

UNIVERSIDAD
CIENTÍFICA
DEL SUR

FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS Y
BIOLÓGICAS

CARRERA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA MARINA

“METALES PESADOS (Pb, Hg Y Cu) EN HÍGADO Y MÚSCULO
DE LOS PECES *Orestias ispi* Y *Orestias agassii* DEL LAGO
TITICACA, PUNO-PERÚ”

Tesis para optar el título de:

Bióloga Marina

Presentado por:

Bach. Yvette Nicole Arbulu Vercauteren (ORCID: 0000-0003-3474-
0093)

Asesora:

Dra. Sara Rosa Guadalupe Sánchez Rivas (ORCID: 0000-0003-
3660-3180)

Lima – Perú

2020

Copia de acta de sustentación



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Lima, 14 de mayo de 2020.

Los integrantes del Jurado de tesis:

Presidente: Dr. HECTOR ALONSO APONTE UBILLÚS

Miembro: Dra. SUSAN MERY MEDINA CANZIO

Miembro: Dr. JOSÉ ALBERTO IANNAZONE OLIVER

Se reúnen para evaluar la tesis titulada:

"METALES PESADOS (Pb, Hg Y Cu) EN HÍGADO Y MÚSCULO DE LOS PECES Orestias ispi Y Orestias agassii DEL LAGO TITICACA, PUNO-PERÚ)"

Presentada por el estudiante/bachiller:

- YVETTE NICOLE ARBULU VERCAUTEREN

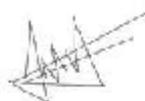
Para optar el Título Profesional de Bióloga Marina

Asesorada por: Dra. SARA ROSA GUADALUPE SÁNCHEZ RIVAS

Luego de haber evaluado el informe final de tesis y evaluado el desempeño de la estudiante de la carrera de Biología Marina en la sustentación, concluyen de manera unánime (X) por mayoría simple () calificar a:

Tesista: YVETTE NICOLE ARBULU VERCAUTEREN	Nota (en letras): DIECISÉIS
Aprobado ()	Aprobado - Muy buena (X)
Aprobado - Sobresaliente ()	Desaprobado ()

Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.



Dr. HECTOR ALONSO APONTE UBILLÚS
Presidente



Dra. SARA ROSA GUADALUPE SÁNCHEZ RIVAS
Asesor



Dra. SUSAN MERY MEDINA CANZIO
Miembro 1



Dr. JOSÉ ALBERTO IANNAZONE OLIVER
Miembro 2

Dedicatoria

Dedico esta tesis a mi madre Monique Vercauteren, que siempre me ha apoyado en todo, inclusive me acompaño a Puno, a realizar mi tesis. A mis abuelos ya fallecidos Marcel y Dina que sé que si hubieran estado vivos, estarían muy felices del trabajo realizado. Además dedico este trabajo a las personas de Puno que les interese saber más sobre su región y por último a esas personas que aman la biología o ciencias afines para que este trabajo les ayude en su camino y puedan ser buenos profesionales.

Agradecimientos

Agradezco a todas las personas que me apoyaron a la realización de mi tesis, entre ellos están los biólogos en Puno, César Gamarra por brindarme un espacio en el laboratorio de Puno, a Hilda Ninarahui por apoyarme en el laboratorio al comienzo de las disecciones y a Lucy Hilasaca, quien me ayudo bastante en el muestreo en el Lago Titicaca, gracias a ellos pude conocer al pescador Raymundo Pampa, quien me ayudo con la pesca y me brindo su hogar.

Doy gracias a mi amigo Luis Ríos por la gran ayuda con mis dudas en la estadística y también a mis amigos que me facilitaron información.

Asimismo, agradezco a la Universidad Científica del Sur, por brindarme financiamiento para la realización de la tesis, gracias al concurso de fondos de proyectos.

Y finalmente, agradezco a mi asesora la Dra. Guadalupe Sánchez, sin ella no hubiera logrado este trabajo, gracias por su constante apoyo, su tiempo brindado, sus consejos, su paciencia y por ser una excelente asesora, muchas gracias.

Resumen

La contaminación por relaves mineros está presente en el Lago Titicaca, esta causa daño y degradación de los recursos hidrobiológicos como *Orestias ispi* y *Orestias agassii*, que habitan en este ecosistema léntico y son de consumo humano directo de la población de Puno, Perú. Estos organismos son considerados buenos bioindicadores de contaminación por metales pesados ya que al estar presentes en varios niveles tróficos tienen la propiedad de bioacumular y biomagnificar estos elementos. El objetivo principal del presente trabajo fue la presencia y concentraciones de plomo (Pb), mercurio (Hg) y cobre (Cu) en hígado y músculo de *O. ispi* y *O. agassii* del Lago Titicaca, Puno-Perú; estos elementos se determinaron mediante el método de Espectrometría de Masas con Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-MS). El área de estudio fue la zona norte del Lago Mayor del Lago Titicaca. Se seleccionaron 3 estaciones, donde se tomaron muestras de agua y se colectaron ejemplares de *O.ispi* y *O.agassii*, se extrajeron el hígado y músculo. Los resultados mostraron valores de Cu para ambas especies, *O.ispi* y *O.agassii*, encontrándose diferencias significativas entre ambas. Sin embargo, dichos valores no sobrepasaron los Límites Permisibles (LP) de la Food and Agriculture Organization of United Nations (FAO) (Nauen 1983) ; por lo tanto, estas especies no presentan concentraciones que indique que están contaminadas por los metales objeto del estudio.

Palabras clave: ecosistema léntico, contaminación, organismos, bioacumulación, metales pesados.

Abstract

Pollution due to mining tailings are present in Titicaca Lake, this causes damage and degradation of water resources, damaging like *Orestias ispi* and *Orestias agassii*, that inhabit in this lentic ecosystem and are of direct human consumption of the population of Puno, Peru. These organisms are considered, as good bioindicators of heavy metal pollution although it being present in several trophic levels and having the potential of bioaccumulate and biomagnify metals. The objective of this study was the presence and concentration of lead (Pb), mercury (Hg) and copper (Cu) in liver and muscle of *O. ispi* and *O. agassii* of Titicaca Lake, Puno-Peru; these elements were determined by Inductive coupled plasma mass spectrometry method (ICP- MS). The study area was in the northern part of Mayor Lake on Titicaca Lake. Three stations were sampled, where taken water samples and samples of *O.ispi* and *O.agassii* were, extracted the liver and muscle. Results showed the values of Cu for both species, *O.ispi* y *O.agassii*, finding significant differences between the two. Although, these values did not exceed the permissible limit (LP) of Food and Agriculture Organization of United Nations (FAO) (Nauen 1983). Therefore, these species have no concentrations indicating that the metals under study contaminate them.

Key words: lentic ecosystem, pollution, organisms, bioaccumulation, heavy metals.

**METALES PESADOS (PB, HG Y CU) EN HÍGADO Y MÚSCULO DE LOS
 PECES *Orestias ispi* Y *Orestias agassii* DEL LAGO TITICACA, PUNO-PERÚ**

**HEAVY METALS (PB, HG AND CU) IN LIVER AND MUSCLE OF FISHES
Orestias ispi AND *Orestias agassii* OF LAKE TITICACA, PUNO-PERU**

RESUMEN

La contaminación por relaves mineros está presente en el Lago Titicaca, esta causa daño y degradación de los recursos hidrobiológicos como *Orestias ispi* y *Orestias agassii*, que habitan en este ecosistema léntico y son de consumo humano directo de la población de Puno, Perú. Estos organismos son considerados buenos bioindicadores de contaminación por metales pesados ya que al estar presentes en varios niveles tróficos tienen la propiedad de bioacumular y biomagnificar estos elementos. El objetivo principal del presente trabajo fue la presencia y concentraciones de plomo (Pb), mercurio (Hg) y cobre (Cu) en hígado y músculo de *O. ispi* y *O. agassii* del Lago Titicaca, Puno-Perú; estos elementos se determinaron mediante el método de Espectrometría de Masas con Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-MS). El área de estudio fue la zona norte del Lago Mayor del Lago Titicaca. Se seleccionaron 3 estaciones, donde se tomaron muestras de agua y se colectaron ejemplares de *O.ispi* y *O.agassii*, se extrajeron el hígado y músculo. Los resultados mostraron valores de Cu para ambas especies, *O.ispi* y *O.agassii*, encontrándose diferencias significativas entre ambas. Sin embargo, dichos valores no sobrepasaron los Límites Permisibles (LP) de la Food and Agriculture Organization of United Nations (FAO) (Nauen 1983) ; por lo tanto, estas especies no presentan concentraciones que indique que están contaminadas por los metales objeto del estudio.

