

# Metales pesados en agua y truchas de las estaciones pesqueras del río Apacheta, Ayacucho

*Heavy metals in water and trout from the fishing stations of the Apacheta River, Ayacucho*

 Fortunato De La Cruz Palomino <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, Perú

Contacto: <sup>1</sup> fortunato.delacruz@unsch.edu.pe

## RESUMEN

El estudio aborda la relación existente entre los metales pesados del agua que fluye a estaciones pesqueras y la musculatura de la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) de las estaciones pesqueras Hatumpampa, Qenhuacucho y Qorichallwa, situados al pie de Apacheta-Vinchos (región Huamanga, Ayacucho); estudio aplicado de alcance descriptivo correlacional, diseño no experimental y transversal; la población estudiada estuvo constituida por truchas con peso de 200 a 250 gramos, y las aguas del río Apacheta, que alimenta a las estaciones pesqueras en estudio. Para el análisis del agua, se establecieron tres puntos de muestreo. Como resultado, se encontró que la concentración del arsénico en el agua superó los estándares de calidad del ámbito para la categoría 4 (E2), precisados en el Decreto Supremo del Ministerio del Medio Ambiente, N° 004-2017; del mismo modo, el contenido de arsénico en el tejido muscular de la trucha supera el contenido máximo permitido fijado por la Norma Nacional de Seguridad Alimentaria y la Comisión del Códex de la República Popular China; por otro lado, los grados de agrupación de cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo, selenio y Zinc se encuentran por debajo de los valores máximos permisibles en agua y en el tejido muscular de la trucha. Se esgrime que existe una baja correlación entre los niveles de metales pesados en el agua y en la musculatura de la trucha.

**Palabras clave:** Tejido muscular, trucha, estaciones pesqueras, metales pesados, límites permisibles.

## ABSTRACT

The study addresses the relationship between heavy metals in the water that flows to fishing stations and the musculature of rainbow trout from the Hatumpampa, Qenhuacucho and Qorichallwa fishing stations, located at the foot of Apacheta-Vinchos (Huamanga region, Ayacucho); applied study of correlational descriptive scope, non-experimental and cross-sectional design; The population studied was made up of trout weighing 200 to 250 grams, and the waters of the Apacheta River, which feeds the fishing stations under study. For water analysis, three sampling points were established. As a result, it was found that the concentration of arsenic in the water exceeded the quality standards of the area for category 4 (E2), specified in the Supreme Decree of the Ministry of the Environment, No. 004-2017; Similarly, the arsenic content in trout muscle tissue exceeds the maximum allowable content set by the National Food Safety Standard and the Codex Commission of the People's Republic of China; On the other hand, the levels of cadmium, copper, chromium, mercury, nickel, lead, selenium and zinc are below the maximum permissible values in water and in the muscle tissue of trout. It is argued that there is a low correlation between the levels of heavy metals in the water and in the muscles of trout.

**Keywords:** Muscle tissue, trout, fishing stations, heavy metals, permissible limits.

## INTRODUCCIÓN

Los contaminantes ingresan al ecosistema de tres maneras; primero, directamente en cuerpos de agua; segundo, absorbiendo agua del suelo; en tercer lugar, el aire, con partículas tóxicas, puede viajar largas distancias y llegar a cuerpos de agua, donde acumula propiedades (Piñero et al., 2019).

Por su parte, para Reyes et al. (2016) La mayor exposición a metales tóxicos se produce en los alimentos, es un problema mayor que en el agua potable. El agua del río Apacheta es dulce, donde habitan truchas en estaciones pesqueras y metales pesados que intercambian relaciones.

Las estaciones pesqueras cercanas de crianza de truchas son empresas comerciales dedicadas a la comercialización de truchas. Como producto, la bioacumulación de metales pesados perjudica el crecimiento típico de las poblaciones de peces y de la fauna y flora silvestre, así como en su potencial de producción y rentabilidad, lo que puede derivar en obstáculos en la biotransformación y estructura celular de órganos, según estudios realizados en presentaciones originales y aprobadas (Marín, 2007, Boy, 2015, Álvarez & Amancio, 2014). Algunos metales tóxicos tienen el potencial de biodegradación a lo largo de la cadena alimenticia, aumentando la polución en su cuerpo a medida que evoluciona la calidad de los alimentos (Eissa et al., 2003; Aquino, 2009). Se pueden detectar altas concentraciones de contaminantes metálicos en cuerpos de agua en organismos susceptibles a ellos. Los peces se consideran uno de los altos pilares de condiciones meteorológicas porque son muy sensibles a los cambios en el medio acuático (Bautista, 2018; Quispealaya et al., 2021).

