



Bioacumulación de mercurio y zinc en especies ictícolas de la subcuenca del río Carrizal, Manabí, Ecuador.

Bioaccumulation of mercury and zinc on fish species of the Carrizal river sub-basin, Manabí, Ecuador.

Bioacumulação de mercúrio e zinco em espécies de peixes da sub-bacia do rio Carrizal, Manabí, Equador.

Ana María Aveiga Ortiz / ESPAM Manuel Félix López, Ecuador / aaveiga@espam.edu.ec

Flor María Cárdenas Guillén / ESPAM Manuel Félix López, Ecuador / flor.cardenas@espam.edu.ec

Fabián Peñarrieta Macías / ESPAM Manuel Félix López, Ecuador / fabian.penarrietama@espam.edu.ec

Francisco Alejandro Alcántara Boza / Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú / falcantarab@unmsm.edu.pe

Recibido: 15/10/2020 **Aceptado:** 25/11/2020 **Publicado:** 30/12/2020

RESUMEN

La contaminación por metales pesados representa una preocupación mundial. La presente investigación persiguió evaluar la bioacumulación de mercurio y zinc en los tejidos branquial, hepático y muscular en especies ictícolas de la subcuenca del río Carrizal. Se establecieron 14 estaciones de monitoreo. Para la determinación de mercurio y zinc se aplicaron los métodos APHA AWWA WEF 3112-B y APHA AWWA WEF 3111-B-C, respectivamente. En *Oreochromis niloticus*, la mayor concentración de mercurio (0.300 mg/kg en agosto y 0.276 mg/kg en octubre) y zinc (0.371 mg/kg en agosto y 0.347 mg/kg en octubre) fue mayor en branquias. Para *Hoplias microlepis* el músculo fue el depósito de mercurio (1.615 mg/kg en agosto y 1.456 mg/kg en octubre) y de zinc (1.243 mg/kg en agosto y 1.069 mg/kg en octubre). El *Aequidens rivulatus* presentó los valores más altos de mercurio en músculo (2.034 mg/kg en agosto y 1.926 mg/kg en octubre). En cuanto al zinc, en agosto se encontraron 0.373 mg/kg en branquias. Durante el monitoreo realizado en agosto de 2017 existió mayor presencia de mercurio y zinc en las especies analizadas. Se deduce que la biomagnificación de metales pesados en la zona de estudio tiene relación directa con la utilización de insumos agrícolas.

Palabras clave: *Aequidens rivulatus*, biomagnificación, *Hoplias microlepis*, ictiofauna, metales pesados, *Oreochromis niloticus*

ABSTRACT

Heavy metals pollution represents a worldwide concern. This work had the objective to evaluate bioaccumulation of mercury and zinc in gill, hepatic and muscular tissue on fish species in the Carrizal river basin. Fourteen monitoring stations were established. APHA AWWA WEF 3112-B and APHA AWWA WEF 3111-B-C methods were used to determine mercury and zinc. In *Oreochromis niloticus*, the highest concentration of mercury (0.300 mg/kg in august and 0.276 mg/kg in october) and zinc (0.371 mg/kg in august and 0.347 mg/kg in october) was in branches. For *Hoplias microlepis* there were more mercury in muscle (1.615 mg/kg in august and 1.456 mg/kg in october) and zinc (1.243 mg/kg in august and 1.069 mg/kg in october). *Aequidens rivulatus* had the highest levels of mercury in muscle (2.034 mg/kg in august and 1.926 mg/kg in october). With reference to zinc, in August 0.373 mg/kg was found in the gills. In august 2017, there was a greater presence of mercury and zinc in the analyzed species. It can be deduced that the biomagnifications of heavy metals has a direct relationship with the use of agricultural inputs.

Keywords: *Aequidens rivulatus*, biomagnifications, heavy metals, *Hoplias microlepis*, ichthyofauna, *Oreochromis niloticus*

RESUMO

Contaminação por metais pesados representa uma preocupação mundial. Está investigação teve como finalidade avaliando a bioacumulação de mercúrio e zinco em tecido branquial, hepático e muscular em espécies ictícolas de la subcuena del río Carrizal. Se estabeleceu 14 estaciones de monitoreo. Aplique os métodos APHA AWWA WEF 3112-B e APHA AWWA WEF 3111-B-C, para determinar o mercúrio e o zinco. Em *Oreochromis niloticus*, a concentração de mercúrio (0.300 mg/kg em agosto e 0.276 mg/kg em outubro) e zinco (0.371 mg/kg em agosto e 0.347 mg/kg em outubro) foi mayor en branquias. Para *Hoplias microlepis* o músculo fue depósito de mercúrio (1.615 mg/kg em agosto e 1.456 mg/kg em outubro) e de zinco (1.243 mg/kg em agosto e 1.069 mg/kg em outubro). *Aequidens rivulatus* apresenta os valores mais altos de mercúrio em músculo (2.034 mg/kg em agosto e 1.926 mg/kg em outubro). En agosto se encontraron 0.373 mg/kg de zinco en branquias. Em agosto de 2017, existió mayor presencia de mercurio y zinco en las especies analizadas. Biomagnificação de metais pesados tem relação direta con la utilización de insumos agrícolas.

Palavras chave: *Aequidens rivulatus*, biomagnificação, *Hoplias microlepis*, ictiofauna, metais pesados, *Oreochromis niloticus*

INTRODUCCIÓN

La contaminación por metales pesados se ha convertido en una preocupación importante a nivel mundial debido a su toxicidad, persistencia intrínseca, naturaleza no biodegradable y comportamientos acumulativos (Ahmed *et al.*, 2019; Rajeshkumar & Li, 2018). A los sistemas acuáticos naturales, históricamente receptores de todo tipo de contaminantes, llegan especialmente los metales pesados provenientes de actividades antrópicas, lo cual ha provocado efectos devastadores sobre el equilibrio ecológico del ambiente y una diversidad de organismos acuáticos (Akan *et al.*, 2012; Baharom & Ishak, 2015).

Entre las especies animales, la ictiofauna sufre efectos subletales o muerte al ocupar un nivel trófico alto; por ello es considerado un bioindicador para metales pesados como el mercurio (Hg) y el zinc (Zn) (Darko *et al.*, 2016). Al respecto, estas especies tienen la capacidad de acumularlos en sus tejidos mediante la absorción a lo largo de la superficie branquial, la pared del riñón, el hígado y el tracto intestinal (Bawuro *et al.*, 2018).

Según Rajeshkumar & Li (2018), los metales pesados ingresan a la cadena alimentaria acuática mediante el consumo directo de agua y alimentos. Estudios previos como el de Webb *et al.* (2004) reportan que, en el río Napo (Ecuador), los niveles de Hg en peces piscívoros fueron de hasta 0.36 µg/g,

mientras que su concentración en peces herbívoros fue de 0.05 µg/g. En cuanto al zinc, Betancourt (2017) determina que en la costa ecuatoriana existe una media de 2.37 mg/100 g de este metal en *Fistularia corneta*.