Palabras clave: ecosistema léntico, contaminación, organismos, bioacumulación, metales pesados.

ABSTRACT

Pollution due to mining tailings are present in Titicaca Lake, this causes damage and degradation of water resources, damaging like *Orestias ispi* and *Orestias agassii*, that inhabit in this lentic ecosystem and are of direct human consumption of the population of Puno, Peru. These organisms are considered, as good bioindicators of heavy metal pollution although it being present in several trophic levels and having the potential of bioaccumulate and biomagnify metals. The objective of this study was the presence and concentration of lead (Pb), mercury (Hg) and copper (Cu) in liver and muscle of *O. ispi* and *O. agassii* of Titicaca Lake, Puno-Peru; these elements were determined by Inductive coupled plasma mass spectrometry method (ICP- MS). The study area was in the northern part of Mayor Lake on Titicaca Lake. Three stations were sampled, where taken water samples and samples of *O.ispi* and *O.agassii* were, extracted the liver and muscle. Results showed the values of Cu for both species, *O.ispi* y *O.agassii*, finding significant differences between the two. Although, these values did not exceed the permissible limit (LP) of Food and Agriculture Organization of United Nations (FAO)(Nauen 1983). Therefore, these species have no concentrations indicating that the metals under study contaminate them.

Key words: lentic ecosystem, pollution, organisms, bioaccumulation, heavy metals.

INTRODUCCIÓN

El Lago Titicaca presenta diversos problemas ambientales tales como: la eutrofización, debido principalmente a los desechos orgánicos, niveles crecientes de nutrientes como fosfatos y nitratos, causando floraciones como la “lenteja de agua” *Lemna gibba* (Linnaeus 1753);(Aguirre y Vento 2015), produciéndose una depleción de oxígeno (Von Sperling et al. 2008), perjudicando al ecosistema del lago. Asimismo, existen otras amenazas como el uso de agentes contaminantes como los plaguicidas y fertilizantes utilizados en la agricultura, que al discurrir por los afluentes, descargan finalmente al lago (Monroy et al. 2014); y la presencia de los contaminantes químicos inorgánicos procedentes de los relaves mineros (Aguirre et al. 2009).

La pesca artesanal en el Lago Titicaca es de gran importancia económica y social para los pobladores de Puno (Chura- Cruz y Mollocondo 2016), siendo las especies más importantes el “Ispi” *Orestias ispi* (Lauzanne 1981) y el “Carachi gris” *Orestias agassii* (Valenciennes 1846),destinados al consumo humano directo (Trevino et al. 1991).

Cabe señalar, que el recurso *O.agassii*, está considerado en la categoría Vulnerable (VU) del Libro Rojo De La Fauna Silvestre De Vertebrados De Bolivia debido a la sobrepesca a la cual está sometida (Calsin et al.2004). Además, es amenazada por la introducción de la “trucha arcoíris” *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum 1792) y el “pejerrey argentino” *Odontesthes bonariensis* (Valenciennes 1835) que ambos son competidores y predadores; asimismo, estos recursos soportan el impacto que causa la actividad minera. Esto ha causado disminución de las capturas de los últimos años (Aguirre et al. 2009).

En cuanto a la especie *O.ispi*, es considerado como base de la red trófica del Lago Titicaca, además de ser una especie abundante (IMARPE 2008), está catalogada de menor riesgo y se considera como especie casi amenazada (NT) del Libro Rojo, sin embargo sus principales amenazas son: la pesca, así como de la introducción de *O. mykiss* y *O. bonariensis*, la presencia de parásitos, destrucción de hábitats y la contaminación del lago, principalmente por desechos domésticos y mineros (Aguirre et al. 2009). Por otro lado es importante señalar que se dio la Resolución Ministerial N°022-2011-PRODUCE, en el Perú, estableciendo 2 vedas reproductivas, en los dos semestres del año, en el primer semestre del 1 de marzo al 30 de abril y en el segundo del 1 de setiembre al 31 de octubre; permitiendo un manejo sostenible de estos recursos (PRODUCE 2011).

Por otra parte, los peces son considerados como buenos bioindicadores de contaminación por metales pesados al estar presentes en varios niveles tróficos, tienen la capacidad de bioacumular y biomagnificar metales (Corrales 2013). Por lo tanto, la bioacumulación de metales trazas pueden alcanzar niveles de toxicidad, con efectos crónicos y letales, principalmente por los metales catalogados como xenobióticos; superando las normas internacionales de límites permisibles en organismos acuáticos, en perjuicio de la salud humana. Es importante señalar, que la actividad minera contamina las aguas de ríos, entre los cuales, se encuentra el río Ramis, debido a la actividad minera aurífera, situada en la zona, cuya descarga se encuentra en el área de distribución de estas especies. El río Ramis, está ubicado en la zona norte del lago, donde se descargan los relaves del proceso de extracción del oro, que tienen compuestos químicos tóxicos para los ecosistemas acuáticos (Gammons et al. 2006).

Los metales pesados son bioacumulados y biomagnificados, que se realiza a través de la red trófica, como ocurre con el mercurio (Hg) y el plomo (Pb), es por esta razón que

los depredadores tope tendrían una mayor bioacumulación (Escobar 2010) y por consecuencia a mayores concentraciones, mayores efectos tóxicos (Bryan 1971).

El ingreso de los metales pesados en los peces se da principalmente, a través de las branquias, como también por la vía digestiva o a través de la piel (Afshan et al.2014). La concentración de los metales se da en el músculo y en el hígado, en menor cantidad en el primero, mientras que en el hígado presenta la mayor concentración (Roméo et al.1999), y sus efectos tóxicos pueden afectar las funciones fisiológicas como la tasa de crecimiento, reproducción, metabolismo e inclusive ocasionar la muerte (Woodward et al. 1995).

En el caso del cobre (**Cu**), interviene en el metabolismo del tejido conectivo, desarrollo óseo y función nerviosa (Argota et al. 2012) , podría incrementarse con la edad. En altas concentraciones, que sobrepasan el límite permisible de la FAO ($\text{Cu}=10 \text{ mg/kg}$) (Nauen 1983), son tóxicas para los organismos acuáticos. (Rainbow 1985).

Por otro lado, los elementos como el Hg y Pb, que no tienen función específica en el metabolismo de los organismos, son tóxicos y se acumulan en los tejidos (Canli y Atli 2003) y dependiendo de su concentración, pueden llegar a la letalidad (OIEA 2013).

En cuanto al **Hg**, es transformado del estado puro o sales metálicas al estado orgánico, además tiene la propiedad de volatizarse, incrementando su toxicidad. En los peces, se acumula principalmente en los tejidos reproductivos, hepatopáncreas, tejidos nerviosos y en general en tejidos grasos; fijando al metal directamente del agua e indirectamente a través de la cadena alimenticia (Bouroncle et al. 1973).

En caso de **Pb**, es considerado como un metal pesado potencialmente peligroso, sus sales son capaces de dañar el sistema nervioso e igualmente que el Hg daña el riñón (Chuang

et al. 2004). Asimismo, interfiere en el metabolismo del calcio por ser químicamente similares (Valdivia 2005).

Los órganos, como el hígado y el músculo con tejido adiposo, son los principales indicadores de la bioacumulación de contaminantes, como el caso del hígado que puede almacenar contaminantes de diversos tipos y de su acción de detoxificación, mientras que el músculo, es un sitio de deposición y acumulación (Naccari et al. 2009).

Por esta razón, el objetivo del presente estudio fue el de investigar la presencia y concentración de los metales pesados de Hg, Pb y Cu en trazas en las especies *O.ispi* y *O.agassii*, en músculo e hígado, que son consumidos por la población del Altiplano, teniendo en cuenta los Límites Permisibles (LP) de la Food and Agriculture Organization of United Nations (FAO) para consumo humano.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio se encuentra en la zona norte del Lago Mayor del Lago Titicaca, siendo el punto de partida el poblado de Huarisani (**Fig.1**).

El Lago Titicaca, está ubicado en la meseta del Collao, que está compartido por Perú y Bolivia, con una altitud de 3810 msnm, su superficie es de aproximadamente 8400 km² con un volumen de agua de 930 km³, el cual está dividido en tres zonas: el Lago Mayor de 6500 km², ubicado en el extremo norte, donde descargan sus aguas los ríos Coata, Ilave y Ramis, contaminado mayormente por metales pesados; la segunda zona está constituida por la Bahía de Puno con 500 km²; y en la tercera zona, se encuentra el Lago Pequeño con 1400 km² (Paredes y Gonfiantini 1999).

