

59

Fecha de presentación: octubre, 2021

Fecha de aceptación: diciembre, 2021

Fecha de publicación: febrero, 2022

COMPROBACIÓN DE CALIDAD DE AGUA Y BIOACUMULACIÓN DE CONTAMINANTES MINEROS EN TEJIDOS OONCORHYNCHUS MYKISS EN CUENCAS HIDROGRÁFICAS Y PISCIGRANJA DE LIRCAY-HUANCAVELICA

VERIFICATION OF WATER QUALITY AND BIOACCUMULATION OF MINING CONTAMINANTS IN OONCORHYNCHUS MYKISS TISSUES IN LIRCAY-HUANCAVELICA WATERSHEDS AND FISH FARM

Amadeo Enríquez Donaires¹

E-mail: amadeo.enriquez@unh.edu.pe

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8241-0091>

Luz Marina Acharte Lume¹

E-mail: luz.acharte@unh.edu.pe

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7717-6408>

Luis Quispealaya Armas¹

E-mail: luis.quispealaya@unh.edu.pe

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5770-2538>

Jeny Maribel Asto Gonzales¹

E-mail: jeny.asto@unh.edu.pe

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4176-6558>

Daniel Florencio Lovera Davila²

E-mail: dloverad@unmsm.edu.pe

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2815-0716>

¹ Universidad Nacional de Huancavelica. Perú.

² Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Perú.

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Enríquez Donaires, A., Acharte Lume, L. M., Quispealaya Armas, L., Asto Gonzales, J. M., & Lovera Davila, D. F. (2022). Comprobación de calidad de agua y bioacumulación de contaminantes mineros en tejidos *Oncorhynchus mykiss* en cuencas hidrográficas y piscigranja de Lircay-Huancavelica. *Revista Universidad y Sociedad*, 14(S1), 557-564.

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo comprobar la calidad de agua y bioacumulación de contaminantes mineros en tejidos de *Oncorhynchus mykiss* "trucha arco iris" en los ríos Sicra, Opamayo y piscigranja de Ocopa Lircay Huancavelica. Se ubicaron puntos de muestreo, recolectando muestras de agua y truchas. Se realizó la incineración y digestión; analizando con el espectrofotómetro de absorción atómica; cuyos resultados para muestras de agua en Sicra fueron: arsénico, cadmio y plomo con -0.7711, -0.0021 y 0.0690 mg/l; en Opamayo -1.1508, 0.0016 y 0.0474 mg/l y piscigranja de Ocopa -1.2375, -0.0003 y 0.0252 mg/l respectivamente. La mayoría de valores están debajo de los límites máximos permisibles LMP, excepto el plomo en Sicra fue 0.0690 mg/l superando los LMP, frente al Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM es 0.05mg/l. En truchas del Sicra, el contenido de Pb en víscera fue 1.4061 mg/kg y muestras de piscigranja en piel fue 4.5184 mg/kg; resultados que superan los LMP según Organismo Nacional de Sanidad Pesquero SANIPES y UNION EUROPEA que es 0.3 mg/kg. El estadístico R de Pearson $P > 0.05$ valida la hipótesis, siendo la correlación de contenido de metaloide y metales entre agua y trucha, resulta entre 0.023 y 0.844, significando valor positivo. Concluyendo que incidió la contaminación del agua en la trucha, consecuentemente la calidad de agua no es óptima evidenciando la afectación de origen minero.

Palabras clave: Calidad de agua, bioacumulación, contaminantes mineros, trucha arcoíris, absorción atómica.