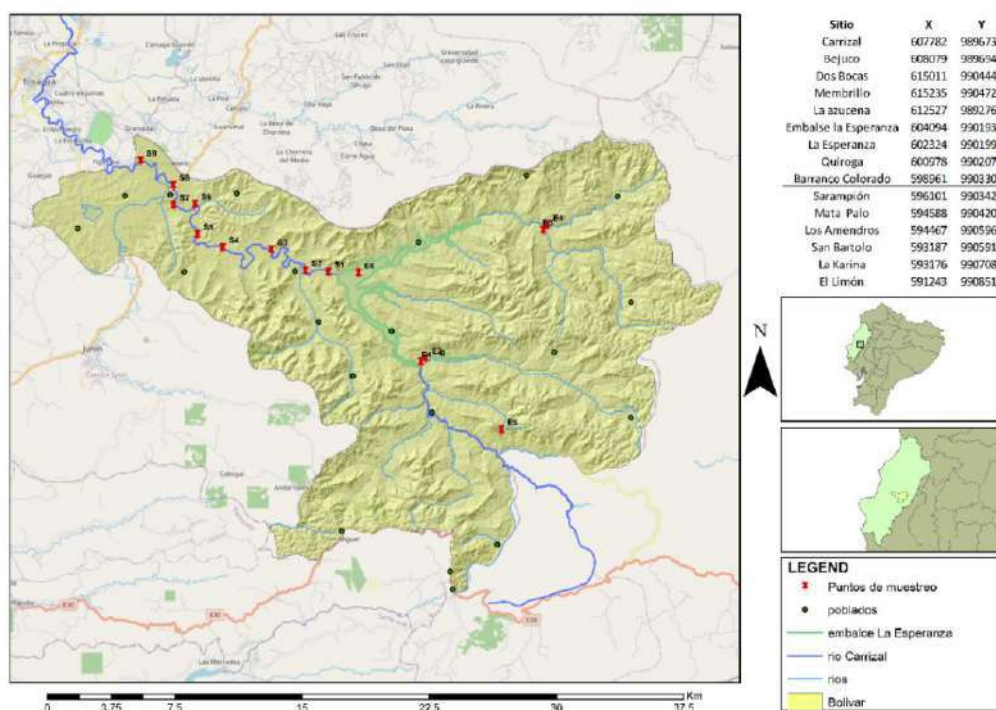
El río Carrizal es el medio receptor de una gran variedad de desechos provenientes de la actividad agrícola; además, es una de las principales fuentes de suministro de alimentos para comunidades rurales de la provincia Manabí. Por tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar la bioacumulación de mercurio y zinc en los tejidos branquial, hepático y muscular en especies ictícolas de la subcuenca del río Carrizal, Manabí, Ecuador.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de muestreo

Tomando en cuenta las características hidrológicas, geológicas, climatológicas, actividades antropogénicas y uso del suelo, así como criterios de identificación, accesibilidad y representatividad del objeto de estudio, se establecieron 14 estaciones de monitoreo a lo largo de la subcuenca del río Carrizal, distribuidas de la siguiente manera: cinco estaciones en el embalse La Esperanza (8 km de extensión) y nueve estaciones distribuidas en 26 km de la subcuenca del río Carrizal, con lo cual se cubrió una extensión aproximada de 34 km (*figura 1*).

Figura 1. Puntos de muestreo en la zona de estudio ubicados en el cantón Bolívar, Manabí, Ecuador.



Fuente: Elaboración propia.

Captura de especímenes

Para la *captura de especímenes* se tomó como referencia la metodología de la Confederación Hidrográfica del Ebro (2015), y se emplearon los criterios de Sancho-Tello *et al.* (2010) que aparecen en *Red de Control de Sustancias Peligrosas. Agua, sedimentos y Biota*. En cuanto a la selección de especímenes, se siguieron los criterios de la Directiva 76/464CEE de España (1976). Se consideraron las especies adultas con tamaño y peso similares, y se eligieron una de fondo de agua, una de medio de agua y otra depredadora (García, 1993).

Se recolectaron individuos en los meses de agosto y octubre del año 2017; de las especies seleccionadas para esta

investigación: *Oreochromis niloticus* (tilapia, omnívoro introducido), *Hoplias microlepis* (guanchiche, depredador nativo de media agua) y *Aequidens rivulatus* (omnívoro nativo del fondo del agua).

La captura de las especies ictícolas se realizó con la ayuda de redes de pesca (malla de 4 a 4.5 pulgadas); los peces capturados fueron almacenados en fundas plásticas en un *cooler* con hielo, luego se identificaron, midieron y pesaron (Correa *et al.*, 2015). Después se trasladaron los especímenes al Laboratorio de Química Ambiental de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, donde se conservaron en frío (0°C) hasta su disección con instrumental de plástico; se extrajeron tejidos de hígado, branquias y músculo;

se guardaron en recipientes de plástico (lavados previamente con ácido nítrico al 10%) y se congelaron para su conservación y posterior transporte (Herrero, 2014).

Análisis de las muestras de hígado, branquias y músculo de los peces en estudio

La determinación de los metales pesados Hg y Zn se realizó en la Universidad de las Fuerzas Armadas de Ecuador, y se efectuó de acuerdo con los lineamientos de los métodos APHA AWWA WEF 3112-B y APHA AWWA WEF 3111-B-C, respectivamente.

Los resultados se compararon con los estándares de calidad (contenidos máximos permisibles), del Reglamento No 1881 de 2006 de la Unión Europea en lo referente a los niveles Hg y Zn en todas las especies evaluadas. También se realizaron comparaciones con los límites permisibles de metales en peso húmedo en peces, establecidos por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2017).