Estaciones Seleccionadas para la Colecta de Muestras de Agua y Especímenes

Las muestras fueron tomadas a fines de la época de estiaje, los días 6 y 7 de noviembre del 2018, área donde se desarrolla la actividad de pesca (**Fig.1**) y ubicada en el Lago Mayor. En el trabajo de campo se contó con el apoyo de un pescador artesanal de la localidad, del cual se obtuvieron las muestras de los peces. En esta área se seleccionaron tres estaciones de muestreo, utilizando dos redes de enmalle, dependiendo de la especie que se capturaba. Asimismo, en cada estación se tomaron una muestra de agua, inclusive en la Estación 2, por su cercanía al río Ramis con el probable transporte de metales pesados adheridos al sedimento del río. (**Fig.2**).

Las estaciones fueron:

Estación 1: área de pesca denominada “Lopesani”, donde se colectó a *O.agassii* y una muestra de agua ($15^{\circ}17'57.876''$ S, $69^{\circ}43'38.136''$ O).

Estación 2: río Ramis, área donde únicamente se colectó una muestra de agua de río. ($15^{\circ}19'50.412''$ S, $69^{\circ}45'37.944''$ O).

Estación 3: área de pesca denominada “Pampa isla”, donde se colectó a *O.ispi* y una muestra de agua. ($15^{\circ}17'57.016''$ S, $69^{\circ}43'57.864''$ O).

Es importante señalar, que los criterios de selección de las áreas de la pesca artesanal, han sido ya establecidos, por los pescadores, por el conocimiento que tienen de la distribución de las especies.

Trabajo de Campo

Los datos fisicoquímicos obtenidos in situ fueron: temperatura ($^{\circ}\text{C}$), oxígeno disuelto (mg/L), conductividad ($\mu\text{s}/\text{cm}$) y pH; y la colecta de las muestras de agua para los análisis de las trazas de metales pesados (**Cuadro I y Cuadro II**).

Equipos utilizados

Conductímetro Hanna H198192, multiparámetro Toledo con 2 sensores Sevenson Duo pH/ion/Do (pH inlab expert Go-Ism, O₂ inlab optiox sensor) y un GPS Garmin etrex.

Procedimiento de la colecta y transporte al Laboratorio en Puno

Agua

La toma de las muestras de agua en las tres estaciones se realizaron siguiendo el protocolo de Certificaciones del Perú S.A -CERPER (ISO 2016):

1. El agua se colocó en frascos estériles con 3 ml ácido nítrico al 65%.
2. Los frascos estériles con la muestra de agua se sellaron.
3. Los frascos fueron trasladados en una caja térmica con paquetes de hielo hacia un laboratorio en Puno.
4. Refrigeración a 2⁰C, durante 15 días.

Peces

En las dos estaciones seleccionadas (Estación 1 y Estación 3), se recolectaron los ejemplares:

- Estación 1: Localidad de Lopesani se colectaron *O. agassii* (n= 39).
- Estación 3: Localidad de Pampa isla, se colectaron *O. ispi*, (n=583).

Luego de la captura los ejemplares, fueron trasladados en bolsas de plástico con paquetes de hielo en una caja térmica hacia un laboratorio de Puno.

Análisis en el Laboratorio de Puno

Peces

Una vez que los peces llegaron al laboratorio de Puno, se realizó un análisis biométrico, registrando datos de longitud total (cm) y peso total (g).

Cabe resaltar, que debido a la exigencia del método analítico de Espectrometría de Masas con Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-MS) US EPA 6020 (US EPA 1998), para metales pesados se requiere la cantidad de 100 g por muestras. Las muestras para el análisis de metales pesados de *O.ispi* fueron de 8 veces más en número de individuos que *O. agassii* (**Cuadro III y IV**).

Cada ejemplar de *O.ispi* tuvo un peso promedio de 2.1 g, por lo que se utilizó 583 ejemplares; mientras que *O.agassii* cada ejemplar tuvo un peso promedio de 38.7 g, por lo que se usó 39 ejemplares. Esto permitió tener 9 muestras de *O.ispi* con 65 ejemplares aproximadamente, y 100 g por cada muestra; en el caso de *O.agassii* fueron 5 muestras con 8 ejemplares que dieron aproximadamente 100 g por muestra.

El procedimiento para la obtención de las muestras, fue el siguiente (**Fig.3**):

Se siguió criterios diferentes para separar las muestras de los tejidos de ambas especies.

1. Disección con bisturí desde la altura de la cabeza hasta el abdomen.
2. Eliminación de viseras a excepción del hígado (*O.ispi*)/ Extracción de músculo e hígado (*O.agassii*)¹.
3. Peso de peces por especie (conjunto de: cuerpos enteros, sin viseras en *O.ispi*/ hígados y músculos en *O.agassii*)².
4. Rotulación.
5. Guardados en bolsa ziploc y sellados herméticamente.

¹ Diferencia en la disección de ambas especies.

² Diferencia en pesos de las especies.

6. Congelación a -18°C , 10 días previo al envío a Lima.

Dicha diferencia es debida a que *O.ispi*, al ser de talla pequeña, se optó por eliminar las vísceras, dejando el cuerpo entero incluyendo el hígado y músculo, mientras que en el caso de *O.agassii* al ser de talla más grande, se aisló el músculo e hígado.

Análisis de Pb, Hg y Cu en trazas

Las muestras tanto de agua como de peces fueron trasportadas vía aérea hacia Lima en una caja de térmica con paquetes de hielo hacia el laboratorio de Certificaciones del Perú S.A - Cerper S.A.

Metodología aplicada para Trazas de metales de Pb, Hg y Cu en tejido blando de peces y agua

Los datos fueron expresados en mg/kg de peso seco para peces y en mg/l para el agua.

Para los dos tipos de muestra se utilizó, el método de ICP-MS, descrito por Greenfield et al. (1964).

Análisis de las Muestras de Agua

En el caso del agua se usó el método de ICP-MS ISO 17294-2 2016 (ISO 2016), descrito de la siguiente manera:

Procedimiento

1. Transporte de la muestra por medio de una bomba peristáltica hasta el sistema nebulizador.
2. Transformación de la muestra en aerosol por la acción del gas argón.
3. Conducción a la zona de ionización.

4. Traslado de los iones que pasan al interior del filtro cuadrupolar a través de una interfase de vacío creciente, donde son separados según su relación carga/masa.
5. Evaluación de la abundancia en la muestra de cada una de las masas sintonizadas.

Análisis de las Muestras de Músculos e Hígados

Para los tejidos de los peces, se aplicó la técnica de ICP-MS US EPA 6020 (US EPA 1998), que se describe a continuación:

Procedimiento

1. Medición de los iones producidos por un plasma de acoplamiento inductivo de radiofrecuencia.
2. Nebulización de las especies analizadas que se originaron en un líquido.
3. Transporte del aerosol resultante por gas argón a la antorcha de plasma.
4. Introducción al gas plasmático de iones producidos por altas temperaturas.
5. Extracción de iones mediante una interfaz de vacío de bombeo diferencial.
6. Separación de iones en función de su relación masa-carga por un espectrómetro de masas, para ser transmitidas por este.
7. Cuantificación por un multiplicador de electrones de canal.
8. Transformación de información de los iones por el sistema de manejo de datos del instrumento.

Análisis estadístico

Se analizaron los datos en el programa R studio. Se realizó la prueba de t-student para comparar las tallas y pesos entre las 2 especies.

Se analizó los datos de las concentraciones solo para Cu, ya que el límite de detección del equipo de ICP-MS, no dio valores para Hg y Pb.

Se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk, resultando significativa para ambas especies, *O.ispi* ($p=0.0004$) y *O.agassii* ($p=0.0003$). Asimismo, se efectuó la prueba de homocedasticidad de Bartlett ($p = 0.26$). Finalmente se optó a utilizar la U de Mann-Whitney.

Resultados

O.ispi presento una talla promedio de 6.5 ± 0.4 cm y un peso de 2.1 ± 0.3 g; mientras que para *O.agassii* fue de 13.1 ± 1.3 cm y 38.7 ± 12.1 g.

Se realizando la prueba de t-student para tallas y pesos entre ambas especies, se obtuvo diferencias significativas, tanto para talla ($p=2.2e^{-16}$) y peso ($p=2.2e^{-16}$).

Agua

Los resultados, realizados con el método de ICP-MS, estuvieron por debajo del límite de detección del equipo, siendo Pb, Hg y Cu, los cuales no sobrepasaron los límites permisibles de Perú dados por el estándar de calidad ambiental (ECA), de la categoría 2, subcategoría 4; cuyos valores son 0.0025 mg/l; 0.00077 mg/l; y 0.2 mg/l, respectivamente (MINAM 2017)(Cuadro V).

Peces

Las muestras fueron colectadas en las estaciones 1 y 3 (Cuadro VI y VII, y Fig. 2).