ABSTRACT

The objective of the research was to verify the water quality and bioaccumulation of mining pollutants in tissues of *Oncorhynchus mykiss* "rainbow trout" in the Sicra, Opamayo and fish farm of Ocopa Lircay Huancavelica rivers. Sampling points were located, collecting water and trout samples. Incineration and digestion were performed; analyzing with the atomic absorption spectrophotometer; whose results for water samples in Sicra were: arsenic, cadmium and lead with -0.7711, -0.0021 and 0.0690 mg / l; in Opamayo -1.1508, 0.0016 and 0.0474 mg / l and Ocopa fish farm -1.2375, -0.0003 and 0.0252 mg / l respectively. Most of the values are below the maximum permissible PML limits, except for the lead in Sicra was 0.0690 mg / l, exceeding the PML, compared to Supreme Decree No. 015-2015-MINAM is 0.05mg / l. In Sicra trout, the Pb content in viscera was 1.4061 mg / kg and fish farm samples in skin was 4.5184 mg / kg; results that exceed the LMP according to the National Fisheries Health Agency SANIPES and the EUROPEAN UNION, which is 0.3 mg / kg. The Pearson R Statistic $P > 0.05$ validates the hypothesis, being the correlation of metalloid content and metals between water and trout, it results between 0.023 and 0.844, meaning a positive value. Concluding that water contamination had an impact on the trout, consequently the water quality is not optimal, evidencing the impact of mining origin.

Keywords: Water quality, bioaccumulation, mining pollutants, rainbow trout, atomic absorption.

INTRODUCCIÓN

La prevención, de degradación de los ecosistemas en concordancia al 3° Objetivo de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, donde precisa “garantizar una vida sana y promover el bienestar para todas las edades humanas” (ONU, 2015); el propósito de la investigación fue evaluar la calidad de agua y cuantificar la bioacumulación de metales pesados procedentes de la contaminación minera en tejidos de *Oncorhynchus mykiss* “trucha arco iris” de las cuencas hidrográficas y la piscigranja del Distrito de Lircay – Huancavelica. En relación al estudio Ali, et al. (2019), mencionan que los metales pesados son contaminantes ambientales debido a su toxicidad, en el medio ambiente. Sus fuentes naturales incluyen la erosión de rocas que contienen metales y fuentes antropogénicas como la minería.

Maranho, et al., (2014), refieren luego de haber determinado las concentraciones de Zn, Cu, Ni, Pb, y Cd, así como parámetros fisicoquímico tales como oxígeno disuelto, conductividad, temperatura del agua y pH, concluyen que el oxígeno disuelto y la conductividad demostraron una influencia antropogénica, ya que la concentración de oxígeno disuelto disminuyó y la conductividad aumentó desde el tramo aguas arriba hasta el tramo aguas abajo del río.

Asimismo, Chanamé (2009), manifiesta que la contaminación en el Perú es ocasionado por metales pesados, que actualmente es de mucha atención, por lo que no se degradan ni química ni biológicamente en la naturaleza, debido a sus efectos duraderos ya que no son biodegradables, donde la mayoría de ellos son bioacumulables. Zhang, et al. (2016), determinaron, que los metales pesados disueltos (Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb) excepto Zn fueron más altos durante la primavera que en verano, con muestras procedentes de nueve ríos diferentes del lago Pontchartrain, Luisiana, Estados Unidos. Por otro lado Jiménez, et al. (2000), plantean que través de la cadena trófica los niveles de metales en los organismos superiores puede provocar que muchas plantas o animales lleguen a constituir un peligro para la salud y producir intoxicación en los organismos superiores, cuando se ingieren como alimento (Ali, et al., 2019).

Además, **“el efecto de la bioacumulación a través de la cadena alimentaria podría generar biomagnificación de un agente tóxico en organismos, que cuando es consumido por la población humana puede causar riesgos para la salud”** (Molina et al., 2010, p. 3382)

En el Perú existen estudios sobre minería y medio ambiente, donde indican que los metales pesados eliminados con el relave superan los Límites Máximos Permisibles

LMP, trayendo como consecuencia fuertes alteraciones en los cuerpos de agua de los ríos y lagunas como el caso del río Opamayo de la Provincia de Angaraes Departamento de Huancavelica que recepciona relaves mineros, producto del tratamiento de los minerales, que al entrar en contacto con el agua cambia su estado desde la superficie hasta el fondo, convirtiéndose en un peligro para la fauna y flora.