Estudio estadístico de los resultados

Se utilizó el *software* estadístico SPSS versión 25.0 para el análisis estadístico de los resultados. La variabilidad observada en las distintas concentraciones de Hg y Zn se estudió a través del análisis de varianza (ANOVA). Previamente se comprobó la normalidad de los datos mediante *Shapiro-Wilks* o *Kolmogorov-Smirnov*, en dependencia del tamaño de la muestra. Las variables que no cumplieron con los supuestos mencionados fueron transformadas

utilizando el artificio matemático raíz de X+1. Posteriormente, se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas, por lo que se procedió a las comparaciones de rangos múltiples a través de la prueba de *Tukey*, a un nivel de significancia del 5%. Se utilizó la prueba paramétrica T y la no paramétrica de *Wilcoxon* para comparar las muestras relacionadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los hallazgos encontrados:

***Oreochromis niloticus* (tilapia)**

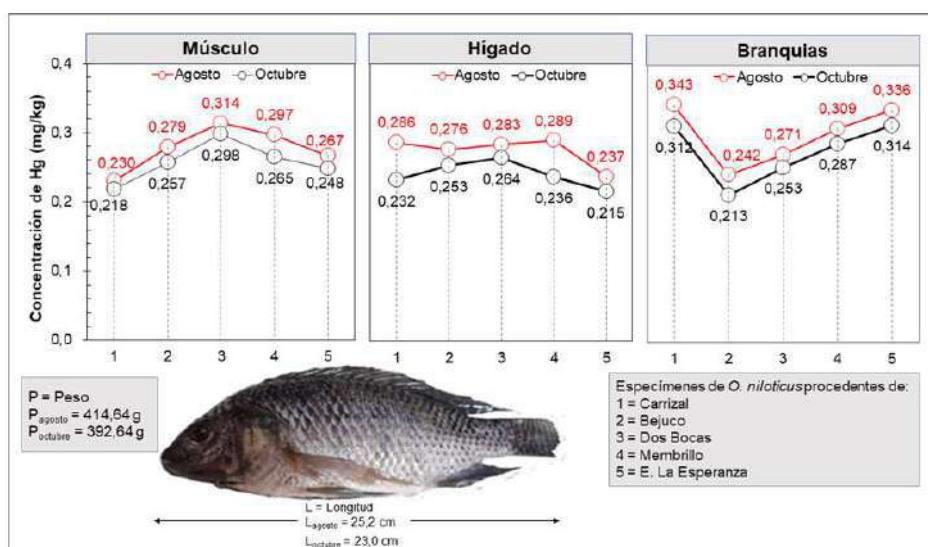
Se recolectó una muestra de cinco especímenes. La media aritmética de los niveles de Hg en *Oreochromis niloticus* en agosto fue de 0.277 mg/kg en músculo, 0.274 mg/kg en hígado y de 0.300 mg/kg en branquias; mientras que en octubre la concentración de Hg en músculo fue de 0.257 mg/kg, en hígado 0.240 mg/kg y en branquias alcanzó 0.276 mg/kg (*figura 2*). Estos valores se encuentran por debajo del límite establecido en el *Codex Alimentarius* (FAO, 2017) de 0.5 mg/kg.

Estos resultados se relacionan con los hallazgos de Vergara y Rodríguez (2015), quienes detectaron concentraciones promedio de Hg en *Oreochromis niloticus* con valores de 0.1 mg/kg (músculo), 0.3 mg/kg (hígado) y 0.2 mg/kg (branquias); que fueron atribuidos a los hábitos alimenticios de esta especie y a una presencia latente de Hg en el ecosistema la cuenca alta del río Chicamocha (Colombia). Por su parte, Pis (1999) encontró que el contenido de Hg en músculo de *Oreochromis aureus*,

de tamaño pequeño (50-150 g) y de tamaño mediano (151-250 g), no presentaron concentraciones de Hg por encima de los límites admisibles (0.3 mg/kg) en la norma cubana NC 38-02-06 (Oficina Nacional de Normalización, 1984); no obstante, el 29%

de los individuos de tamaño grande superó dicho límite. Los resultados de la presente investigación indican mayores niveles de Hg en agosto, y un aumento directamente proporcional de la concentración de Hg con el peso y el tamaño de cada individuo.

Figura 2. Niveles de Hg encontrados en *Oreochromis niloticus* del río Carrizal en agosto y octubre de 2017.



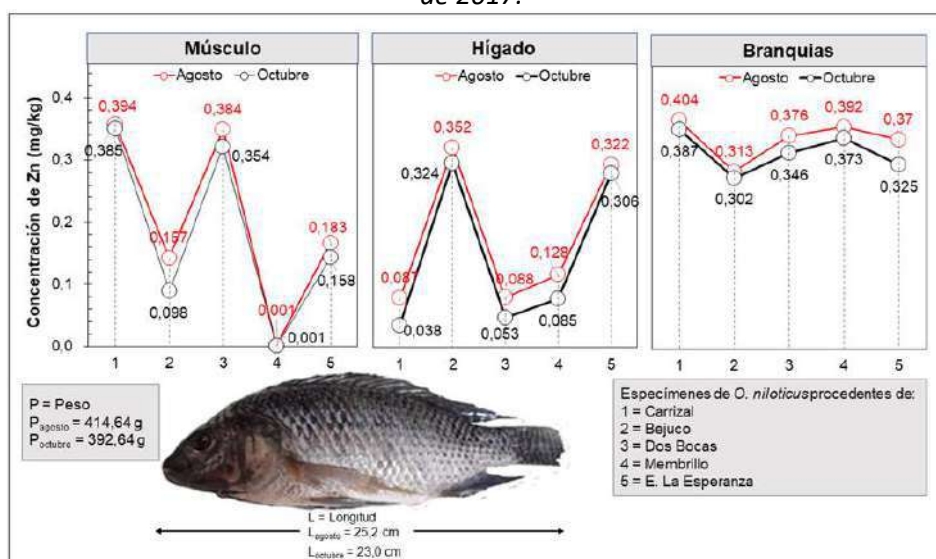
Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a los niveles de Zn, en *Oreochromis niloticus* (figura 3) se encontró que durante el mes de agosto la concentración fue de 0.224 mg/kg en el músculo, 0.195 mg/kg en el hígado y 0.371 mg/kg en las branquias; mientras que en octubre se hallaron 0.199 mg/kg en el músculo, 0.161 mg/kg en el hígado y 0.347 en las branquias; cantidades que tampoco sobrepasan los límites legales (50 mg/kg) establecidos en el Reglamento N°1881 de 2006.

Por otra parte, Olivares *et al.* (2014) encontraron niveles de Zn en branquias

desde 0.98 mg/kg (en *M. cephalus*) hasta 35 mg/kg (en *O. brevinalis*), en las desembocaduras de tres cuerpos de agua de Chile, asociándose los valores más elevados a la deposición de material particulado proveniente de una planta refinadora de petróleo cercana a la zona de estudio. En la presente investigación, los valores más altos de Zn se encontraron en las branquias, lo que se atribuye a la facilidad del metal para atravesar las membranas celulares en este tejido (Olivares *et al.*, 2014).

Figura 3. Concentraciones de Zn en *Oreochromis niloticus* del río Carrizal en agosto y octubre de 2017.



Fuente: Elaboración propia.

En la *tabla 1*, el ANOVA refleja los efectos estadísticamente significativos en el metal Hg para el factor *épocas*; en el factor tejidos se encontró significancia para el Zn; mientras que la interacción *épocas x tejidos* no presentó diferencia.

Tabla 1. ANOVA de las concentraciones de Hg y Zn en las diferentes épocas (agosto y octubre, 2017) en tejidos de *Oreochromis niloticus* en el río Carrizal.

