Quality Analysis...

Actlabs

Innovative Technologies

INFORME DE ENSAYO
P21-892

ITEM	Símbolo de Analito Código de Análisis Símbolo de Unidad	Pb HG AAS mg/Kg	Cd HG AAS mg/Kg
1	PHYL-01	0.26	0.02
2	PHYL-02	0.18	0.04
3	PHYL-03	0.24	0.06
4	PHYL-04	0.15	0.03
5	IIHJ-01	0.35	0.04
6	IIHJ-02	0.28	0.08
7	IIHJ-03	0.42	0.06
8	IIHJ-04	0.33	0.07
9	LCMHJ-01	0.19	0.04
10	LCMHJ-02	0.28	0.06
11	LCMHJ-03	0.32	0.02
12	LCMHJ-04	0.22	0.04
13	EMCAHJ-01	0.15	0.03
14	EMCAHJ-02	0.41	0.02
15	EMCAHJ-03	0.38	0.04
16	EMCAHJ-04	0.28	0.02

uality Analysis...
Actlabs
Innovative Technologies

Certificados por:

SE PROHÍBE LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN LA AUTORIZACIÓN DE ACTLABS SKYLINE PERU S.A.C.
"Este servicio ha sido realizado de acuerdo a los controles establecidos por un sistema de gestión de la calidad que cumple con los requisitos de la norma ISO 9001:2015, con número de certificado de AENOR ER-0174/2019 e IQNet ES-0174/2019"

Calle Martín de Murúa N° 170 - 174, Urb. Maranga - San Miguel, Lima - Perú
Central Telefónica: (511) 464 9762 • Móvil: 994 697 262 • Correo: servicio.cliente@actlabsperu.com • www.actlabsperu.com

Quality Analysis...

Actlabs

Innovative Technologies

INFORME DE ENSAYO
P21-892

ITEM	Símbolo de Analito Código de Análisis Símbolo de Unidad	Hg GH AAS mg/Kg	As GH AAS mg/Kg
1	PHYL-01	0.48	0.63
2	PHYL-02	0.52	0.78
3	PHYL-03	0.39	0.59
4	PHYL-04	0.41	0.87
5	IIHJ-01	0.62	0.79
6	IIHJ-02	0.59	1.16
7	IIHJ-03	0.43	1.02
8	IIHJ-04	0.63	0.93
9	LCMHJ-01	0.44	0.88
10	LCMHJ-02	0.39	1.09
11	LCMHJ-03	0.49	1.29
12	LCMHJ-04	0.45	0.81
13	EMCAHJ-01	0.48	0.62
14	EMCAHJ-02	0.51	0.77
15	EMCAHJ-03	0.39	0.93
16	EMCAHJ-04	0.44	0.71

uality Analysis
Actlabs
Innovative Technologies

Certificados por:

SE PROHÍBE LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN LA AUTORIZACIÓN DE ACTLABS SKYLINE PERU S.A.C.

"Este servicio ha sido realizado de acuerdo a los controles establecidos por un sistema de gestión de la calidad que cumple con los requisitos de la norma ISO 9001:2015, con número de certificado de AENOR ER-0174/2019 e IQNet ES-0174/2019"

Calle Martín de Murúa N° 170 - 174, Urb. Maranga - San Miguel, Lima - Perú
Central Telefónica: (511) 464 9762 • Móvil: 994 697 262 • Correo: servicio.cliente@actlabsperu.com • www.actlabsperu.com

Anexo 2. Certificado de identificación taxonómica de *Oncorhynchus mykiss*

CERTIFICADO DE IDENTIFICACIÓN TAXONÓMICA

(Especie hidrobiológica – Trucha arcoíris)

La suscrita, KARINA HINOSTROZA AYALA, identificada con número de DNI N.°42922475 "Bióloga, colegiada y habilitada", con CBP N° 11576, deja constancia mediante el presente documento que los siguientes ejemplares evaluadas corresponden taxonómicamente a la siguiente especie:

Oncorhynchus mykiss

(Trucha arcoíris)

La identificación taxonómica fue realizada mediante evaluación de características morfológicas externas y criterios taxonómicos correspondientes a la especie descrita.

Los ejemplares proceden de una piscigranja ubicada en un distrito de la provincia de Yauyos, departamento de Lima, y de piscigranjas ubicadas en tres distritos de la provincia de Huancayo, departamento de Junín.