Las truchas arco iris en Perú, habitan en ríos de la sierra, por haberse adaptado con facilidad a los ríos, lagunas y lagos de las zonas alto andinas; sin embargo, la calidad del agua en los ríos, como medio natural en que viven, se encuentra alterada como consecuencia de la explotación minera, básicamente por la presencia de metales pesados. Estos se distribuyen de manera natural en el ambiente por medio de ciclos tanto geológicos como biológicos. El agua de lluvia disuelve rocas y minerales, transporta físicamente material hacia arroyos y ríos que puede afectar a las especies que en ello habitan. (Gamarra & Uceda, 2017; Bautista, 2018).

Segun Anadón, et al. (1984), refieren que **“las investigaciones de metales pesados son de mayor interés en las dos últimas décadas, como respuesta a la eliminación en los causes hídricos de los desechos mineros por las plantas concentradoras de minerales localizadas en los yacimientos mineros, los cuales contienen abundantes residuos minerales que producen efectos tóxicos en los peces, como asfixia debida a la coagulación de mucus sobre las branquias, lesión directa sobre las branquias, acumulación de metales en tejidos internos y lesiones intensas sobre estos tejidos”**

La trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) en sus tejidos son bioacumuladores de metales pesados. Las causas de bioacumulación, se deben a la contaminación química del agua, producida por los relaves mineros, que las empresas vierten directamente a las fuentes hídricas sin ningún tratamiento, las cuales son dispersadas a varios kilómetros de distancia, acentuando aún más el problema de contaminación de los recursos hídricos (Mamani, 2007). Asimismo Angioni, et al. (2021), analizaron las vísceras como la parte comestible (EP, músculo + piel) de la trucha, y mostraron los resultados en $\mu\text{g g}^{-1}$, de acuerdo a la siguiente serie $\text{Cu} > \text{Zn} > \text{Ba} > \text{Al} > \text{Sr} > \text{Fe} > \text{Pb}$ y $\text{Fe} > \text{Al} > \text{Hg} > \text{As} > \text{Mn} > \text{Cu} > \text{Ba} > \text{B} > \text{Zn} > \text{Pb}$, respectivamente.

En la Provincia de Angaraes las truchas se producen generalmente en las aguas de los ríos Opamayo y Sicra, por su adaptación fácil a la temperatura fría de la zona, sin embargo, la calidad del agua del Río Opamayo se encuentra contaminada como consecuencia del vertimiento

de relaves mineros, básicamente por la presencia de metales pesados. Estos se distribuyen por medio de ciclos geológicos como biológicos. Así, cuando es época de lluvia disuelven las rocas y minerales transportándolo mecánicamente hacia la cuenca de estos ríos, afectando también así a los animales acuáticos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio (fase campo) se realizó en los ríos Opamayo, Sicra y piscigranja de Ocopa en la provincia de Angaraes, y la (fase laboratorio) en la facultad de Ingeniería de Minas Civil Ambiental de la Universidad Nacional de Huancavelica; región Huancavelica-Perú.

El tipo de investigación es básica, de nivel correlacional cuyo método es no experimental correlacional y diseño longitudinal.

Las muestras de agua y trucha arco iris fueron obtenidas de puntos de muestreo establecidos con la ayuda de un GPS Map 60 CS, KS, USA en unidades UTM, de las cuencas hidrográficas Sicra, Opamayo y piscigranja de Ocopa (Figura 1) en cantidad de un kilogramo, previo al análisis de contenido de metaloide y metales de muestras de agua se digestó en medio ácido HNO_3 : 2ml y HCL : 1ml y se colocó en el digestor de bloques T° : 85° durante 240 min (Figura 2) con las muestras carne, piel y vísceras de la trucha (Figura 3); se realizó la deshidratación en la estufa IFAMIN por un tiempo de 24 horas a una temperatura de 65°C .