Fuente de variación	Gl	Mercurio [†]	Zinc [†]
Bloques	4	0.0001 ^{ns}	0.0031 ^{ns}
Épocas	1	0.0010*	0.0012 ^{ns}
Tejidos	2	0.0005 ^{ns}	0.0189*
Épocas*Tejidos	2	0.0001 ^{ns}	0.0001 ^{ns}
Error	20	0.0002	0.0033
Coefficiente de variación (%)		1.32	5.16

Nota: [†]Valores transformados en raíz de X+1; *Significativos (P<0.05); ns= no significativo.

Fuente: Elaboración propia.

De igual manera, se aplicó un análisis de comparación de medias entre los niveles de Hg y Zn en cada época (agosto y octubre) con cada tejido (músculo, hígado y branquias), encontrándose los promedios más altos de Hg en agosto (*tabla 2*); ello podría atribuirse a que en dicho mes hubo una abundante precipitación en la zona de

estudio, la cual generó un mayor caudal de los ríos que aportan al embalse La Esperanza (microcuencas Carrizal, Bejuco, Membrillo y Cañas) y que aumentó el arrastre de suelo y sustrato al cuerpo hídrico; por el contrario, en octubre las lluvias cesaron con una escorrentía de caudal mínimo, que redujo el transporte de nutrientes hacia el cuerpo acuático.

Tabla 2. Prueba de Tukey (5 % de probabilidad) para las épocas de muestreo (agosto y octubre, 2017) del Hg de *Oreochromis niloticus* en el río Carrizal.

Meses	Medias	Ámbito estadístico
Agosto	1.133	A
Octubre	1.121	B

Nota: Medias seguidas de la misma letra no difieren estadísticamente ($P < 0.05$).

Fuente: Elaboración propia.

Cousillas (2007) refiere también que la bioacumulación de metales pesados como el Hg, en especies ictícolas, obedece a factores como el agua de escorrentía (influenciada por la precipitación) y la composición de la dieta. Además, el género *Oreochromis* es omnívoro y su dieta incluye desde vegetación macroscópica hasta algas unicelulares y bacterias, con tendencia al consumo de zooplancton; filtran el agua mediante branquiespinas para obtener su alimento. Los juveniles son omnívoros (se alimentan de zooplancton y zoobentos, desechos, materia en suspensión coloidal y fitoplancton), y después se vuelven casi completamente herbívoros (que consumen fitoplancton y utilizan el mecanismo mucoso y sus dientes faríngeos); realizan la ingestión en el día, pero la digestión ocurre en la noche (López y Cruz, 2011).

Por otra parte, ya se ha reportado la influencia estacional en la concentración de Hg en peces de ríos bolivianos (Zapata, 1994), y la diversificación estacional de Hg en especímenes del Alto Pantanal en Brasil (Hylander *et al.*, 2000); lo cual coincide con

los hallazgos de esta investigación.

Respecto a la comparación de medias de los niveles de Zn en los tejidos analizados, se encontró que las branquias presentan los valores más altos (*tabla 3*). Esto ratifica los reportes anteriores sobre la bioacumulación de Zn en branquias, Shen *et al.* (1998) encontraron cantidades más altas del metal en branquias de *Tilapia mossambica*; y Herrero (2014) halló que metales como Al, Mn, Zn, Ni, Cr y As son más bioacumulables en branquias de *Salmo trutta*.

De acuerdo con Vrhovnik *et al.* (2013), la bioacumulación de elementos traza, como el Zn, depende de factores como la especiación química, el pH, la temperatura, la turbidez y elementos biológicos. Además, el recurso hídrico de la zona en estudio presenta un incremento de sales y, por ende, mayor contribución de iones de calcio y magnesio que compiten con metales pesados al unirse en los mismos sitios de las branquias de los peces; lo cual provoca una disminución de la asimilación de Hg en estos organismos (Spry & Wiener, 1991).

Tabla 3. Prueba de Tukey (5 % de probabilidad) para niveles de Hg en las diferentes épocas (agosto y octubre, 2017) en tejidos de *Oreochromis niloticus* en el río Carrizal.

Tejidos	Medias	Ámbito estadístico
Hígado	1.0840	B
Músculo	1.0986	B
Branquias	1.1656	A

Nota: Medias seguidas de la misma letra no difieren estadísticamente ($P < 0.05$)

Fuente: Elaboración propia.

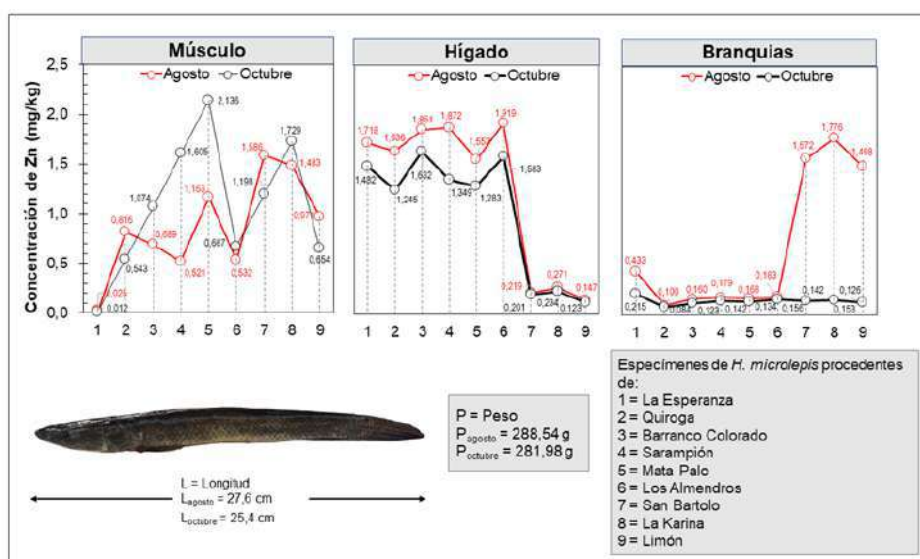
Hoplias microlepis (guanchinche)

La especie conocida como guanchiche es autóctona de la zona de estudio. Se recolectaron nueve individuos en este caso. Los niveles de Hg en los diferentes tejidos se muestran en la *figura 4*, en la cual se refleja una concentración promedio en agosto de 1.615 mg/kg en el músculo, 0.584 mg/kg en el hígado y 1.082 mg/kg en las branquias; mientras que en octubre se encontraron 1.456 mg/kg en el músculo, 0.353 mg/kg en el hígado y 0.848 mg/kg en las branquias; cantidades que exceden los

límites establecidos en el *Codex Alimentarius* (FAO, 2017) de 0.5 mg/kg y 1 mg/kg del Reglamento N° 1881 de 2006.