El río Apacheta se origina de los nevados de la Cordillera Central, incluido del distrito de Vinchos. Según Newmont Perú SRL (2009), el estado reproductivo de la trucha en la zona está vinculado a la contaminación por metales pesados, originado por los prospectos mineros polimetálicos que se encuentran río arriba y en áreas adyacentes como Tunsulla; hay presencia del cuarzo, goethita, galena, pirita, esfalerita en vetas medianas de sulfuro (1-5 cm de ancho) y vetas delgadas (menos de 1 cm). La mineralización se presenta principalmente en oro, plata, plomo y zinc; estos minerales contaminan el agua del río con metales pesados: aluminio, hierro, arsénico, manganeso y zinc, arrojados al río sin el tratamiento adecuado; igualmente, pequeñas cantidades de desechos orgánicos que también pueden contaminar las fuentes de agua.

Los metales pesados se introducen naturalmente en las vías fluviales a través de la escorrentía, mediante los productos de lixiviación del suelo de la mina y la

presencia de rocas mineralizadas. La contaminación del río Apacheta viene degradando la calidad del agua en los estanques, donde diversos contaminantes (metales pesados, residuos orgánicos sólidos, etc.) atrapados en la captación aguas arriba tendrán diferentes efectos como la contaminación del agua de los estanques de truchas, así como del riego de tierras agrícolas cercanas a los centros de producción de pescado, incluso para la alimentación.

Las aguas del río Apacheta cuentan con estanques de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), particularmente en las estaciones pesqueras denominadas Jatumpampa, Qenhuacucho y Qorichallwa, sitios ejemplares para este trabajo. Respecto a este caso, Corrales (2013) que la concentración de metales tóxicos en el medio acuático puede provocar graves daños al agua y a los recursos pesqueros y provocar graves daños al medio ambiente y a la salud humana debido a la presencia de varios metales biodegradables altamente tóxicos, igualmente: se acumulan en los organismos acuáticos y se transfieren a los humanos por ingestión de alimentos (Rojas et al., 2008). Si no se realiza una descripción, interpretación, estudio o análisis de los depósitos de metales pesados en cuerpos de agua y tejido muscular de truchas en las estaciones pesqueras y si no se proponen alternativas, el problema de contaminación puede empeorar medidas para reducir la contaminación del agua y de las truchas.

En este sentido, el objetivo fue describir la relación entre las concentraciones de metales pesados en el agua y en el tejido muscular de la trucha arco iris de las estaciones pesqueras Jatumpampa, Qenhuacucho y Qorichallwa, ubicadas en el recorrido del río Apacheta, distrito de Vinchos (Huamanga, región Ayacucho). Este estudio es importante porque ayudará a determinar los efectos en la salud de los consumidores que consumen truchas de cultivo en las cuencas de los ríos Apacheta y Vinchos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Materia prima

El área de estudio comprende el recurso hídrico de Apacheta, que alimenta a los criaderos de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*): Jatumpampa, Qenhuacucho y Qorichallwa, ubicados en el distrito de Vinchos, provincia de Huamanga, región Ayacucho.

La población comprende el recurso hídrico de Apacheta, que desemboca en los criaderos Jatumpampa, Qenhuacucho y Qorichallwa, y las truchas que se ubican en el cauce del río Apacheta.

### Muestreo de agua

Para la toma de muestra de agua, se eligieron tres puntos, considerando el abastecimiento del recurso

hídrico mediante un canal, aproximadamente a 50 metros de la entrada a cada estación de pesca (Jatumpampa, Qenhuacucho y Qorichallwa). Se abrió la tapa y contratapa del frasco, se enjuagó varias veces con agua y se introdujo a una profundidad de 25 cm, en dirección opuesta al recorrido del agua (contracorriente); se recolectó el agua en frascos de 100 ml de capacidad en cada punto de monitoreo. En el frasco, se anotó todos los datos solicitados para el análisis (coordenadas, altitud, tipo de agua, etc.). Después de tomar las muestras de agua de cada punto para su conservación, se agregó 6 gotas de ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>), para acidificar y para que no cambie de propiedades a las muestras en su composición y se tapó el frasco. Luego, se transportó a una incubadora, con bolsa de gel Pack refrigerante y se envió al laboratorio SGS del Perú S.A.C. Lima para su análisis. El método de muestreo para el muestreo de agua fue aleatorio (Sánchez, 1986); esto significó que parte del agua se recogió de un canal que ingresaba a cada estación pesquera.

Se empleó el método EPA 200.8 Rev.5.4. 1994 (validado fuera del alcance), que implicó la determinación de oligoelementos en agua y desechos mediante espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente.

### **Muestreo de truchas**

Se recolectaron truchas el tamaño de 30 cm. y peso comercial 250 gramos para el análisis de las concentraciones de metales pesados en sus músculos, de los estanques Jatumpampa, Qenhuacucho y Qorichallwa. Se recolectaron al azar tres truchas, con un peso total 700 gramos a más por cada estación pesquera, peces adultos en edad comercial.