Pb y Hg (mg/ kg), los resultados en los tejidos de peces (músculo e hígado), mediante la aplicación del método ICP-MS para Pb y Hg, no presentó valores significativos que faciliten aplicar un análisis estadístico.

Cu (mg/ kg), este elemento presentó valores en ambas especies, aplicando el mismo método analítico. Se tuvo un promedio de 1.64 mg/kg, para para *O.agassii* y para *O.ispi*, un promedio de 0.80 mg/kg.

La prueba U de Mann-Whitney para Cu, indico diferencias significativas entre ambas especies ($p= 0.0023$) (**Fig.4**).

Asimismo, dichos valores encontrados en los peces(**Cuadro VIII**), no sobrepasaron los LP de ingesta de metales pesados para consumo humano de la FAO (Nauen 1983).

DISCUSIÓN

Los análisis del agua colectadas en las 3 estaciones dieron como resultado, bajas concentraciones de metales pesados, lo cual difiere con lo encontrado por Monroy et al. (2014), que presentaron concentraciones más altas de metales pesados (Cu y Pb), asociados a altos valores de conductividad, que alcanzaron los 1754 $\mu\text{s}/\text{cm}$, y a la ubicación de las estaciones de muestreo en la desembocadura del río Ramis; condiciones que contribuyeron a la movilización de los metales, que se vio reflejada en las concentraciones altas que presentaron las especímenes del género *Orestias* e inclusive de *O.agassii*. Cabe mencionar que esta zona es de mezcla, donde existen procesos de floculación y precipitación que provocan una fuerte deposición de metales (Bowen 1966).

Cabe señalar, que en el presente trabajo solo una de las muestras de agua (Estación 2), colectada en la zona de mezcla de la desembocadura del rio Ramis, resultó con un valor bajo de conductividad (658.5 $\mu\text{s}/\text{cm}$) (Cuadro I), corroborando el bajo valor de metales pesados en el medio acuático (Pb= <0.00020 mg/l, Hg= <0.00005 mg/l y Cu= <0.00030 mg/l) (**Cuadro V**).

Sobre los valores de conductividad, Olías et al. (2005), utilizaron la modificación de la clasificación del U.S. Salinity Laboratory (USLS) propuesta por el Comité de Consultores

de la Universidad de California para Directrices de Calidad del Agua en 1972, catalogando como baja las aguas que presentan valores $<750 \mu\text{s/cm}$, que fue lo que se determinó en la Estación 2 (río Ramis) con una conductividad de $658.5 \mu\text{s/cm}$, mientras que la Estación 1, tuvo $1450 \mu\text{s/cm}$ (día 1) y $1330 \mu\text{s/cm}$ (día 2); y la Estación 3, con $1310 \mu\text{s/cm}$ (día 1) y $1380 \mu\text{s/cm}$ (día 2), dentro de la categoría de conductividad media ($700 - 1500 \mu\text{s/cm}$) (**Cuadro I**). La baja conductividad en la Estación 2 desfavorece la movilización de los metales pesados en la columna de agua (Ramos-Gómez et al. 2012).

Por lo general los metales pesados en cuerpos de agua suelen presentar concentraciones más bajas que en los sedimentos o en la biota acuática (Mancera-Rodríguez y Álvarez-León 2006), esto puede ocasionar la baja o nula concentración de metales en la columna de agua como ha sido el caso de Hg, Pb y Cu. Sin embargo, esto no sería motivo para que los peces puedan concentrar metales pesados en sus tejidos blandos al bioacumular o biomagnificar, presentando concentraciones más elevadas que las encontradas en el cuerpo de agua (Mancera-Rodríguez y Álvarez-León 2006).

Cabe resaltar que los trabajos sobre presencia de metales pesados en las especies ícticas del altiplano son escasas, en especial del área seleccionada del estudio.

Gammons et al. (2006), trabajaron con ejemplares del género *Orestias*, capturadas cerca de la cabecera del río Ramis, ubicada en las proximidades de las mineras auríferas, que son una fuente de contaminación de la zona y hallaron que un 75% de especímenes tuvieron altos niveles de Hg, superando el límite permisible de 0.30 mg/kg que da la Agencia de Protección Ambiental de Norteamérica (US EPA, 2001). Estos resultados difieren a los del presente trabajo, pero enfatizando que estos fueron capturados lejos de la cabecera del río Ramis, al encontrarse valores menores de $<0.010 \text{ mg/kg}$, por debajo de la norma. Sin embargo, hay que tener en cuenta que el Hg tiene la propiedad de

volatizarse disminuyendo su presencia en los cuerpos de agua y no permite que se bioacumule en los tejidos de los peces (Sánchez et al 2013).

Monroy et al. (2014), en su trabajo realizado con ejemplares del “carachi amarillo” *Orestias luteus* (Valenciennes 1846), provenientes de otras áreas del Lago Titicaca, determinó una alta concentración de Cu (108.84 ± 85.75 mg/kg) en hígado y tejido muscular, valor que sobrepasó ampliamente el límite permisible de la FAO de 10 mg/kg (Nauen 1983).

En cuanto las concentraciones Cu fueron menores en *O.ispi* que en *O.agassii*, esta diferenciación está relacionada a la cadena trófica donde se ubican cada una de las especies. La *O. ispi* tiene un solo nivel, al alimentarse solo de zooplancton, mientras que *O. agassii* es omnívora, permitiendo la biomagnificación al alimentarse de varios niveles tróficos: microalgas, macroalgas, zooplacton e insectos (Lauzanne 1991).

En cuanto al Hg, se ha encontrado en el hígado de *O. mykiss* y *Cyprinus carpio* (Linnaeus 1758) capturados en el embalse para un proyecto hidroeléctrico en Ecuador en concentraciones altas en los individuos más pequeños comparados con las tallas de mayor tamaño (Bermeo y Célleri 2016), que difiere a lo encontrado en el presente trabajo donde las concentraciones estuvieron por debajo del límite de detección del equipo ICP-MS; ello dependería de varios factores de tipo fisiológicos, ambientales y alimentarios.

Además, en el estudio de Martínez (2018), realizó un estudio con peces del río Madre De Dios, Perú, halló una correlación positiva entre el nivel trófico y la concentración de Hg, lo que sugiere que el nivel trófico es un buen bioindicador de las concentraciones de metales pesados en general.

Se enfatiza que *O.agassii* presentó mayor concentración de Cu que *O.ispi*, aunque no sobrepasó los límites permisibles de la FAO de Cu = 10 mg/kg (Nauen 1983), esto podría

deberse a la presencia de la “Totora” *Schoenoplectus californicus* (Cronquis 1981), macrofita que en su rizoma acumula metales entre ellos el Cu (Cuadrado et al. 2019). De igual forma, Paredes (2018), hizo un ensayo de bioacumulación con esta planta en presencia de metales como Cu y comprobó una disminución en su concentración. De tal modo que al formar parte del hábitat natural de *O. agassii*, *S. californicus* podría no permitir la concentración del metal en sus tejidos blandos.

En conclusión, el cuerpo de agua no presentó contaminación por los metales pesados de Pb, Hg y Cu, estando debajo de los límites de detección analítica (Pb= <0.00020 mg/l, Hg= <0.00005 mg/l y Cu= <0.00030 mg/l) (**Cuadro V**). Asumiendo que la baja conductividad durante la recolección de muestra de agua ha influenciado en la baja concentración de metales en los tejidos blandos de los ejemplares.

En los tejidos de las especies *O. agassii* y *O. ispi*, el Hg y el Pb no fueron detectados analíticamente debido a que estuvieron por debajo del límite de detección de los equipos (Hg=<0.010 mg/kg y Pb=<0.020 mg/kg) (**Cuadro VI** y **Cuadro VII**), a excepción de Cu (con promedios en *O. agassii*=1.64 mg/kg y *O. ispi*=0.80 mg/kg); que dieron valores muy por debajo de la norma dada por la FAO en 1983 para consumo humano (Cu=10 mg/kg). Por lo tanto, se concluye que los especímenes de *O. agassii* y *O. ispi* no presentaron contaminación por metales pesados, que los hacen aptos para la alimentación de la población de Puno.

REFERENCIAS

Afshan S., Ali S., Ameen U. S., Farid M., Bharwana S. A., Hannan F. y Ahmad R. (2014). Effect of different heavy metal pollution on fish. Research journal of chemical and environmental sciences 2(1), 74-79.

Aguirre C. y Vento J. (2015). Calibración del Modelo Numérico Semi Implícito Tridimensional, SI3D, de Transporte y Flujo Hidrodinámico, para el estudio del lago Titicaca. *Theorēma* (3), 45-55.