Los especímenes estudiados presentaron un peso y tamaño promedio de 288.54 g; 27.6 cm en agosto y 281.98 g; y 25.4 cm en octubre, respectivamente. De manera similar a lo encontrado en *Oreochromis niloticus*, existen niveles más altos de Hg en agosto, y se evidencia una relación directamente proporcional entre el tamaño y el peso con el contenido de Hg.

Figura 4. Niveles de Hg en *Hoplias microlepis* del río Carrizal en agosto y octubre de 2017.

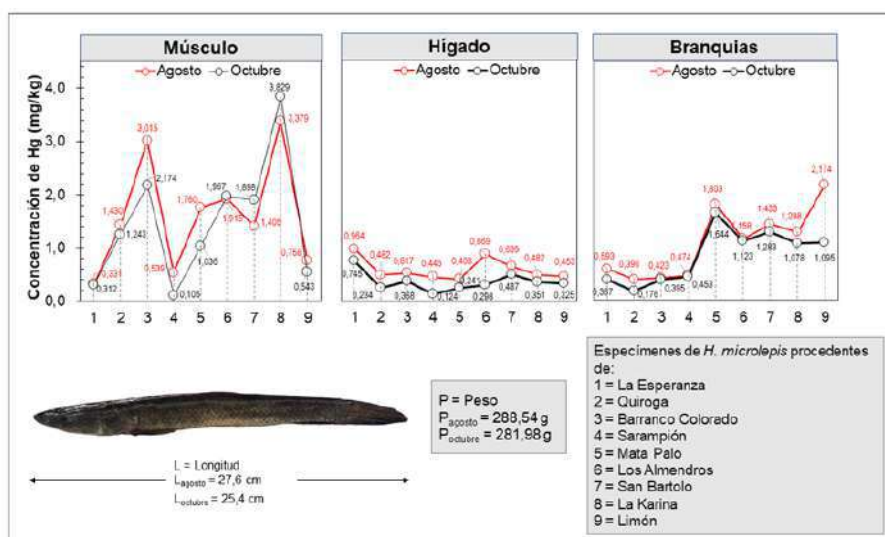


Fuente: Elaboración propia.

La principal fuente de bioacumulación de elementos traza como el Zn, en peces, es el consumo directo de presas contaminadas o biomagnificación (Hall *et al.*, 1997). Sin embargo, es probable que los niveles de metales pesados difieran en los tejidos por causa de los diferentes mecanismos de absorción, desintoxicación y almacenamiento de tales elementos (Metian *et al.*, 2013). En lo referente a los niveles de Zn en *Hoplias*

microlepis, en agosto fueron de 0.865 mg/kg para el músculo, 1.243 mg/kg en el hígado y 0.674 mg/kg en las branquias; pero en octubre se detectaron concentraciones de 1.069 mg/kg en el músculo, 1.015 mg/kg en el hígado y 0.142 mg/kg en las branquias (figura 5). Dichos valores se encuentran bajo el límite (50 mg/kg) establecido en el Reglamento N° 1881 de 2006.

Figura 5. Niveles de Hg en *Hoplias microlepis* del río Carrizal en agosto y octubre de 2017.



Fuente: Elaboración propia.

En el ANOVA aplicado se encontraron diferencias significativas en los valores de Hg y Zn en el factor *tejidos*. No obstante, en el factor *épocas* y en la interacción *épocas x tejidos* no se detectaron diferencias (tabla 4); aunque Souza *et al.* (2018) sí encontraron diferencias en las concentraciones de metales y metaloides en peces recolectados en diferentes períodos.

Ha sido bien documentado que la dieta y los hábitos alimenticios inciden en la concentración de Hg en peces (Ferriss &

Essington, 2014). Según Cousillas (2007), alrededor del 90% del Hg bioacumulado en peces ingresa mediante la alimentación. Además, los hallazgos de Li *et al.* (2015) sugieren que la bioacumulación de Hg, entre otros metales, es más alta en especies carnívoras (*Pelteobagrus fulvidraco*) en comparación con omnívoros como *Carassius auratus*; de manera similar, Mancera y Álvarez (2006) reportaron altos niveles de Hg en *Hoplias malabaricus*. Al ser la *Hoplias microlepis* una especie carnívora ubicada en la cúspide de la cadena alimenticia

(Banquett *et al.*, 2005), se considera que los resultados de la presente investigación también indican la biomagnificación de Hg en la zona de estudio.

Tabla 4. ANOVA de los niveles de Hg y Zn en las épocas (agosto y octubre, 2017) y tejidos de *Hoplias microlepis* en el río Carrizal.

Fuente de variación	Gl	Mercurio [†]	Zinc [†]
Bloques	8	0.1139**	0.0190 ^{ns}
Épocas	1	0.0819 ^{ns}	0.0645 ^{ns}
Tejidos	2	0.5526**	0.3670**
Épocas*Tejidos	2	0.0010 ^{ns}	0.0806 ^{ns}
Error	40	0.0435	0.0559
Coeficiente de variación (%)		15.05	17.75

Nota: †Valores transformados en raíz de X+1; **Significativos (P<0.01); ns= no significativo.

Fuente: Elaboración propia.

Además, se ha encontrado que el Hg se bioacumula preferentemente en músculo (Waheed *et al.*, 2014; Souza *et al.*, 2018). En el presente estudio se encontró que el Hg se depositó mayormente en músculo con diferencias estadísticamente significativas (tabla 5).

Tabla 5. Prueba de Tukey (5 % de probabilidad) sobre las concentraciones de Hg en los tejidos de *Hoplias microlepis* en el río Carrizal.

Tejidos	Medias	Ámbito estadístico
Músculo	1.536	A
Branquias	0.965	B
Hígado	0.469	B

Nota: Medias seguidas de la misma letra no difieren estadísticamente (P<0.05).

Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, en el análisis estadístico realizado para el Zn se encontró similitud entre el hígado y el músculo (con los valores más altos); mientras que en las branquias se encontraron los menores niveles (tabla 6). Es de suponer que el uso excesivo de agroquímicos y fertilizantes, en actividades agrícolas, contribuye al incremento de Zn en los cauces de la zona de estudio (da Silva *et al.*, 2017).

Tabla 6. Prueba de Tukey (5 % de probabilidad) de los niveles de Zn en los tejidos de *Hoplias microlepis* en el río Carrizal.

Tejidos	Medias	Ámbito estadístico
Hígado	1.129	A
Músculo	0.967	A
Branquias	0.408	B

Nota: Medias seguidas de la misma letra no difieren estadísticamente ($P < 0.05$).