Después del sacrificio de los individuos, se sacó sus vísceras y se lavó con agua corriente; se limpió para evitar la contaminación de sus músculos; luego, se colocó en una bolsa Ziploc herméticas a tres truchas de cada punto de muestreo; se codificó en cada estanque y se colocó en una hielera; luego, se envió a los laboratorios SGS del Perú S.A.C. de Lima para los análisis correspondientes. Se utilizó el método AOAC, método oficial 2013-06 21.a ed. 2019 (arsénico, cadmio, mercurio en alimentos de digestión a presión y plasma acoplado inductivamente: espectrometría de masas: validado-modificado). Este método es aplicable para la determinación de metales en muestras hidrobiológicas. Las muestras son digeridas en recipientes cerrados con soluciones ácidas, a temperatura y presión elevadas, mediante el uso de un horno microondas. Las muestras se pueden trabajar secas o húmedas. Una vez realizada, se lleva a un volumen conocido diluyéndolo con agua, para su posterior lectura por ICP masas; donde mediante un detector de masas, se identifica los analitos de interés para su posterior cuantificación.

El procedimiento se detalla a continuación. Se pesó 1 g de muestra ( $\pm 0.005g$ ) en una balanza analítica con código PO-253-T marca OHAUS modelo AX224 de procedencia Estados Unidos, previamente homogenizada (el peso en función al tipo de muestra), en un liner de teflón resistentes a presión y temperaturas; posteriormente se agregó 3 ml a 8 ml de ácido nítrico libre de metales (peso en función a la matriz), se homogenizó con la ayuda de un vortex y mantener en reposo por 20 min. Se colocó las muestras en el rotor del microondas para una digestión; una vez digerida, la muestra es trasvasada y homogenizada en fiola de 20 ml, para su posterior lectura por ICP-MS (Perkin Elmer, modelo NEXION 300D; N° de serie 810N81102803, USA) donde los metales son separados según su relación carga/masa, cada una de las masas llega al detector donde se evalúa su concentración, posteriormente se colocó las muestras en el rotor del microondas para una digestión completa. En cada lote de trabajo, se ha incluido controles de calidad (blancos, duplicados, adiciones, muestra control) para verificar que el proceso se haya realizado adecuadamente.

### **Análisis de metales pesados en agua**

Se tomó un volumen representativo de muestra (aproximadamente 2 a 5 ml) para realizar el proceso de digestión utilizando el tipo de agua ultrapura, a una temperatura controlada y se llevó a un volumen final determinado. Posteriormente, se colocó las muestras en el automuestreador del equipo ICP-Masas para que se procediera con la lectura. Las lecturas obtenidas son migradas a nuestro SOFTWARE (SISTEMA) del laboratorio donde se recopila los resultados obtenidos de los equipos para el reporte de los resultados (LIMS). Se establecieron controles de acuerdo con los requerimientos de la metodología de ensayo: Curva de calibración, cada vez que se analizan las muestras, control de verificación de curva, blancos, etc.

### **Análisis estadístico**

Por su finalidad, fue una investigación aplicada (Sierra et al., 1988). El alcance de la investigación fue descriptivo correlacional (Hernández et al., 2014), diseño no experimental transversal (Carrasco, 2009, Bernal, 2010).

Con la finalidad de comparar las zonas de muestreo (piscigranjas) según la concentración de arsénico, cobre, selenio y zinc, se realizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis debido a que los datos no tuvieron una distribución normal, tanto del agua como en el músculo de la trucha. En ningún de los casos no se halló diferencia estadística significativa ( $p > 0.05$ ) con una confianza del 95 % ( $\alpha = 0.05$ )

El análisis estadístico de metales (cadmio, mercurio, plomo, selenio) no es posible, porque estos valores corresponden a  $>0 < 0$ .

Se puede observar que no existe una diferencia significativa entre la concentración promedio de metales pesados en el agua que ingresa al centro de producción; es decir, todos los metales pesados que ingresan a las tres estaciones pesqueras tienen la misma concentración.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Metales pesados en agua.

El valor promedio del arsénico en agua entrante a la estación pesquera de Jatumpampa fue de  $0.24 \pm 0.05$  ppm; de Qenhuacucho,  $0.21 \pm 0.4$  ppm y en Qorichallwa, de  $0.2 \pm 0.03$  ppm. Los resultados mostraron que la concentración de arsénico en el agua proveniente del río Apacheta a las estaciones pesqueras de trucha superó el estándar de calidad ambiental (ECA) (0.15 ppm) para aguas de categoría 4, ríos costeros y de montaña, establecido por las normas nacionales. Mientras que, en el río Tingo Parca, río San Juan y río Varaga, en la provincia de Pasco, tuvieron valores de “<0.005 ppm”, “0.01 ppm” y “0.005 ppm”, respectivamente (Murga, 2020, p. 32-48).