Aguirre L. F., Aguayo R., Balderrama J., Cortez C., Tarifa T. y Rocha O. (2009). Libro rojo de la fauna silvestre de vertebrados de Bolivia. Ministerio de Medio Ambiente y Agua. La Paz, Bolivia, 792 pp.

Argota G., González Y., Argota H., Fimia R., y Iannacone J. (2012). Desarrollo y bioacumulación de metales pesados en *Gambusia punctata* (Poeciliidae) ante los efectos de la contaminación acuática. *Redvet*. 13(5), 1-12.

Bermeo J.F. y Céleri A.S. (2016). Cuantificación de la cantidad de metales pesados presentes en dos especies de peces (*Oncorhynchus mykiss* y *Cyprinus carpio*), y su relación con edad y tamaño en el embalse Daniel Palacios Proyecto Hidroeléctrico Paute–Molino. Tesis de Licenciatura. Universidad del Azuay. Cuenca, Ecuador, 65 pp.

Bouroncle A., Echegaray M., y Say J. C. (1973). Contaminación mercurial en la fauna marina. *OSP*. 74(4), 290-301.

Bowen H. J. M. (1966). Trace elements in biochemistry. Academic Press, London and New York, 241 pp.

Bryan G.W. (1971). The effects of heavy metals (other than mercury) on marine and estuarine organisms. *The royal society* 177(1048), 389-410. DOI: <https://doi.org/10.1098/rspb.1971.0037>

Calsin G., Rosales R y Apaza E. (2004). Optimización y simulación dinámica de la especie carachi (*Orestias agassii*) para el manejo sostenible de la pesca en el lago Titicaca. *Apuntes* (55), 111-139. DOI: <https://doi.org/10.21678/apuntes.55.545>

Canli M y Atli G. (2003). The relationships between heavy metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Zn) levels and the size of six Mediterranean fish species. *Environ Pollut.* 1987, 121(1), 129-136. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(02\)00194-X](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(02)00194-X)

Chuang H. Y., Tsai S. Y., Chao K. Y., Lian C. Y., Yang C. Y., Ho C. K., y Wu T. N. (2004). The influence of milk intake on the lead toxicity to the sensory nervous system in lead workers. *Neurotoxicology* 25(6), 941-949. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.neuro.2004.04.003>

Chura- Cruz R. y Mollocondo H. (2016). Desarrollo de la acuicultura en el Lago Titicaca (Perú). *Revista AquaTIC* (31), 6-19.

Corrales D. (2013). Estudio del contenido de metales pesados en dos especies de peces de la zona costera de Montevideo, Uruguay. Tesis de Licenciatura. Universidad De La Republica. Montevideo, Uruguay, 84 pp.

Cuadrado W., Custodio M., Espinoza C., Vicuña C., y Uribe M. (2019). Capacity of absorption and removal of heavy metals from *Scirpus californicus* and Its potential use in the remediation of polluted aquatic environment. *Open Journal of Marine Science* 09(02), 74. DOI:<https://doi.org/10.4236/ojms.2019.92006>

Escobar O. (2010). Bioacumulación y Biomagnificación de mercurio y selenio en peces pelágicos mayores de la Costa Occidental de Baja California Sur, México. Tesis de doctorado. Instituto Politécnico Nacional. La Paz, México, 144 pp.

Gammons C. H., Slotton D. G., Gerbrandt B., Weight W., Young C. A., McNearny R. L., Cámac E., Calderón R. y Tapia H. (2006). Mercury concentrations of fish, river water, and sediment in the Río Ramis-Lake Titicaca watershed, Peru. *Science of the Total Environment*, 368(2-3), 637-648. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.09.076>

Greenfield S., Jones I. L. y Berry C. T. (1964). High pressure plasmas as spectroscopic emission sources. *Analyst* 89(1064), 713-720. DOI: <https://doi.org/10.1039/AN9648900713>

IMARPE (2008). Anuario Científico Tecnológico. Instituto del Mar del Perú. Anuario. Callao, Perú, 174 pp.

ISO (2016). ISO 17294-2:2016, Water quality. Application of inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). Part 2: Determination of selected elements including uranium isotopes. International Organization for Standardization. Manual. Ginebra, Suiza, 31 pp.

Lauzanne L. (1991). Especies nativas: Las Orestias. ORSTOM Fonds Documentaire (36638), 409-423.

Mancera-Rodríguez, N. J. y Álvarez-León R. (2006). Estado del conocimiento de las concentraciones de mercurio y otros metales pesados en peces dulceacuícolas de Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 11(1), 3-23.

Martínez G. (2018). Assessment of Mercury Contamination in Riverine Fish and Sediment Associated with Artisanal and Small-Scale Gold Mining in Madre de Dios, Peru. Tesis de Maestría. University of California Davis. California, EUA, 37 pp.

MINAM. (2017). Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. Ministerio del Ambiente. El Peruano. 7 de junio de 2017.

Monroy M., Maceda-Veiga A., y de Sostoa A. (2014). Metal concentration in water, sediment and four fish species from Lake Titicaca reveals a large-scale environmental

concern. *Science of The Total Environment* 487, 233-244. DOI:
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.03.134>

Naccari C., Cristani M., Cimino F., Arcoraci T., y Trombetta D. (2009). Common buzzards (*Buteo buteo*) bio-indicators of heavy metals pollution in Sicily (Italy). *Environment International* 35(3), 594-598. DOI:
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2008.11.002>

Nauen C. E. (1983). Compilation of legal limits for hazardous substances in fish and fishery products. *FAO Fisheries Circular* (764), 102.

OIEA (2013). Efectos de la contaminación en los océanos y la vida marina. Organismo Internacional de Energía Atómica. Boletín. Viena, Austria, 2 pp.

Olías M., Cerón J. C. y Fernández I. (2005). Sobre la utilización de la clasificación de las aguas de riego del U.S. Laboratory Salinity (USLS). *Geogaceta* 37, 111-113.

Paredes M y Gonfiantini G. (1999). Lake Titicaca: Historian and current studies. *Water and Environment News*. [International Atomic Energy Agency \(IAEA\)](http://www.iaea.org). 31 (8/9), 6-8.

Paredes J.L. (2018). Biorremediación aeróbica de los metales pesados hierro, cobre y plomo de aguas residuales de minas. Tesis de doctorado. Universidad de San Pedro. Chimbote, Perú.

PRODUCE. (2011). Resolución Ministerial N°022-2011-PRODUCE. Ministerio de la Producción. 25 de enero de 2011.

Rainbow P. S. (1985). The biology of heavy metals in the sea. *International Journal of Environmental Studies*, 25(3), 195-211. DOI:
<https://doi.org/10.1080/00207238508710225>

Ramos-Gómez M., Avelar J., Medel-Reyes A., Yamamoto L., Godinez L., Ramirez M., Guerra R. y Rodríguez F. (2012). Movilidad de metales en jales procedentes del distrito minero de Guanajuato, México. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 28(1), 49-59.

Roméo M., Siau Y., Sidoumou Z., y Gnassia-Barelli M. (1999). Heavy metal distribution in different fish species from the Mauritania coast. *The Science of the Total Environment*, 232(3), 169-175. DOI:[https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(99\)00099-6](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(99)00099-6)

Sánchez L. M. J. Sierra & R. Millán. (2013). Aplicabilidad de Técnicas de Volatilización Controlada de Mercurio en el Cerco Minero de Almadenejos. *Informes Técnicos Ciemat* 1277, 55.

Trevino H., Torres J. y Roncal M. (1991). El potencial ictiológico. *ORSTUM Fonds Documentaire* (36650), 549-559.

US EPA. (1998). Method 6020A (SW-846): Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry. United States Environmental Protection Agency. Manual. [Washington, D. C., EUA](#), 23pp.

US EPA. (2001). Water quality criteria for the protection of human health:methylmercury. United States Environmental Protection Agency. Manual. Washington, D, C., EUA, 308 pp.

Valdivia M.M. (2005). Intoxicación por plomo. *Rev. Soc. Per. Med. Inter.* 18(1), 22-27.

Von Sperling E., da Silva Ferreira A. C., y Gomes L. N. L. (2008). Comparative eutrophication development in two Brazilian water supply reservoirs with respect to nutrient concentrations and bacteria growth. *Desalination* 226(1-2), 169-174. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.02.105>

Woodward D. F., Farag A. M., Bergman H. L., DeLonay A. J., Little E. E., Smiths C. E., y Barrows F. T. (1995). Metals-contaminated benthic invertebrates in the Clark Fork River Montana: effects on age-0 brown trout and rainbow trout. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 52(9), 1994-2004. DOI: <https://doi.org/10.1139/f95-791>

CUADROS Y FIGURAS

CUADROS

CUADRO I. DATOS FISICOQUÍMICOS DEL DÍA 6 DE NOVIEMBRE DEL 2018.