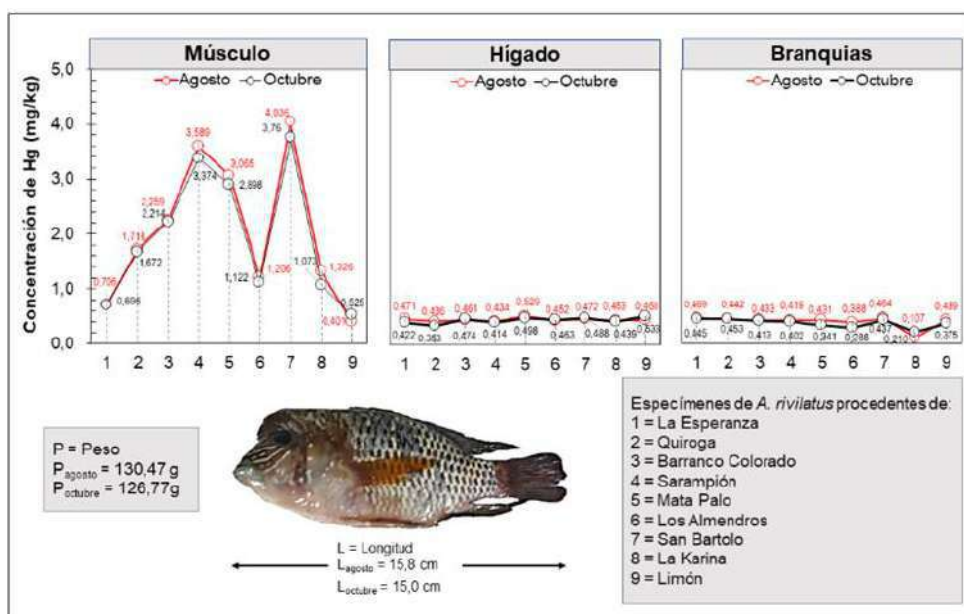
Fuente: Elaboración propia.

Aequidens rivulatus (vieja azul)

Se recolectaron nueve individuos de *Aequidens rivulatus*; en agosto se observó una concentración promedio de Hg de 2.034 mg/kg en el músculo, 0.463mg/kg en el hígado y 0.399 mg/kg en las branquias; mientras que en octubre los niveles fueron de 1.926 mg/kg en el músculo, 0.454 mg/kg en el hígado y 0.374 mg/kg en las branquias (figura 6). Dichos valores exceden los

límites del Codex Alimentarius (FAO, 2017) de 0.5 mg/kg. Resultados similares obtuvieron Malik & Maurya (2014), quienes reportaron niveles elevados de metales pesados en peces de fondo (*Heteropneustes fossilis*); al igual que Li *et al.* (2015), con otras especies. Los *Aequidens rivulatus* también presentaron mayores niveles de Hg en agosto y, al igual que las otras dos especies en estudio, a mayor peso y tamaño existe mayor concentración del metal.

Figura 6. Niveles de Hg en tejidos de *Aequidens rivulatus* del río Carrizal en agosto y octubre de 2017.

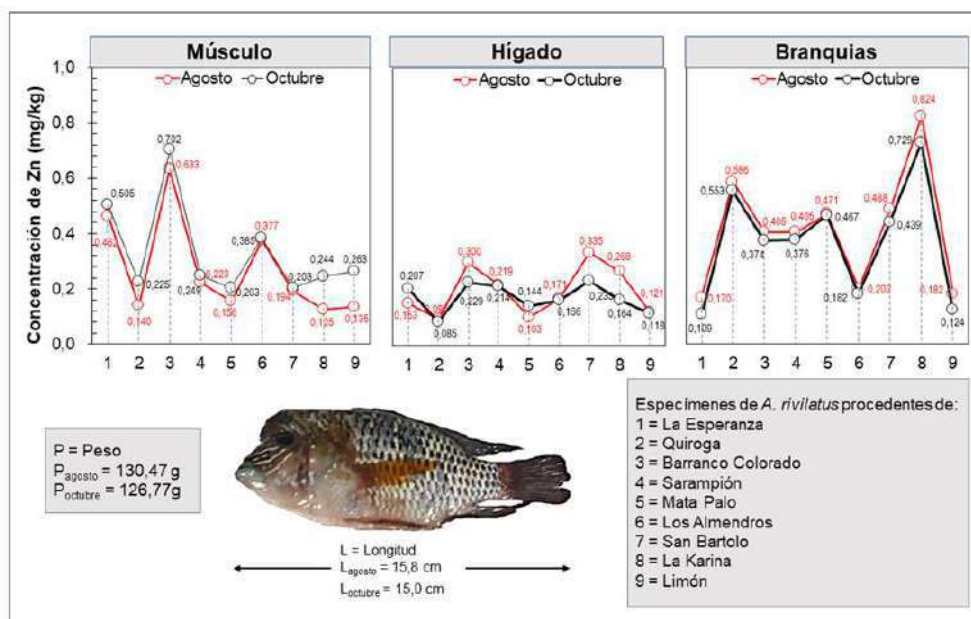


Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la concentración de Zn, en agosto se encontraron 0.272 mg/kg en el músculo, 0.196 mg/kg en el hígado y 0.415 mg/kg en las branquias; por su parte, en octubre los niveles fueron de 0.331 mg/kg en el músculo, 0.174 mg/kg

para el hígado y 0.373 mg/kg en las branquias (figura 7). Todos los valores están dentro del límite (50 mg/kg) del Reglamento N° 1881 de 2006

Figura 7. Niveles de Zn en tejidos de *Aequidens rivulatus* del río Carrizal en agosto y octubre de 2017.



Fuente: Elaboración propia.

En este caso, el ANOVA reveló diferencias significativas para el factor *tejidos* y para el factor *épocas* (agosto y octubre); pero

en la interacción *épocas x tejidos* no se detectaron diferencias (tabla 7).

Tabla 7. ANOVA de los niveles de Hg y Zn en las épocas (agosto y octubre, 2017) en tejidos de *Aequidens rivulatus* en el río Carrizal.

Fuente de variación	Gl	Mercurio [†]	Zinc [†]
Bloques	13	<0.0001*	0.0142 ^{ns}
Estaciones	8	0.0174 ^{ns}	0.1162 ^{ns}
Épocas	8	0.7830 ^{ns}	0.9780 ^{ns}
Tejidos	1	<0.0001*	0.0009*
Épocas*Tejidos	2	0.9806 ^{ns}	0.5612 ^{ns}
Error	40	0.03	0.17
Coefficiente de variación (%)		5.13	0.31

Nota: [†]Valores transformados en raíz de X+1; *Significativos (P<0.05); ns= no significativo.

Fuente: Elaboración propia.

Al realizar el análisis comparativo del contenido de Hg en el músculo, el hígado y las branquias, se encontró que el Hg se depositó mayormente en el músculo, con

valores estadísticamente superiores a los del hígado y las branquias, que resultaron similares entre sí (tabla 8).

Tabla 8. Prueba de Tukey (5 % de probabilidad) del nivel de Hg en *Aequidens rivulatus* en el río Carrizal (agosto y octubre, 2017).

Tejidos	Medias	Ámbito estadístico
Branquias	1.18	B
Hígado	1.21	B
Músculo	1.69	A

Nota: Media seguidas de la misma letra no difieren estadísticamente ($P < 0.05$).

Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, el análisis comparativo del nivel de Zn en *Aequidens rivulatus* reveló similitud estadística en los valores encontrados en el hígado y el músculo

(tenores más altos); y de manera conjunta, se halló similitud entre los niveles del músculo y las branquias (tabla 9).

Tabla 9. Prueba de Tukey (5 % de probabilidad) sobre las concentraciones de zinc en tejidos de *Aequidens rivulatus* en el río Carrizal (agosto y octubre, 2017).

Tejidos	Medias	Ámbito estadístico
Hígado	1.09	A
Músculo	1.14	A B
Branquias	1.18	B

Nota: Media seguidas de la misma letra no difieren estadísticamente ($P < 0.05$).

Fuente: Elaboración propia.

La concentración de Zn en el hígado se acumula en proporción al tamaño del individuo (Hourri *et al.*, 2018). Además, los niveles de metales en agua superficial favorecen la bioacumulación de dichos elementos en branquias, donde el Zn se deposita cuando la vía de absorción es acuática (Herrero, 2014).

Los resultados de la presente investigación evidencian la presencia de metales pesados

en las especies ictícolas estudiadas, lo cual expone el grave problema de la contaminación ambiental por metales pesados, que podría empeorar en el futuro. Las principales limitaciones responden al carácter de la investigación, pues resulta prácticamente imposible que exista heterogeneidad entre las muestras capturadas (especies vivas).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se determinó que existió mayor presencia de Hg y Zn en las especies monitoreadas en el mes de agosto de 2017. En *Oreochromis niloticus* se encontró que el Hg y el Zn se bioacumula mayormente en branquias, mientras que en *Hoplias microlepis* el mayor depósito de Hg es el músculo; en tanto el Zn presenta mayor bioacumulación en hígado y músculo. En este sentido, *Aequidens rivulatus* presentó el nivel más alto de Hg. Se deduce que la biomagnificación de Hg y Zn en la zona de estudio tiene una relación directa con las

actividades de producción realizadas en esta área, la cual es predominantemente agrícola.

Los resultados además de revelar el posible riesgo a la salud que conlleva el consumo de peces con contenido de metales pesados, ponen en evidencia el deterioro ambiental existente en dicha zona: por lo que se recomienda realizar monitoreos periódicos del contenido de metales pesados en la misma, con la finalidad de evaluar sus tendencias temporales y espaciales y el grado de contaminación del río Carrizal.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmed, A., Sultana, S., Habib, A., Ullah, H., Musa, N., & Hossain, M. (2019). Bioaccumulation of heavy metals in some commercially important fishes from a tropical river estuary suggests higher potential health risk in children than adults. *PLOS ONE*, 14(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219336>
- Akan, J.C., Salwa, M., Yikala, B.S., & Chellube, Z.M. (2012). Study on the Distribution of Heavy Metals in Different Tissues of Fishes from River Benue in Vinikilang, Adamawa State, Nigeria. *British Journal of Applied Science & Technology*, 2(4), 311-333. <https://doi.org/10.9734/BJAST/2012/1716>
- Baharom, Z., & Ishak, M. (2015). Determination of heavy metal accumulation in fish species in Galas River, Kelantan and Beranang mining pool, Selangor. *Procedia Environmental Sciences*, 30, 320-325. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.10.057>
- Banquett, C., Juris, G.A., Olaya, CH.W., Segura, F.F., Brú, S.B., y Tordecilla, G. (2005). Hábitos alimenticios del Moncholo, *Hoplias malabaricus* Bloch (Pisces: Erythrinidae), en la Ciénega Grande de Lorica, Sistema río Sinú, Colombia. *Dahlia*, (8), 79-88.
- Bawuro, A.A., Voegborlo, R.B., & Adimado, A.A. (2018). Bioaccumulation of Heavy Metals in Some Tissues of Fish in Lake Geriyo, Adamawa State, Nigeria. *Journal of Environmental and Public Health*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/1854892>
- Betancourt, G.S. (2017). *Determinación de hierro y zinc en diferentes especies de pescados de la costa ecuatoriana por espectrofotometría de absorción atómica de llama* [Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Repositorio Institucional PUCE. <https://bit.ly/3roBcDE>

- Confederación Hidrográfica del Ebro. (2015). *Plan Hidrológico del Ebro 2010-2015*. <https://bit.ly/33RZQm7>
- Correa, M., Bolaños, M., Rebolledo, E., Rubio, D., y Salinas, E. (2015). Análisis del Contenido de Metales en Aguas, Sedimentos y Peces en la Cuenca del Río Santiago, Provincia de Esmeraldas, Ecuador. *Revista Científica Interdisciplinaria Investigación y Saberes*, 2(4), 32-42. <https://bit.ly/3mURphg>
- Cousillas, A. (2007). *Informe Toxicológico. Anteproyecto Avanzado Muelle Multipropósito «C»*. HYTSA Estudios y Proyectos S.A. <https://bit.ly/2lr1jbC>
- daSilva, Y.J., Cantalice, J.R., do Nascimento, C.W., Singh, V.P., daSilva, Y.J., Silva, C.M., Silva, M., & Guerra, S. (2017). Bedload as an indicator of heavy metal contamination in a Brazilian anthropized watershed. *CATENA*, 153, 106-113. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.02.004>
- Darko, G., Azanu, D., & Kwame, N. (2016). Accumulation of toxic metals in fish raised from sewage-fed aquaculture and estimated health risks associated with their consumption. *Environmental Chemistry, Pollution & Waste Management*, 2(1). <https://doi.org/10.1080/23311843.2016.1190116>
- Directiva 76/464 de 1976. [CEE del Consejo]. Normativas Comunitarias Sobre Protección de las Aguas. <https://bit.ly/3nLnLeX>
- Ferriss, B.E., & Essington, T.E. (2014). Does trophic structure dictate mercury concentrations in top predators? A comparative analysis of pelagic food webs in the Pacific Ocean. *Ecological Modelling*, 278, 18-29. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2014.01.029>
- García, D. (1993). *Principios y técnicas de gestión de la pesca en aguas continentales* (1ra ed.). Ediciones Mundi-Prensa.
- Hall, B.D., Bodaly, R.A., Fudge, R.J.P., Rudd, J.W.M., & Rosenberg, D.M. (1997). Food as the dominant pathway of methylmercury uptake by fish. *Water, Air, and Soil Pollution*, 100, 13-24. <https://doi.org/10.1023/A:1018071406537>
- Herrero, T. (2014). *Impacto de los drenajes ácidos en los ecosistemas acuáticos producidos por la minería del carbón en El Bierzo: bioacumulación de metales pesados y evolución de las comunidades biológicas* [Tesis de doctorado, Universidad de León]. Repositorio Institucional UDL. <http://hdl.handle.net/10612/3518>
- Houri, K., Fegrouche, R., Mansouri, D., Allami, H., & Fadli, M. (2018). Distribution of degree of contamination by heavy metals of the gills muscle, liver and gonads of *Lepomis gibbosus* Linnaeus, 1758 (Centrarchide Fish. Percifome, Actinopterygiis). *International Journal of Fauna and Biological Studies*, 5(2), 163-169. <https://bit.ly/3oxAH84>
- Hylander, L.D., Pinto, F.N., Guimaraes, J.R.D., Meili, M., Oliveira, L.J., & Castro, E. (2000). Fish mercury concentration in the Alto Pantanal, Brazil: influence of season and water parameters. *Science of The Total Environment*, 261(1-3), 9-20. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(00\)00591-X](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(00)00591-X)