El contenido medio de cadmio del agua que entra hacia los estanques estudiados fue de 0.00002 ppm; mientras, dentro del estuario del río Chone, Manabí-Ecuador, el sitio con mayor nivel de cadmio fue de 0.129 mg/l, superior a “LMP” (Pozo, 2017).

En el agua que fluye, el contenido medio de cobre hacia los estanques estudiados fue: en Jatumpampa,  $0.00087 \pm 0.009$  ppm; en Qenhuacucho,  $0.0011 \pm 0.00092$  ppm; en Qorichallwa,  $0.0021 \pm 0.0012$  ppm. Resultados similares se encontraron en el río Challhuahuacho, con un valor de 0.00609 ppm (Zevallos, 2018), que se encuentra por debajo del LMP. Por el contrario: “las aglomeraciones en los ríos Huallaga, Tingo Palca y San Juan fueron de 0.1421 ppm, 2.668 ppm y 2.43 ppm, respectivamente”, superiores al “LMP” (Murga, 2020, pp. 32-34). El contenido promedio del cromo del agua que fluye hacia los estanques de Jatumpampa y Qenhuacucho se obtuvo en 0.0002 ppm; en la estación

pesquera Qorichallwa, arrojó  $0.00015 \pm 0.00022$  ppm. En cambio, en las aguas del río Jarama, se observaron concentraciones de cromo total entre 0.05 y 0.10 mg/l (Arauzo et al., 2003), superior al “LMP”.

La aglutinación promedio del mercurio del agua que fluye hacia los estanques de pesca en el estudio fue de 0,00008 ppm. En aguas del afluente de la laguna de la Rinconada-Puno, se presentaron niveles similares, variando de < 0.00005 a 0.00043 ppm (Loza del Carpio et al., 2020). “Se detectó 0,00028 ppm en el río Charhuaggio” (Zevallos, 2018, p. 23). La aglutinación promedio de níquel del agua que fluye a la estación Jatumpampa resultó  $0.0027 \pm 0.0004$  ppm; a la estación Qenhuacucho,  $0.0021 \pm 0.00067$  ppm; y a la estación Qorichallwa, resultó  $0.0019 \pm 0.00017$  ppm. “La mayor aglomeración se encontró en la playa Riohacha, en La Guajira, Colombia, siendo el valor de 0,066 ppm” (Doria y Deluque, 2015, p. 127), superior a LMP. El contenido promedio de plomo del agua que fluye a las estaciones pesqueras en estudio fue de 0.0005 ppm, Por otro lado: se detectó un valor de 0.00038 ppm en el río Challhuahuacho (Zevallos, 2018, p. 23), el cual es inferior al LMP. En cambio: encontró 0.21 ppm en el estuario del río Chone-Manabí-Ecuador (Pozo, 2017), superior al LMP establecido por ECA.

La concentración promedio de selenio en el agua afluente a las estaciones pesqueras en este trabajo se determinó en <0.0012 ppm. En cambio: se detectó un valor de 0.0117 ppm en el río Challhuahuacho (Zevallos, 2018, p. 1), mayor que “LMP”. El nivel promedio de concentración de zinc en el agua que fluye a la estación pesquera Jatumpampa arrojó  $0.01 \pm 0.0013$  ppm; en la estación pesquera Qenhuacucho, ingresó  $0.0044 \pm 0.00093$  ppm; a la estación pesquera Qorichallwa, ingresó  $0.01 \pm 0.0022$  ppm. Resultados similares se encontraron: en el río Challhuachuacho, a 0.0025 ppm (Zevallos, 2018, p. 23) y 0.0212 ppm en el río Tingo Palcas (Murga, 2020), no excede el LMP. En cambio: se detectaron valores de 0.214 ppm y 3.82 ppm en los ríos Huallaga y San Juan, respectivamente (Murga, 2020, pp. 32-48), superaron el LMP.