	Estación 1	Estación 2	Estación 3
Hora	11:30 a.m.	12:35 p.m.	1:40 p.m.
Lugar	Lopesani	Río Ramis	Pampa isla
Coordenadas	15°17'57.876" S	15°19'50.412" S	15°17'57.016" S
	69°43'38.136" O	69°45'37.944" O	69°43'57.864" O
Conductividad (µs/cm)	1450	658.5	1310
Temperatura (°C)	15.6	16.2	15.9
pH	6.77	6.77	6.77
Oxígeno disuelto (mg/l)	6.55	6.54	7.46

CUADRO II. DATOS FISICOQUÍMICOS DEL DÍA 7 DE NOVIEMBRE DEL 2018.

	Estación 1	Estación 3
Hora	07:00 a.m.	8:00 a.m.
Lugar	Lopesani	Pampa isla
Coordenadas	15 ⁰ 17'57.876" S	15 ⁰ 17'57.016" S
	69 ⁰ 43'38.136" O	69 ⁰ 43'57.864" O
Conductividad (µs/cm)	1330	1380
Temperatura (°C)	14.2	13.2
pH	6.77	6.74
Oxígeno disuelto (mg/l)	6.55	7.46

CUADRO III. NÚMERO DE PECES Y SU RESPECTIVO PESO DE LAS MUESTRAS DE *O.ISPI*.

Mi1	Mi2	Mi3	Mi4	Mi5	Mi6	Mi7	Mi8	Mi9	N ⁰ Total
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	----------------------

N ^o	69	69	66	64	64	63	64	64	60	583
Peso (g)	100.59	100.82	101.56	100.67	100.39	100.83	101.92	101.02	101.34	

Se muestra los números de ejemplares y pesos (g) para cada muestra de *O.ispi*. Mi (código de cada muestra).

CUADRO IV. NÚMERO DE PECES Y SU RESPECTIVO PESO DE LAS MUESTRAS DE *O.AGASSII*.

	Ma1	Ma2	Ma3	Ma4	Ma5	N ^o Total
N ^o	7	8	7	9	8	39
Peso(g)	111.08	103.2	101.33	103.4	106.69	

Se muestra los números de ejemplares y pesos (g) para cada muestra de *O.agassii*. Ma (código de cada muestra).

CUADRO V. CONCENTRACIONES DE PB, HG Y CU EN AGUA POR ESTACIONES.

Estaciones					
Metal LD	Unidad	Estación1	Estación2	Estación3	
Pb	0.0002 mg/l	<0.00020	<0.00020	<0.00020	
Hg	0.00005 mg/l	<0.00005	<0.00005	<0.00005	

Cu 0.0003 mg/l <0.00030 <0.00030 <0.00030

Se muestra los resultados de cada metal examinado, siendo LD (límite de detección del equipo) unidad (expresado en mg/l) en las 3 estaciones: Lopesani (Estación 1), Rio Ramis (Estación 2) y Pampa isla (Estación 3).

CUADRO VI. CONCENTRACIONES DE PB, HG Y CU EN HÍGADO Y MÚSCULO DE *O. ISPI*.

Muestras											
Metal	LD	Unidad	MI1	MI2	MI3	MI4	MI5	MI6	MI7	MI8	MI9
Pb	0.020	mg/kg	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020
Hg	0.010	mg/kg	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
Cu	0.030	mg/kg	0.8	0.9	0.9	0.7	0.8	0.8	0.7	0.7	0.9

Se muestra los resultados de cada metal examinado, siendo LD (límite de detección del equipo) unidad (expresado en mg/kg), MI (código de cada muestra).

CUADRO VII. CONCENTRACIONES DE PB, HG Y CU EN HÍGADO Y MÚSCULO DE *O. AGASSII*.

Muestras											
----------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Metal	LD	Unidad	MA1	MA2	MA3	MA4	MA5
Pb	0.020	mg/kg	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020
Hg	0.010	mg/kg	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
Cu	0.030	mg/kg	1.61	1.61	1.53	1.88	1.55

Se muestra los resultados de cada metal examinado, siendo LD (límite de detección del equipo) unidad (expresado en mg/kg), MA (código de cada muestra).

CUADRO VIII. LÍMITES PERMISIBLES Y CONCENTRACIONES DE CU EN *O.ISPI* Y *O.AGASSII*.

Especie	Metal	Concentraciones (mg/kg)		Límites permisibles en mg/kg (FAO)*	
		Prom.	Máx.	Chile	Venezuela
<i>O.ispi</i>		0.80	0.90		
	Cu			10	10
<i>O.agassii</i>		1.64	1.88		

*Fuente: Nauen, (1983).Compilation of legal limits for hazardous substances in fish and fishery products. *FAO Fisheries. Circular (764)*, 102.

FIGURAS



FIGURA 1. ÁREA DE ESTUDIO, ZONA NORTE DEL LAGO MAYOR.
ELABORACIÓN PROPIA.

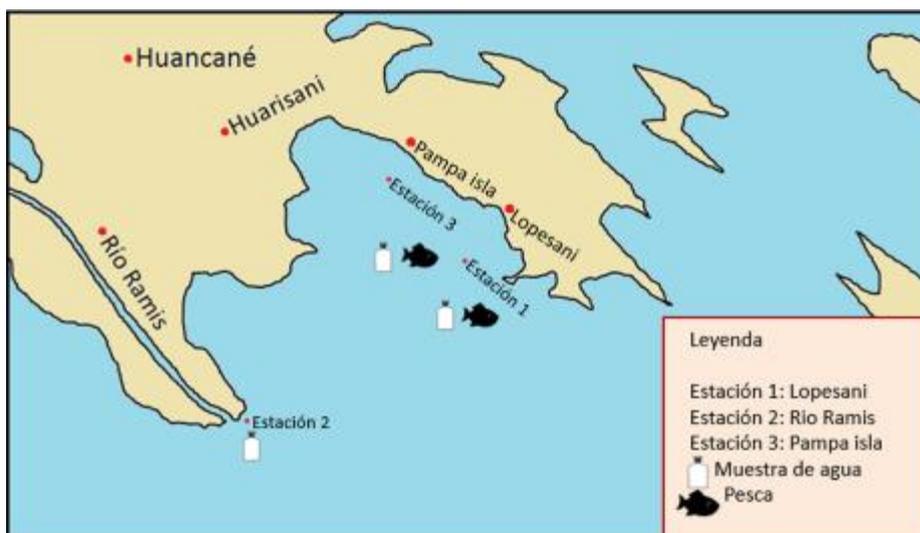


FIGURA 2. MAPA CON LAS ESTACIONES SELECCIONADAS DE COLECTA DE
PECES Y AGUA. ELABORACIÓN PROPIA.

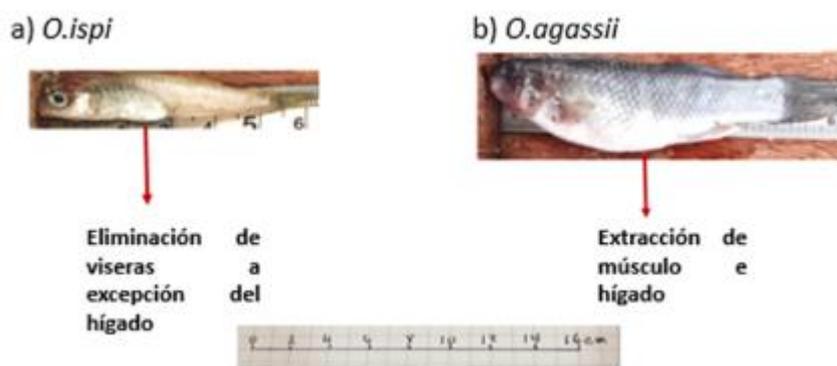


FIGURA 3. PROCESAMIENTO: A) ELIMINACIÓN DE VÍSCERAS, DEJANDO EL CUERPO ENTERO CON EL HÍGADO Y MÚSCULO EN *O. ispi*, B) EXTRACCIÓN DE MUESTRA DE HÍGADO Y MÚSCULO EN *O. agassii*. ELABORACIÓN PROPIA.

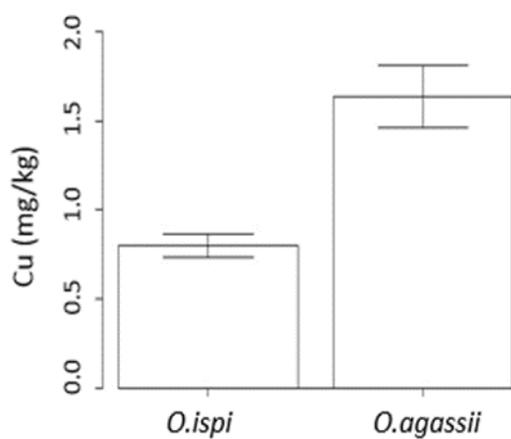


FIGURA 4: COMPARACIÓN DE CONCENTRACIONES DE CU EN HÍGADO Y MÚSCULO, ENTRE *O. agassii* Y *O. ispi*.