- Li, P., Zhang, J., Xie, H., Liu, C., Liang, S., Ren, Y., & Wang, W. (2015). Heavy metal bioaccumulation and health hazard assessment for three fish species from Nansi Lake, China. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 94, 431-436. <https://doi.org/10.1007/s00128-015-1475-y>
- López, B.R., y Cruz, L.A. (2011). *Elaboración de un probiótico a base de microorganismos nativos y evaluación de su efecto benéfico al proceso digestivo de la tilapia roja (Oreochromis Spp.) en etapa de engorde en la zona de Santo Domingo* [Tesis de grado, Escuela Politécnica del Ejercito]. Repositorio Institucional ESPE. <https://bit.ly/2Kxm0LF>
- Malik, D., & Maurya, P. (2014). Heavy metal concentration in water, sediment, and tissues of fish species (*Heteropneustis fossilis* and *Puntius ticto*) from Kali River, India. *Toxicological & Environmental Chemistry*, 95(8), 1195-1206. <https://doi.org/10.1080/02772248.2015.1015296>
- Mancera, N.J., y Álvarez, 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. <https://bit.ly/2KEC46K>
- Metian, M., Warnau, M., Chouvelon, T., Pedraza, F., Rodríguez, A.M., & Bustamante, P. (2013). Trace element bioaccumulation in reef fish from New Caledonia: influence of trophic groups and risk assessment for consumers. *Marine Environmental Research*, 87-88, 26-36. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2013.03.001>
- Oficina Nacional de Normalización. (1984). *Contaminantes metálicos. Regulaciones sanitarias*. (NC 38-02-06.).
- Olivares, H., Guerra, R., Carvajal, D., Mukarker, M., y Lobos, G. (2014). Evaluación de la genotoxicidad de las aguas costeras de Chile central sobre los peces *Mugil cephalus* y *Odontesthes brevianalis*. *Hidrobiológica*, 24(3), 271-279. <https://bit.ly/2WG7zzB>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2017). *Comisión del CODEX alimentarius*. Organización Mundial de la Salud. <https://bit.ly/3IVv8PO>
- Pis, M.A. (1999). *Impacto de los metales contaminantes en la calidad de la tilapia (Oreochromis Aureus) cultivada en Cuba* [Tesis de maestría, Universidad de La Habana]. Repositorio Centro de Investigaciones Pesqueras. <http://hdl.handle.net/1834/2869>
- Rajeshkumar, S., & Li, X. (2018). Bioaccumulation of heavy metals in fish species from the Meiliang Bay, Taihu Lake, China. *Toxicology Reports*, 5, 288-295. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2018.01.007>
- Reglamento N°1881 de 2006 [Unión Europea]. Por el que se fija el contenido máximo de determinados contaminantes en los productos alimenticios. 19 de diciembre de 2006. <https://bit.ly/3n51AQz>

- Sancho-Tello, V., Cortés, S. y Pérez, E. (2010). *Red de Control de Sustancias Peligrosas. Agua, sedimentos y Biotas. Confederación Hidrográfica del Ebro*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino de España. <https://bit.ly/3gnZNn2>
- Shen, L., Lam, K., Ko, P., & Chan, K. (1998). Metal concentrations and analysis of metal binding protein fractions from the liver of Tilapia collected from Shing Mun River. *Marine Environmental Research*, 46(1-5), 597-600. [https://doi.org/10.1016/S0141-1136\(98\)00012-9](https://doi.org/10.1016/S0141-1136(98)00012-9)
- Souza, L., Morozesk, M., Bonomo, M., Azevedo, V., Sakuragui, M., Elliott, M., Matsumoto, S., Wunderlin, D., Baroni, M., Monferrán, M., & Fernandes, M. (2018). Differential biochemical responses to metal/metalloid accumulation in organs of an edible fish (*Centropomus parallelus*) from Neotropical estuaries. *Ecotoxicology and environmental safety*, 161, 260-269. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.05.068>
- Spry, D., & Wiener, J. (1991). Metal bioavailability and toxicity to fish in low-alkalinity lakes: A critical review. *Environmental Pollution*, 71(2-4), 243-304. [https://doi.org/10.1016/0269-7491\(91\)90034-T](https://doi.org/10.1016/0269-7491(91)90034-T)
- Vergara, E., y Rodríguez, P. (2015). Presencia de mercurio, plomo y cobre en tejidos de *Oreochromis niloticus*: sector de la cuenca alta del río Chicamocha, vereda Volcán, Paipa, Colombia. *Producción + Limpia*, 10(2), 114-126. <https://bit.ly/33Ta0D4>
- Vrhovnik, P., Arrebola, J., Serafimovski, T., Dolenc, T., Šmuc, N., Dolenc, M., & Mutch, E. (2013). Potentially toxic contamination of sediments, water and two animal species in Lake Kalimanci, FYR Macedonia: relevance to human health. *Environmental Pollution*, 180, 92-100. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.05.004>
- Waheed, S., Kamal, A., & Malik, R. (2014). Human health risk from organspecific accumulation of toxic metals and response of antioxidants in edible fish species from Chenab River, Pakistan. *Environmental Science and Pollution Research*, 21, 4409-4417. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-2385-3>
- Webb, J., Mainville, N., Mergler, D., Lucotte, M., Betancourt, O., Davidson, R., Cueva, E., & Quizhpe, E. (2004). Mercury in Fish-eating Communities of the Andean Amazon, Napo River Valley, Ecuador. *EcoHealth*, 1(2), 59-71. <https://doi.org/10.1007/s10393-004-0063-0>
- Zapata, J. (1994). Environmental impacts study of gold mining in the Madeira river Bolivian-Brazilian border. In: Environmental mercury pollution and its health effects in Amazon river basin. *Natl. Inst. Minamata Disease and Inst Biophysics of the Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro*, 23-24.

AGRADECIMIENTOS

Por la cordial colaboración en la consecución de este manuscrito, los autores agradecen muy atentamente a María Isabel Delgado Moreira y al Ing. Carlos Luis Banchón Bajaña.