**Tabla 1**

*Aglomeración promedio de metales pesados en el agua que llega a las estaciones (piscigranjas)*

Metales	RIJAN	RIQEN	RIQOR
	Media	Media	Media
Arsénico (ppm) A	$0.24 \pm 0.05^a$	$0.21 \pm 0.4^a$	$0.2 \pm 0.03^a$
Cadmio (ppm) A	$0.00002 \pm 0$	$0.00002 \pm 0$	$0.00002 \pm 0$
Cobre (ppm) A	$0.00087 \pm 0.00091^a$	$0.0011 \pm 0.00092^a$	$0.0021 \pm 0.0012^a$
Cromo (ppm) A	$0.00002 \pm 0^a$	$0.00002 \pm 0^a$	$0.00015 \pm 0.00022^a$
Mercurio (ppm) A	$0.00008 \pm 0$	$0.00008 \pm 0$	$0.00008 \pm 0$
Níquel (ppm) A	$0.0027 \pm 0.0004^a$	$0.0021 \pm 0.00067^a$	$0.0019 \pm 0.00017^a$
Plomo (ppm) A	$0.0005 \pm 0$	$0.0005 \pm 0$	$0.0005 \pm 0$
Selenio (ppm) A	$0.0012 \pm 0$	$0.0012 \pm 0$	$0.0012 \pm 0$
Zinc () A	$0.01 \pm 0.0013^a$	$0.0044 \pm 0.00093^a$	$0.01 \pm 0.0022^a$

Las letras iguales horizontales indican que no hay desigualdad relevante en las aglomeraciones promedio ( $P \geq 0.05$ ).

## Metales pesados en truchas

Sobre la concentración de arsénico en tejido muscular de truchas, en la estación de pesca Qenhuacucho (EPQEN), registró  $0.28 \pm 0.05$  ppm; en la estación pesquera Jatumpampa (EPJAN), registró  $0.41 \pm 0.12$  ppm; en la estación pesquera Qorichallwa (EPQOR), registró  $0.44 \pm 0.11$  ppm. La prueba de Kruskal-Wallis no registra diferencias significativas ( $P \geq 0.05$ ). Estas concentraciones superan los límites máximos permisibles en músculo de los peces, establecido por la Normas Internacional FAO/OMS (0.002ppm) y de la Estándar China (0.10 ppm.) en el río Apacheta. Por otro lado: “0.005 mg/kg para estaciones pesqueras locales en la región de Pasco” (Murga, 2020, pp. 32-48), que es inferior al estándar chino, pero superior al estándar internacional.

Por otra parte: 0.368 ppm. para el río Ricra Huancavelica Perú (Quispealaya, L 2021, pp.73) superior al “LMP”

Para el caso del cobre en el músculo de las truchas, numéricamente, fueron diferentes. Para Jatumpampa (EPJAN), fue de  $0.31 \pm 0.08$  ppm.; para Qenhuacucho (EPQEN), de  $0.34 \pm 0.02$  ppm.; en Qorichallwa (EPQOR), de  $0.33 \pm 0.05$  ppm. La prueba de Kruskal-Wallis no halló significancia estadística al comparar las estaciones pesqueras ( $P \geq 0.05$ ).

Es importante mencionar que los valores reportados no superan los límites máximos permisibles establecidos por normas WHO/ FAO, que es de 0,42 ppm; en la estación pesquera Qorichallwa,  $0.33 \pm 0.05$  ppm. Por otro lado: 1.12 ppm se halló en estaciones pesqueras de la región local de Pasco (Murga 2020, pp. 32-48). Se hallaron también en truchas de cultivo en las provincias de Puno y Huancané: 0.038 ppm y 0,080 ppm, respectivamente, citado por Chui et al., 2020. Estos

valores no superan los límites máximos permisibles establecidos por normas WHO/ FAO: 0.42 ppm

Se explica que el selenio (Se) presentó la menor concentración en la estación pesquera Qorichallwa,  $0,31 \pm 0,09$  ppm; en la estación pesquera Jatumpampa (EPJAN),  $0,34 \pm 0,12$  ppm y relativamente alta en la estación pesquera Qenhuacucho (EPQEN),  $0,36 \pm 0,09$ . No hubo diferencia estadísticamente significativa entre las estaciones de pesca ( $P \geq 0.05$ ).

Pero: El contenido de selenio en el músculo de la especie raya capturado en el Alto Golfo de California y Punta de lobos en la costa oeste de Baja California Sur fue de  $1.90 \pm 0.65$  ppm (Murillo, 2014, p. 25),

Para el zinc (Zn), la estación Pesquera Jatumpampa (EPJAN) presentó la concentración más baja,  $4.13 \pm 0.31$  ppm; en Qenhuacucho (EPQEN),  $4.19 \pm 0.37$  ppm; la concentración más alta es en la estación pesquera Qorichallwa (EPQOR),  $4.35 \pm 0.46$  ppm; pero no hubo diferencia significativa entre estaciones de pesca ( $P \geq 0.05$ ).

Además, estos valores no sobrepasan el contenido máximo permisible estipulado en la Norma de la Comisión Europea (EC): 30 ppm.

En casos similares: en una estación de pesca local en la zona de Pasco, se registró 0.009 ppm (Murga, 2020, pp. 32-48). Por otro lado: en truchas en cultivo en las provincias de Puno y Huancané, se registró  $15,0 \pm 0,95$  ppm y  $14,3 \pm 0,87$  ppm, respectivamente), citado por Chui et al. (2020). Por otro lado, se encontró: 0.5349 ppm en el lago Izabal (Boy Mansilla, 2015, p. 43), inferior del contenido máximo permisible (CMP), según lo establecido por la Unión Europea y fijado en 30 ppm.