Luego se procedió con la incineración en el horno mufla para la destrucción de la materia orgánica a 500°C por 7 horas, ver figura 3; las cenizas son disueltas con una mezcla de ácido nítrico al 6% y ácido clorhídrico al 3% en una proporción de 1:1, finalmente se filtró y se aforó en una fiola de 100 ml con ácido nítrico al 1% listo para la lectura en el espectrofotómetro de absorción atómica marca Thermo Scientific serie ICE 3000 (Figura 4).

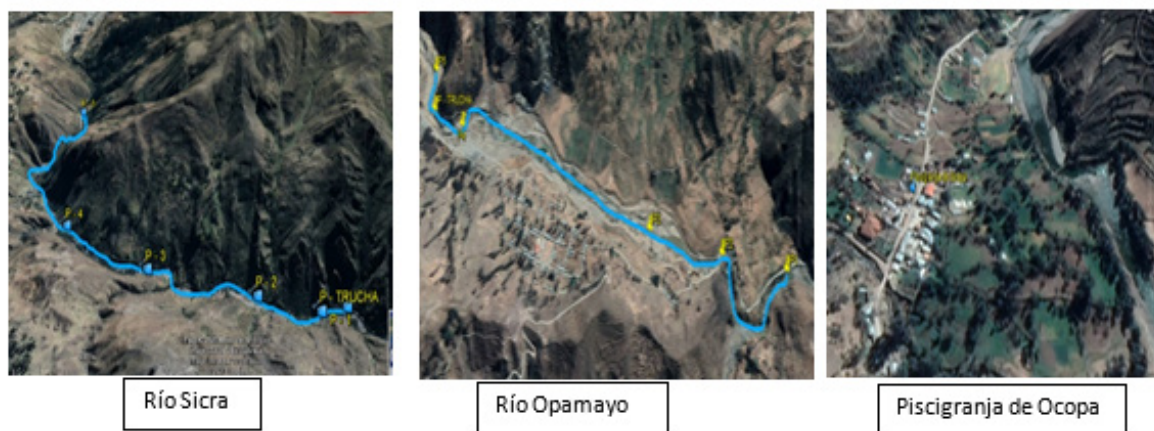


Figura 1. Puntos de muestreo de agua y trucha arco iris de las cuencas hidrográficas Sicra, Opamayo y piscigranja de Ocopa.

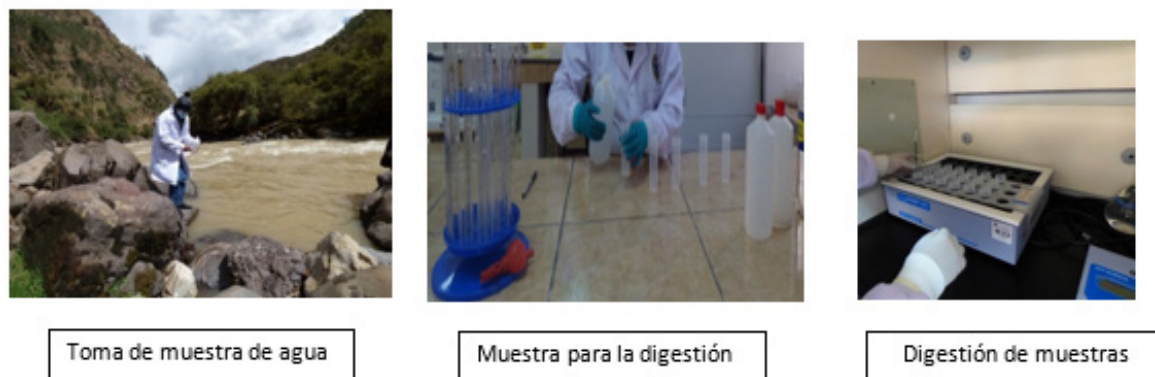




Figura 2. Toma de muestra y digestión de agua de las cuencas hidrográficas Sicra, Opamayo y piscigranja de Ocopa.