Anexos

Evidencia del envío a revista científica



Claudio M. Amescua Garcia <claudio.amescua@atmosfera.unam.mx>

Vie 18/09/2020 13:03

Para: Usted



Buenos días, Estimado Yvette Nicole Arbulu Vercauteren:

Gracias por enviarnos su manuscrito "METALES PESADOS (PB, HG Y CU) EN HÍGADO Y MÚSCULO DE LOS PECES *Orestias ispi* Y *Orestias agassii* DEL LAGO TITICACA, PUNO-PERÚ" a Revista Internacional de Contaminación Ambiental.

Gracias al sistema de gestión de revistas online que usamos podrá seguir su progreso a través del proceso editorial identificándose en el sitio web de la revista:

URL del manuscrito:

<https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/author/submit/mission/54130>

Nombre de usuario/o: yvette_arbulu_vercauteren

Revista Internacional de Contaminación Ambiental



[INICIO](#)
[ACERCA DE](#)
[ÁREA PERSONAL](#)
[BUSCAR](#)
[ACTUAL](#)
[ARCHIVOS](#)
[AVISOS](#)
[ARTÍCULOS PREPUBLICADOS](#)

Inicio > Usuario/a > Autor/a > **Envíos activos**

Envíos activos

ACTIVO/A ARCHIVAR

ID	DD-MM ENVÍAS	SECC	AUTORES/AS	TÍTULO	ESTADO
34130	09-10	ART	Arbulu Vercauteren	NIQUELES PESADOS (Pb, Hg Y Cu) EN BÓXAMO Y MUSCULO DE LOS...	Asignación en espera

USUARIO/A

Ha iniciado sesión como...

yvette_arbulu_vercauteren

- [Mi perfil](#)
- [Cerrar sesión](#)

AUTOR/A

Envíos:

- [Activos](#) (1)
- [Archivos](#) (0)
- [Nuevo envío](#)

IDIOMA

Copia de carta aprobación académica

Copia de resolución de aprobación del proyecto de tesis



Instrumentos usados en la investigación y demás información de utilidad



Figura 5: Instrumentos utilizados en el área de estudio. a) Conductímetro Hanna H198192 y multiparámetro Toledo con 2 sensores Sevensgo Duo pH/ion/Do (pH inlab expert Go-Ism, O₂ inlab optiox sensor, b) GPS Garmin etrex, c) Celular Iphone 6s (toma de fotos), d) Libreta de apuntes y lapicero, e) Paquetes de hielo, f) Baldes, g) Frascos estériles, h) Caja de tecnopor e i) Red de enmalle.



Figura 6: Materiales utilizados en el laboratorio en Puno. a) Mandil de laboratorio, b) Guantes de latex, c) Bandeja de metal, d) Ictiometro de madera , e) Balanza Mettler Toledo, f) Portaminas y papel, g) Hoja de Guillete , h) Pinza de plástico, i) Tijera de metal y j) Bolsas Ziploc.

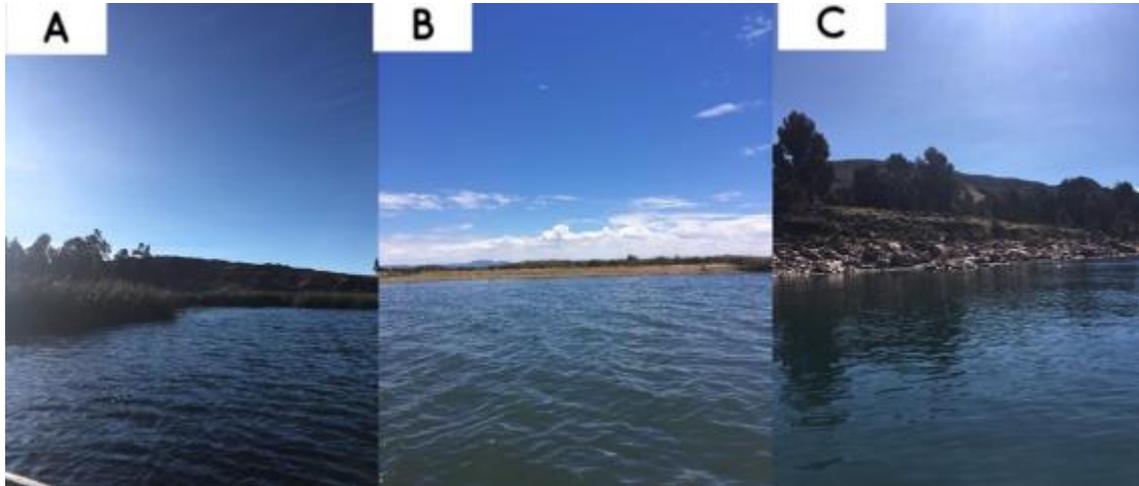


Figura 7: Puntos de muestreo: a) Estación 1 “Lopesani”, donde se colecto *O. agassii* y agua, b) Estación 2 “Rio Ramis”, donde solo se colecto agua; y c) Estación 3 “Pampa Isla”, donde se colecto *O. ispi* y agua.



Figura 8: Pesca de *O.ispi*: a) Pesca con red de emalle en la Estación 3, b) Procesamiento en campo de la pesca de emalle.



Figura 9: Pesca de *O. agassii*: a) y b) Pesca de emalle, en la estación 1; y c) Ejemplares de *O. agassii*.

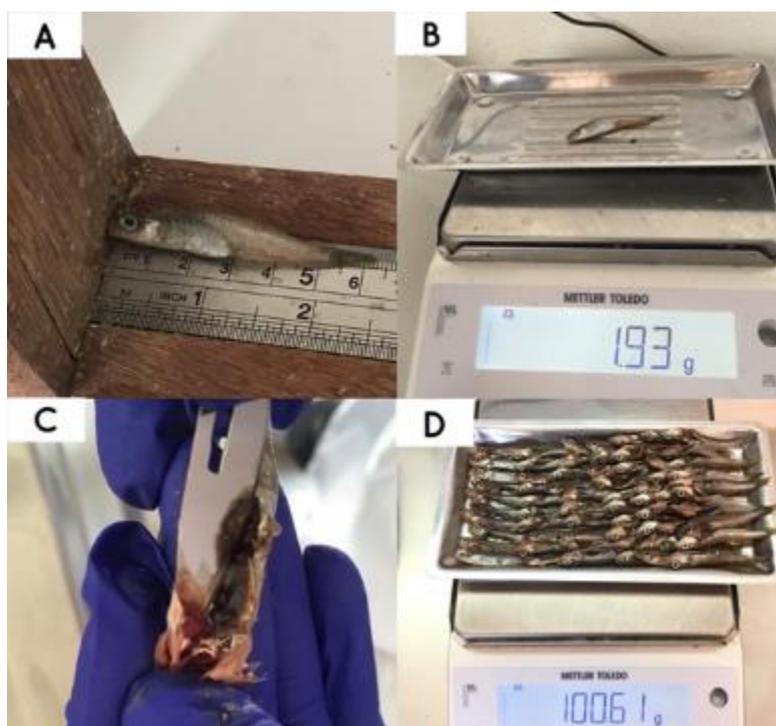


Figura 10: Procesamiento de muestras en el laboratorio de Puno para *O. ispi*: a) Medición (cm), b) Peso (g), c) Eliminación de viseras, d) Peso de cada muestra (g), conjunto de cuerpos enteros con músculos e hígados y sin viseras.