**Tabla 2**

*Concentración media de metales pesados en músculos de truchas en las estaciones pesqueras*

Metales	EPJAN	EPQEN	EPQOR
	Media	Media	Media
Arsénico (ppm) M	$0.41 \pm 0.12^a$	$0.28 \pm 0.05^a$	$0.44 \pm 0.11^a$
Cobre (ppm) M	$0.31 \pm 0.08^a$	$0.34 \pm 0.02^a$	$0.33 \pm 0.05^a$
Selenio (ppm) M	$0.34 \pm 0.12^a$	$0.36 \pm 0.09^a$	$0.31 \pm 0.09^a$
Zinc (ppm) M	$4.13 \pm 0.31^a$	$4.19 \pm 0.37^a$	$4.35 \pm 0.46^a$

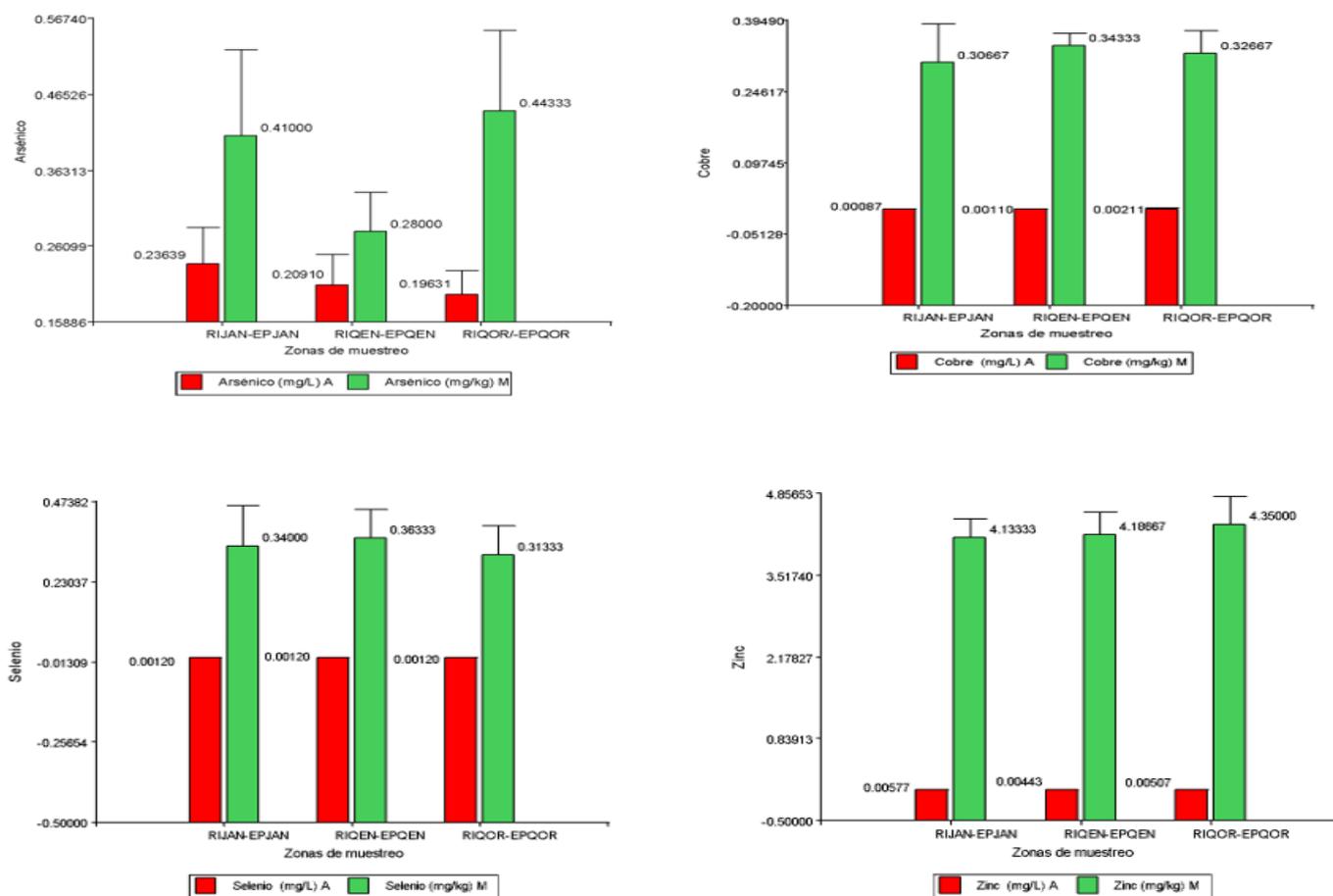
Las letras iguales horizontales indican que no hay diferencia significativa en las concentraciones medias ( $P \geq 0.05$ ).