Figura 3. Toma de muestras, secado, incineración y digestión de trucha arco iris de las cuencas hidrográficas Sicra, Opamayo y piscigranja de Ocopa.

Fuente: Propia del investigador



Figura 4. Análisis de las muestras de agua y trucha arco iris procedentes de las cuencas hidrográficas Sicra, Opamayo y piscigranja de Ocopa, en el espectrofotómetro de absorción atómica para determinar las concentraciones de arsénico, cadmio y plomo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1, se observa que la concentración en promedio encontrada de plomo en el río Sicra en promedio es de 0.0690 mg/L, del río Opamayo es de 0.0474 mg/L y de la piscigranja de Ocopa es de 0.0252 mg/L, de igual manera las concentraciones en promedio de Cd y As se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles, según el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM Categoría 3 agua para riego de vegetales.

Tabla 1. Promedio de resultados del análisis de Pb, Cd y As en muestras de agua de las cuencas hidrográficas del Río Opamayo, Río Sicra y Piscigranja de Ocopa.

Lugar de muestreo	Pb mg/l	Cd mg/l	As mg/l
Río Sicra	0.069	-0.0021	-0.771
Río Opamayo	0.0474	0.0016	-1.1508
Piscigranja de Ocopa	0.0252	-0.0003	-1.2375
Límite de detección del equipo: 0.0015Pb, 0.008Cd y 0.0015 As mg/l respectivamente.			
Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM: 0.5 Pb, 0.01 Cd y 0.15 As mg/l respectivamente.			

En la tabla 2, se observa que la concentración encontrada de plomo en promedio, en muestras de truchas en los ríos Sicra fue 0.6229 mg/kg, del río Opamayo 1.108 mg/kg y de la piscigranja de Ocopa fue de 1.6366 mg/kg, asimismo de contenido de cadmio en promedio en los ríos Sicra fue 0.0311 mg/kg, del río Opamayo 0.0265 mg/kg y de la piscigranja de Ocopa fue de -0.9788 mg/kg, finalmente el contenido de arsénico en promedio en los ríos Sicra fue 1.6455 mg/kg, del río Opamayo 0.03187 mg/kg y de la piscigranja de Ocopa fue de -0.3109 mg/kg, valores que están por debajo de los límites máximos permisibles que 0,300 mg/kg Pb, 0.10 mg/kg Cd y 1.0 mg/kg As, según las normas SANIPES y Unión Europea.

Tabla 2. Análisis de Pb, Cd y As, en muestras de truchas de las cuencas hidrográficas del Río Opamayo, Río Sicra y Piscigranja de Ocopa.

Lugar de muestreo	Muestra	Pb	Cd	As
Río Sicra	Vícera	1.4062	0.0428	-0.4949
	Piel	0.2086	0.0283	-0.6262
	Carne	0.254	0.0222	-0.8323
Río Opamayo	Vícera	0.1968	0.032	-0.8469
	Piel	0.081	0.0186	-0.9932
	Carne	0.1031	0.0288	-1.0963
Piscigranja	Vícera	0.2691	0.013	-0.0804
	Piel	4.5184	0.0168	-0.3927
	Carne	0.1489	0.0658	-0.4595
Límite de detección del equipo: 0.015 Pb, 0.008 Cd y 0.0015 As mg/l, respectivamente.				
SANIPES y Unión Europea: 0.3 Pb, 0.10 Cd y 1.0 As mg/kg, respectivamente.				