El presente certificado se expide a solicitud de la interesada para fines académicos y de investigación.

Se expide el presente certificado para los fines que estime convenientes.

Lima, 08 de noviembre del 2021

KARINA HINOSTROZA AYALA
DNI: 42922475
CBP N° 11576
BIOLOGA ESPECIALISTA
EN RECURSOS NATURALES Y ECOLOGIA

Anexo 3. Certificado de acreditación ISO/IEC 17025:2017 del laboratorio Actlabs Skyline Perú S.A.C



Certificate of Accreditation

Certificat d'accréditation

scc ccn

Actlabs Skyline Peru S.A.C.

Street Martin de Murua 170-174 San Miguel Lima, Peru 511

SCC file number: / Dossier du CCN n° : 151260

Initial accreditation date: / Date de la première accréditation :2021-12-20

having been assessed by the Standards Council of Canada (SCC) and found to conform with the requirements of ISO/IEC 17025:2017 and the conditions for accreditation established by SCC is hereby recognized as an

ACCREDITED TESTING LABORATORY

for the specific tests or types of tests listed in the scope of accreditation approved by SCC and found on the SCC website at www.scc.ca.

ayant fait l'objet d'une évaluation du Conseil canadien des normes (CCN), et ayant été trouvé conforme aux exigences énoncées dans ISO/IEC 17025:2017 et aux conditions d'accréditation établies par le CCN, est de ce fait reconnu comme étant un

LABORATOIRE D'ESSAIS ACCRÉDITÉ

pour les essais ou types d'essais énumérés dans la portée d'accréditation approuvée par le CCN et figurant dans le site Web du CCN au www.ccn.ca.

Vice-President – Accreditation Services / Vice-président – Services d'accréditation

Issued on: / Délivré le :2021-12-20

The validity of this certificate, including the date of last re-accreditation and its expiry can be confirmed by the accompanying Scope of Accreditation document in the Directory of Accredited Laboratories on the SCC website at www.scc.ca.

This laboratory is accredited in accordance with the recognized International Standard ISO/IEC 17025:2017. The accreditation demonstrates technical competence for a defined scope and the operation of a laboratory quality management system (refer to joint ISO-ILAC-IAF communiqué dated April 2017).

Pour vérifier la validité du présent certificat, y compris la date de la dernière réaccréditation et la date d'expiration du certificat, consulter la portée d'accréditation qui se trouve dans le répertoire des laboratoires accrédités dans le site Web du CCN au www.ccn.ca.

Ce laboratoire est accrédité conformément à la Norme internationale reconnue ISO/IEC 17025:2017. Cette accréditation démontre la compétence technique d'un organisme pour une portée définie et l'exploitation d'un système de management de la qualité de laboratoire (cf. communiqué conjoint ISO-ILAC-IAF date d'avril 2017).

Standards Council of Canada
Open a world of possibilities.

Conseil canadien des normes
Un monde de possibilités à votre portée.

Canada

This certificate is the property of the Standards Council of Canada (SCC) and must be returned on request; reproduction is prohibited except on written approval of SCC.
Ce certificat est la propriété du Conseil canadien des normes (CCN) et doit lui être remis sur demande; toute reproduction est interdite sans l'autorisation écrite du CCN.

Anexo 4. Extracto del Reglamento Técnico MERCOSUR sobre límites máximos permisibles de contaminantes inorgánicos en alimentos

REGLAMENTO TÉCNICO MERCOSUR

Límites Máximos de Contaminantes Inorgánicos en Alimentos

MERCOSUR/GMC/RES. N.° 12/11

CONTAMINANTE INORGÁNICO	EXPRESIÓN	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE (mg/kg)
Arsénico (As)	Expresado como As total	1,00
Cadmio (Cd)	Expresado como Cd total	0,05
Mercurio (Hg)	Expresado como Hg total	0,50
Plomo (Pb)	Expresado como Pb total	0,30

ÁMBITO DE APLICACIÓN: El presente reglamento se aplica a los contaminantes inorgánicos en alimentos destinados al consumo humano.

ACLARACIÓN: Los límites máximos permisibles establecidos se aplican al alimento tal como se ofrece al consumidor final.

FUENTE: Reglamento Técnico MERCOSUR sobre Límites Máximos de Contaminantes Inorgánicos en Alimentos. MERCOSUR/GMC/RES. N.° 12/11

MERCOSUR