Correlación de metales pesados en agua y musculo de trucha. Para hallar el índice de correlación se empleó el Software InfoStat versión 2019 y para la interpretación clásica del índice de correlación, se empleó las siguientes escalas y categorías:  $r = 0$  (datos incorrelacionados);  $0.0 < r < 0.2$  (correlación no significativa);  $0.2 \leq r < 0.4$  (correlación baja);  $0.4 \leq r <$

$0.7$  (significativa correlación);  $0.7 \leq r < 1.0$  (alto grado de correlación);  $r = 1$  (correlación perfecta).

**Figura 1**

Concentraciones medias y desviaciones típicas de arsénico (As), cobre (Cu), selenio y zinc en el agua de entrada a las estaciones de pesca y en los músculos de las truchas en tres estaciones pesqueras



**Tabla 3**

Índice de ajuste para los metales pesados en agua y musculatura de la trucha

Metales	r	r <sup>2</sup>	p
Arsénico	0,346	0,12	0,3561
Cobre	0,045	0,0020	0,9084
Zinc	0,224	0,05	0,5551

Las concentraciones en agua de los metales en músculo de trucha difirieron arsénico en 34.60 %, cobre en 4.5 % y zinc en 22.4 % (Tabla N° 3)

La tabla 3 muestra los valores estadísticos del análisis de regresión para los metales pesados de arsénico, cobre y zinc con el músculo de la trucha y en el agua. En los tres casos, la correlación es baja, lo que no es significativo ( $p > 0,05$ ); por lo que afirmamos que no existe relación lineal entre las concentraciones halladas en el agua con las halladas en los músculos de los peces.

**CONCLUSIONES**

Se determinó que el contenido del metal pesado en la estructura muscular de truchas y la concentración del metal en el agua de ingreso a las estaciones pesqueras es de correlación baja para el arsénico y zinc, y correlación no significativa para el cobre, en consecuencia, que los contenidos de metales pesados

en el agua tienen una correlación baja con la estructura muscular de la trucha. El contenido del arsénico del agua que ingresa a los criaderos de truchas del río Apacheta, del municipio de Vinchos, provincia de Huamanga, excedió el estándar de calidad ambiental (ECA) (0.15 ppm.) para aguas, en categoría 4, cuencas costeras y el río Serra, según determinó el Decreto Supremo N° 004-2017 – MINA. de la misma manera el contenido del arsénico en la estructura muscular de la trucha excedió de acuerdo a las normas internacionales FAO/OMS (0.002 ppm) y de la Norma Estándar China (0.10 ppm). Los contenidos de metales pesados en la estructura muscular de trucha fueron de la siguiente manera: zinc y arsénico en la estación pesquera Qorichallwa, cobre y selenio en estación pesquera