Las muestras de *Oncorhynchus mykiss* "trucha arco iris" recolectadas de las cuencas del río Sicra, Opamayo, y la piscigranja de Ocopa del Distrito de Lircay-Angaraes-Huancavelica, fueron calcinadas en el horno mufla, digestadas en medio ácido con el digestor de bloques y analizadas en el espectrofotómetro de absorción atómica de flama de marca Thermo Scientific serie iCE 3000, encontrando las concentraciones de arsénico, cadmio y plomo, resultados que se observa en la tabla 1 y 2, metaloide y metales que se bioacumularon en los tejidos de la *Oncorhynchus mykiss* "trucha

arco iris”, en las muestras de truchas procedentes del río Sicra la concentración de plomo en viseras fue de 1,4061 mg/kg, también en la piscigranja de Ocopa resulto una concentración alta de plomo en la piel con 4,5184 mg/kg, valores que superan a los Límites Máximos Permisibles LMP de acuerdo con SANIPES y Unión Europea de 0.3 mg/kg; en el río Opamayo las concentraciones de plomo en visera, piel y carne son menores LMP. La determinación de concentraciones de cadmio en visera, piel y carne de truchas en el Río Sicra, Opamayo, y piscigranja de Ocopa, todas presentaron niveles bajos. Por otro lado, la determinación de concentraciones del metaloide arsénico en visera, piel y carne de truchas procedentes del Río Sicra, Opamayo, y piscigranja de Ocopa, todas presentaron resultados de niveles bajos.

Teniendo como referente a Saquipay & Delgado (2019), que encuentran Pb en tejido de la especie *Oncorhynchus mykiss* trucha arco iris, de muestras recolectadas de la microcuenca del río Irquis, después de un análisis con Espectrometría de Masas con Plasma y Espectrometría de Emisión Óptica; los resultados reportan que el Pb es poco detectable y no superan los LMP; concluye que, existe un proceso de bioacumulación de Pb en tejidos de la trucha arco iris en más de la mitad de las muestras del tejido animal, con trazas metálicas muy por debajo de los límites de permisibilidad internacional.

Asimismo, Patiño (2019), determinó cadmio y plomo en las partes anatómicas de la trucha *Oncorhynchus mykiss* del río de Chahuanca, dio a conocer los niveles de contaminación de plomo y cadmio en la escama, músculo, tejido óseo y el hígado de la trucha *Oncorhynchus mykiss*, mediante espectrofotometría de absorción atómica, utilizando el método horno grafito, resultando las concentraciones de Plomo, en componentes anatómicos como: escama 2.37 µg/g, medula 0.06 µg/g, y en hígado, músculo se encuentran debajo del límite de detección; la concentración de Cadmio en componentes anatómicos fueron: hígado 1.52 µg/g y en escama, músculo, medula se encuentran debajo del límite de detección. Según Unión Europea. Reglamento CE N° 1881/2006 de 19 de diciembre de 2006 y 2017 por el que se fija el contenido máximo de determinados contaminantes en los productos alimenticios, el contenido máximo de plomo en la carne de pescado es de 0.30 mg/kg y cadmio en la carne de pescado es de 0.050 mg/kg. Finalmente, Varol & Sünbül (2017), refieren que el Arsénico, cadmio y plomo son tóxicos a cualquier concentración, como la trucha arco iris que se ubica en lo alto de la cadena alimenticia que representa un riesgo para la salud humana.

Las muestras de agua obtenidas de las cuencas hidrográficas del río Sicra, Opamayo y piscigranja de Ocopa,

fueron digeridos en medio ácido y analizados en el espectrofotómetro de absorción atómica, para determinar la concentración de plomo, cadmio y arsénico, encontrando el promedio general de las concentraciones de plomo en las muestras de agua de las cuencas mencionadas siendo estos valores de 0,0690; 0,0474 y 0,0252 mg/l de plomo respectivamente; asimismo las concentraciones del metal cadmio y metaloide arsénico comparado con el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM que es de 0.01 mg/l, con respecto al arsénico todas las concentraciones promedias en los ríos Sicra, Opamayo y piscigranja Ocopa resultaron por debajo de los LMP.