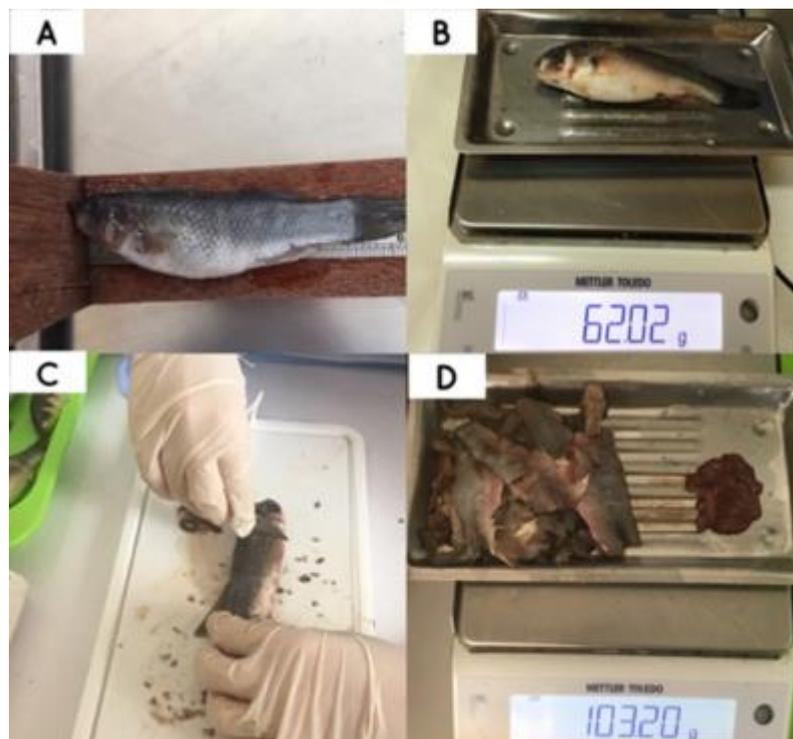


Figura 11: Procesamiento de muestras en el laboratorio de Puno para *O. agassii*: a) Medición (cm), b) Peso (g), c) Extracción de hígado y músculo, d) Peso de cada muestra (5), conjunto de hígados y músculos.

Análisis de metales traza de tejido de pescado en el laboratorio de CERPER



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 003



INFORME DE ENSAYO N° 1-16641/18

Pág. 1/1

Solicitante	: ARBULU VERCAUTEREN, YVETTE NICOLE
Domicilio legal	: Av. Camino Real N° 871 Dpto. 804 - San Isidro - Lima - Lima
Producto declarado	: AGUA SUPERFICIAL
Cantidad de Muestras para el Ensayo	: 3 muestras x 500 mL c/u Muestra proporcionada por el solicitante
Identificación de la muestra	: Según se indica
Forma de Presentación	: En frasco de plástico, cerrado, refrigerado y preservado
Fecha de recepción	: 2018 - 11 - 23
Fecha de inicio del ensayo	: 2018 - 11 - 29
Fecha de término del ensayo	: 2018 - 12 - 03
Ensayo realizado en	: Laboratorio ICP-AA
Identificado con	: H/S 18011739 (EXMA-16520-2018)
Validez del documento	: Este documento es válido solo para las muestras descritas

Ensayo	LD	Unidad	Muestras / Resultados			
			ISPI 3	RIO RAMIS 2	CARACHI 1	
Metales Totales	Cobre (Cu)	0,00030	mg/L	<0,00030	<0,00030	<0,00030

CIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE*

INFORME DE ENSAYO N° 1-13128/18

Pág. 2/4

Ensayo	LD	Unidad	Muestras / Resultados					
			CARACHI MA1 YUETTE	CARACHI MA2 YUETTE	CARACHI MA3 YUETTE	CARACHI MA4 YUETTE	CARACHI MA5 YUETTE	
Metales Totales ICP-Masa	Plata (Ag)	0,0050	mg/kg	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050
	Piomo (Pb)	0,020	mg/kg	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020
	Potasio (K)	1,00	mg/kg	3 118	3 183	3 142	3 138	3 370
	Selenio (Se)	0,050	mg/kg	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
	Silicio (Si)	1,00	mg/kg	2,54	<1,00	<1,00	<1,00	2,82
	Sodio (Na)	1,00	mg/kg	962	948	987	1 003	940
	Taño (Ti)	0,0250	mg/kg	<0,0250	<0,0250	<0,0250	<0,0250	<0,0250
	Telurio (Te)	0,050	mg/kg	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
	Titanio (Ti)	0,050	mg/kg	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
	Uranio (U)	0,0050	mg/kg	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050
	Vanadio (V)	0,050	mg/kg	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
	Wolframio (W)	0,050	mg/kg	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
	Zinc (Zn)	0,050	mg/kg	9,84	10,1	9,92	11,1	10,2

LD.Límite de detección

Ensayo	LD	Unidad	Muestras / Resultados				
			CHIGADO ISPI MI1	CHIGADO ISPI MI2	CHIGADO ISPI MI3	CHIGADO ISPI MI4	CHIGADO ISPI MI5
Aluminio (Al)	0,05	mg/kg	2,24	3,56	2,90	3,59	2,87
Antimonio (Sb)	0,020	mg/kg	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020
Arsénico (As)	0,050	mg/kg	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
Bario (Ba)	0,015	mg/kg	1,01	1,26	1,42	1,40	1,32
Berilio (Be)	0,015	mg/kg	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015
Bismuto (Bi)	0,050	mg/kg	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
Boro (B)	1,00	mg/kg	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00

INFORME DE ENSAYO N° 1-13128/18

Pág. 3/4

Ensayo	LD	Unidad	Muestras / Resultados					
			CHIGADO ISPI MI1	CHIGADO ISPI MI2	CHIGADO ISPI MI3	CHIGADO ISPI MI4	CHIGADO ISPI MI5	
Metales Totales ICP-Masa	Plata (Ag)	0,0050	mg/kg	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050
	Piomo (Pb)	0,020	mg/kg	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020
	Potasio (K)	1,00	mg/kg	3 514	3 193	3 413	3 130	2 956
	Selenio (Se)	0,050	mg/kg	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
	Silicio (Si)	1,00	mg/kg	4,54	5,57	6,08	5,70	5,90
	Sodio (Na)	1,00	mg/kg	1 167	1 227	1 220	1 052	984
	Taio (Ti)	0,0250	mg/kg	<0,0250	<0,0250	<0,0250	<0,0250	<0,0250
	Telurio (Te)	0,050	mg/kg	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
	Titanio (Ti)	0,050	mg/kg	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
	Uranio (U)	0,0050	mg/kg	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050
	Vanadio (V)	0,050	mg/kg	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
	Wolframio (W)	0,050	mg/kg	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
Zinc (Zn)	0,050	mg/kg	25,9	21,6	22,6	20,4	22,8	

LD: Límite de detección

Ensayo	LD	Unidad	Muestras / Resultados				
			CHIGADO ISPI MI6	CHIGADO ISPI MI7	CHIGADO ISPI MI8	CHIGADO ISPI MI9	
Metales Totales ICP-Masa	Aluminio (Al)	0,05	mg/kg	1,89	1,57	1,65	<0,05
	Antimonio (Sb)	0,020	mg/kg	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020
	Arsénico (As)	0,050	mg/kg	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
	Bario (Ba)	0,015	mg/kg	1,17	1,26	1,45	1,15
	Berilio (Be)	0,015	mg/kg	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015
	Bismuto (Bi)	0,050	mg/kg	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
	Boro (B)	1,00	mg/kg	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00
	Cadmio (Cd)	0,020	mg/kg	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020
	Calcio (Ca)	5,00	mg/kg	6 591	5 673	6 760	5 063
	Cobalto (Co)	0,030	mg/kg	<0,030	<0,030	<0,030	<0,030
	Cobre (Cu)	0,030	mg/kg	0,8	0,7	0,7	0,9
	Cromo (Cr)	0,050	mg/kg	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
	Estaño (Sn)	0,0250	mg/kg	<0,0250	<0,0250	<0,0250	<0,0250

INFORME DE ENSAYO N° 1-13128/18

Pág. 4/4

Ensayo	LD	Unidad	Muestras / Resultados				
			CHIGADO ISPI MI6	CHIGADO ISPI MI7	CHIGADO ISPI MI8	CHIGADO ISPI MI9	
Metales Totales ICP-Masa	Plata (Ag)	0,0050	mg/kg	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050
	Plomo (Pb)	0,020	mg/kg	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020
	Potasio (K)	1,00	mg/kg	2 696	2 714	2 877	2 891
	Selenio (Se)	0,050	mg/kg	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
	Silicio (Si)	1,00	mg/kg	4,84	4,51	5,33	4,46
	Sodio (Na)	1,00	mg/kg	860	954	918	939
	Talio (Tl)	0,0250	mg/kg	<0,0250	<0,0250	<0,0250	<0,0250
	Telurio (Te)	0,050	mg/kg	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
	Titanio (Ti)	0,050	mg/kg	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
	Uranio (U)	0,0050	mg/kg	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050
	Vanadio (V)	0,050	mg/kg	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
	Wolframio (W)	0,050	mg/kg	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050
	Zinc (Zn)	0,050	mg/kg	23,4	20,4	23,0	22,1

LD: Límite de detección

MÉTODO

Metales Totales ICP-Masa: EPA METHOD 6020A. Revision 1. 2007. Inductively coupled plasma-mass spectrometry (Preparación de muestra EPA: Method 3051A. Microwave assisted acid digestion of Sediments, sludges, soils, and oils)

OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

 Caliao, 18 de diciembre de 2018
 AM