Qenhuacucho, según el esquema de contenidos (Zn→As→Cu→Selenio).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aquino, G. (2009). *Manual para el cultivo de trucha arcoíris (Oncorhynchus mykiss)*. <https://dokumen.tips/documents/manual-basico-para-el-cultivo-de-trucha-arco-iris-1-56d7476abf516.html>.
- Arauzo, Mercedes, Rivera, M., Valladolid, María, Noreña, C., Cedenilla, O. (2003). Contaminación por cromo en el agua intersticial, en el agua del cauce y en los sedimentos del río Jarama.
- Bautista, C. (2018). *Evaluación del contenido de metales pesados en carne y tejido óseo de trucha arcoíris (Oncorhynchus mykiss) en el centro poblado de Paccho Molinos, Paucará - Huancavelica*. Universidad Nacional de Huancavelica. <https://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/3097>.
- Boy Mansilla, A. (2015). *Determinación de metales pesados en agua, peces, almejas e Hydrilla verticillata del lago de Izabal* [Tesis, Universidad de San Carlos de Guatemala]. [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06\\_3741.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06_3741.pdf).
- Bugallo, A. I. (2011). *La filosofía ambiental en Arne Naess. Influencias de Spinoza y James*, Río Cuarto, Argentina: Ediciones del ICALA. Revista Científica de Vol. XVI ° 2 -primavera 2012, (31- 44). Universidad de Ciencias Empresariales y Sociales. <http://dspace.uces.edu.ar:8180/xmlui/bitstream/handle/123456789/1901/FilosofiaBugalloCosso.pdf?sequence=1>.
- Cajaleón C. et al., (2018). *Determinación de la concentración de arsénico y mercurio por espectrometría de absorción atómica en peces del mar de Huacho y Chorrillos*. <http://repositorio.uigv.edu.pe/handle/20.500.11818/2678>.
- Corrales, D. (2013). *Estudio del contenido de metales pesados en dos especies de peces de la zona costera de Montevideo* [Tesina, Universidad de la República - Uruguay]. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/5077/1/uy24-16619.pdf>.
- Chui H. et al. (2021). *Metales pesados en truchas arcoíris (Oncorhynchus mykiss) de crianza intensiva de la zona noroeste del lago Titicaca*. <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/veterinaria/article/view/20398/16829>.
- Doria Argumedo, C., Deluque Vilorio, H. (2015). Niveles y distribución de metales pesados en el agua de la zona de playa de Riohacha, La Guajira, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 6(1), 123. <https://doi.org/10.22490/21456453.1268>.
- Eissa, B.L., Salibian, A., Ferrari, L., Porta, P y Borgnia, M. (2003). Evaluación toxicológica no invasiva del cadmio: modificaciones de biomarcadores conductuales en *Cyprinus carpio*. *Biología Acuática* 20.5662. Universidad Nacional de La Plata. <https://revistas.unlp.edu.ar/bacuatica/article/view/6793>
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación* (6.ª ed.). Mc Graw Hill. [https://www.ingebook.com/ib/NPcd/IB\\_BooksVis?cod\\_primaria=1000187&codigo\\_libro=5674](https://www.ingebook.com/ib/NPcd/IB_BooksVis?cod_primaria=1000187&codigo_libro=5674).
- Herrera Delgado, A. E., Heredia Quispe, E. G. y Cabrejos, C. A. (2017). *Determinación de los niveles de concentración de metales pesados en la Cuenca Mashcón –Cajamarca en los meses de setiembre y diciembre, 2016*. Universidad de Lambayeque. <http://repositorio.udl.edu.pe/handle/UDL/108>.
- Huancare Pusari, R. K. (2014). *Identificación histopatológica de lesiones inducidas por bioacumulación de metales pesados en branquias, hígado y músculo de trucha arcoíris (Oncorhynchus mykiss) de cultivo en etapa comercial de la laguna de Mamacocha, área de influencia minera, Cajamarca* [Tesis, UNMSM]. [https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/3749/Huancar%20a9\\_pr.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/3749/Huancar%20a9_pr.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- Humpiri, I. (2017). Concentración de metales pesados y propuestas de recuperación en la subcuenca del río Crucero, región Puno [Tesis de maestría, Universidad Nacional del Altiplano]. [https://alicia.concytec.gov.pe/vufind/Record/RNAP\\_36d1ab464b173876c89ebf864208ef99](https://alicia.concytec.gov.pe/vufind/Record/RNAP_36d1ab464b173876c89ebf864208ef99).
- Loza del Carpio, Alfredo Ludwig, Ccancapa Salcedo, Yenny. (2020). Mercurio en un arroyo altoandino con alto impacto por minería aurífera. *Revista Int. Contam.Ambiental*, Vol. 36 n.º 1 ciudad de México feb 2020 Epub 22- dic. 2020.
- Marín Guirao, L. 2007. *Aproximación ecotoxicológica a la contaminación por metales pesados en la laguna costera del Mar Menor* [Tesis de Doctorado, Universidad de Murcia]. <https://www.tesisenred.net/handle/10803/10773#page=1>.
- Murga, Luis. (2020). Evaluación de metales pesados en ríos y truchas *Oncorhynchus mykiss* de la región Pasco. *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad*, Vol 3 n.º 2, pp. 32-48. [https://redib.org/Record/oai\\_articulo3066935-evaluaci%C3%B3n-de-metales-pesados-en-r%C3%ADos-y-truchas-oncorhynchus-mykiss-de-la-regi%C3%B3n-pasco-per%C3%BA](https://redib.org/Record/oai_articulo3066935-evaluaci%C3%B3n-de-metales-pesados-en-r%C3%ADos-y-truchas-oncorhynchus-mykiss-de-la-regi%C3%B3n-pasco-per%C3%BA).
- Murillo Cisneros, D. A. (2014). *Bioacumulación de mercurio, selenio y cadmio en rayas de Alto Golfo de California y costa occidental de Baja California sur*. Instituto Politécnico Nacional. Ciudad de México. <https://www.repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/20150>.
- Newmont Perú SRL (2009). *Marco geológico local: (proyecto Tunsulla)*. Folleto de Purves, D. (1985). Trace element contamination of the environment. Elsevier, Ámsterdam.
- Pozo Miranda, Francisco. (2017). Presencia de metales pesados cadmio y plomo en el estuario del río Chone-Manabí, Ecuador. *Revista Ciencia UNEMI*, vol.10 n.º 24, septiembre 2017, pp.123-130.