Como referente de la presente investigación, (Chata Quenta, 2015) determinó la relación de metales pesados: Hg, As, Pb y Cd en agua de la cuenca del Río Coata, cuyo resultado de concentración promedio de arsénico, plomo y cadmio fueron 0.048mg/l, 0.014mg/l y 0.00050mg/l respectivamente, ninguno de los metales pesados analizadas en muestras de agua superan los estándares nacionales de calidad ambiental para bebida de animales y riego de vegetales de consumo crudo establecidos por el Ministerio del Ambiente Peruano.

Sin embargo investigadores Sempértegui, et al. (2019), determinaron la concentración de cadmio, arsénico y plomo en muestras de agua del Río Saucicucho y del efluente minero informal, encontrando como resultados durante las dos evaluaciones, una concentración de cadmio de 0.003 mg/L en la primera evaluación 0.084 mg/L; el arsénico de 0.876 mg/L, en la segunda evaluación cadmio con 1.605 mg/L, arsénico con 17.78 mg/L, plomo con 0.566 mg/L, que superan los límites máximos permisibles.

En tanto, Reyes, et al. (2016), identificaron un creciente problema de contaminación por metales pesados en agua, que compromete severamente la salud, seguridad alimentaria y medio ambiente, lo que motiva realizar estudios sistemáticos, científicos y complementarios del contenido de metales pesados en diferentes fuentes hídricas que permitan la elaboración de informes y con visión del futuro.

Al ser contrastada la hipótesis planteada, la calidad de agua y la bioacumulación de metales pesados procedentes de la contaminación minera en tejidos de *Oncorhynchus mykiss* “trucha arco iris” no están contaminadas significativamente en las cuencas hidrográficas y la piscigranja de Ocopa del Distrito de Lircay – Huancavelica; con los resultados de la investigación; no se acepta la hipótesis planteada por haber determinado presencia de arsénico, cadmio y plomo en concentraciones por debajo de los límites máximos permisibles.

CONCLUSIONES

En razón al primer objetivo específico se determinó concentraciones altas en el río Sicra y piscigranja de Ocopa que contienen plomo en viseras con 1,4061 mg/kg; en la piel con 4,5184 mg/kg respectivamente y comparando con la norma SANIPES y UNION EUROPEA se encuentran por encima de los límites máximos permisibles de 0,3 mg/kg; en el río Opamayo las concentraciones de plomo en visera, piel y carne son mínimas. La determinación de concentraciones del metal cadmio y metaloide arsénico en visera, piel y carne de truchas en el Río Sicra, Opamayo y piscigranja de Ocopa, todas presentaron niveles bajos a los LMP.

Respecto al segundo objetivo se determinó concentraciones de plomo en los ríos Sicra, Opamayo y piscigranja de Ocopa las muestras de agua con valores 0,0690; 0,0474 y 0,0252 mg/l respectivamente; los que en comparación al Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM 0,05 mg/l, solo la concentración de Pb encontrado en agua del río Sicra está por encima de los límites máximos permisibles, las concentraciones del metal cadmio y metaloide arsénico, en comparación al Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, en toda las cuencas se encuentra por debajo de los LMP.

Respecto al tercer objetivo específico se determinó que la significancia es menor que 1, concordantes a los valores estadísticos de R de Pearson las dos variables de agua y trucha se encuentran entre 0,023 y 0,844; significando un valor correlativo positivo perfecto.

Con respecto a la hipótesis planteada; se acepta, por haber determinado presencia de plomo en concentraciones por encima de los límites máximos permisibles, de cadmio y arsénico las concentraciones están debajo de los LMP.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ali, H., Khan, E., & Ilahi, I. (2019). Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: Environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation. *Journal of Chemistry*. <https://www.hindawi.com/journals/jchem/2019/6730305/>
- Angioni, A., Corrias, F., Atzei, A., Sabatini, A., Palmas, F., Lai, C., & Russo, M. (2021). Heavy metal and metalloid accumulation in wild brown trout (*Salmo trutta* L., 1758 complex, Osteichthyes: Salmonidae) from a mountain stream in Sardinia by ICP-OES. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(7).
- Bautista Trillo, C. A. (2018). Evaluación del contenido de metales pesados en carne y tejido óseo de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) producidos en el centro poblado de Paccho Molinos, Paucará - Huancavelica. (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional de Huancavelica.
- Chanamé Zapata, F. C. (2009). Bioacumulación de metales pesados procedentes de la contaminación minera y metalúrgica en tejidos de *oncorhynchus mykiss* "trucha arco iris" de los centros de producción de la provincia de Yauli—Junín. (Tesis doctoral). Universidad Nacional de Trujillo
- Chata Quenta, A. (2015). Presencia de Metales Pesados (Hg, As, Pb y Cd) En Agua y Leche En la Cuenca del Río Coata 2015. (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional del Altiplano.
- Jiménez, R., Díaz, C., Pomares, M., Alleyne, S., Torres, I., & Aguilar, C. (2000). Procedimiento analítico para la determinación de metales en tejido de peces (*Micropogonias furnieri*) por espectroscopía atómica. *Ingeniería Química*, 12(1), 32-41.
- Gamarra, N. A., & Uceda, R. Y. (2017). *Determinacion de metales pesados por espectrofotometria de absorcion atomica en truchas arcoiris "Oncorhynchus mykiss" del Río Chiapuquio de Ingenio Huancayo*. (Tesis de licenciatura). Universidad Inca Garcilaso de la Vega.
- Mamani, A. (2007). Complejo metalúrgico La Oroya-Perú. https://www.ecoportal.net/temas-especiales/contaminacion/complejo_metalurgico_de_la_oroya_peru/
- Molina, C. I., Gibon, F.M., Duprey, J. I., Domínguez, E., Guimaraes, J.R. D., & Roulete, M. (2010). Transfer of mercury and methylmercury along macroinvertebrate food chains in a floodplain of the Beni River, Bolivian Amazonia. *Sci. Total Environ.*, 16, 3382-3391.
- Maranho, L. A., Maranhão, L. T., Botelho, R. G., & Tornisielo, V. L. (2014). Dissolved heavy metal determination and ecotoxicological assessment: A case study of the Corumbataí river (São Paulo, Brazil). *Arhiv za Higijenu Rada i Toksikologiju*, 65(3), 319-328.
- Patiño, M. (2019). *Determinación de cadmio y plomo en las partes anatómicas de la trucha (oncorhynchus mykiss) del río de Chahuanca*. (Tesis de grado). Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac

- Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Díaz, M., & González, E. (2016). *Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria*, *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*. Boyaca: Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo, 16(2).
- Saquipay, E. H., & Delgado, M. E. (2019). *Cuantificación de Hg, Al y Pb en la microcuenca del río Irquis, área hidrográfica colindante a la concesión minera Loma Larga, a través del análisis de tejido en la especie *Oncorhynchus mykiss* (trucha arco iris)*. (Tesis de grado). Universidad Politécnica Salesiana.
- Sempértégui, C. O., Ambrocio, B. L., & Rudas, C. A. (2019). Determinación de la concentración de mercurio, cadmio, arsénico y plomo en el río Saucicucho y efluente minero. San Miguel de Algamarca. Cajabamba. (Trabajo de investigación). Universidad Privada del Norte.
- Varol, M., & Sünbül, M. S. (2017). *Comparison of heavy metal levels of farmed and escaped farmed rainbow trout and health risk assessment associated with their consumption*. "Environ Sci Pollut Res Int.", (29), 23114-23124.
- Zhang, Z., Wang, J. J., Ali, A., & DeLaune, R. D. (2016). Heavy metal distribution and water quality characterization of water bodies in Louisiana's Lake Pontchartrain Basin, USA. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(11).