

Metales en tejido muscular de peces y camarones de la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, Guatemala

Metals in muscle tissue of fish and shrimp collected at the Monterrico Multiple Use Nature Reserve, Guatemala

Bessie Oliva-Hernández ^{1*}, Manuel Muñoz-Wug ¹, Gabriela Chaulón-Velez ¹,
Carlos Mazariegos-Ortiz ², Marvin Xajil-Sabán ², Francis Santos-Ruiz ¹,
Gabriela Quevedo-López ¹, Francisco Pérez-Sabino ¹

¹Escuela de Química, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, y ²Centro de Estudios Marinos y Acuáticos (CEMA), Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala

*Autor al que se dirige la correspondencia: bessieoliva@yahoo.com

Recibido: 21 de abril 2022 / Revisión: 28 de abril 2023 / Aceptado: 10 de octubre 2023

Resumen

La Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico (RNUMM), se encuentra ubicada entre los municipios de Chiquimulilla y Taxisco, Santa Rosa, abarcando parte del canal de Chiquimulilla. Es una zona de amplia biodiversidad de fauna y flora, y fuente de alimento para varias comunidades costeras. Una amenaza para este ecosistema es la carga de contaminación proveniente de las aguas residuales de la parte norte de la vertiente Pacífica que abarca desde ciudad de Guatemala y poblados aledaños. Las aguas residuales contienen diversos contaminantes entre ellos metales pesados, compuestos orgánicos y trazas de fármacos que interactúan con la fauna y la flora. En este trabajo se analizaron 61 organismos, correspondientes a seis especies de peces y una especie de camarón (*Penaeus vannamei*), colectados en abril de 2021, en los cuales se cuantificaron las concentraciones de cobre (Cu), zinc (Zn), cadmio (Cd) y plomo (Pb) por espectrofotometría de absorción atómica de llama. Se encontraron concentraciones promedio y desviación estándar de 13.10 (8.08) mg/kg de Cu, 2.46 (1.98) mg/kg de Zn, 1.71 (1.92) mg/kg de Cd, mientras que Pb no fue detectado en ninguno de los organismos. Este trabajo reporta por primera vez la presencia, por encima de límites permisibles de varias entidades reguladoras, de metales como el Cd en los peces y camarones de la región, entre ellos algunos de importancia comercial, lo que representa un riesgo para los consumidores. Es necesario realizar monitoreos para evaluar los efectos negativos a la salud humana, animal y ambiental y, evaluar el riesgo en el consumo.

Palabras clave: Toxicidad, bioacumulación, riesgo a la salud, cadmio, zinc

Abstract

The Monterrico Multiple Use Nature Reserve (MMUNR) is located between Chiquimulilla and Taxisco, Santa Rosa, covering part of the Chiquimulilla Channel. It is an area of broad biodiversity of fauna and flora and a food source for several coastal communities. A threat to this ecosystem is the pollution load from the wastewater of the northern part of the Pacific slope of Guatemala City and surrounding towns. Wastewater contains various pollutants, including heavy metals, organic compounds, and traces of drugs that interact with fauna and flora. Sixty-one organisms corresponding to six species of fish and one species of shrimp (*Penaeus vannamei*) were collected in April 2021. Concentrations of copper (Cu), zinc (Zn), cadmium (Cd), and lead (Pb) in the muscle of the organisms were determined by using flame atomic absorption spectrophotometry. Average concentrations and standard deviation of 13.10 (8.08) mg/kg of Cu, 2.46 (1.98) mg/kg of Zn, and 1.71 (1.92) mg/kg of Cd were found, while Pb was not detected in any of the organisms. This work reports for the first time the presence of metals such as Cd in fish and shrimp above the permissible limits of various regulatory entities, representing a risk for consumers. Therefore, it is necessary to monitor the adverse effects on human, animal, and environmental health and assess the consumption risk.

Keywords: Toxicity, bioaccumulation, health risk, cadmium, zinc



Introducción

La contaminación por metales ha sido un tema de preocupación a nivel global, ya que estos han contribuido a la contaminación ambiental, principalmente de mantos acuíferos. Varios contaminantes han sido el foco de atención, pero principalmente metales como el arsénico, cromo, cadmio, mercurio, zinc, cobre, manganeso y plomo (Jia et al., 2017; Tomaila & Lannacone, 2018). El origen de ellos está relacionado a actividades antropogénicas como la agricultura, la industria, la minería, el uso de pesticidas y otras causas (Hamid et al., 2022). Sin embargo, la presencia de metales también tiene un origen geológico, por lo que resulta importante discernir cuándo es de origen antropogénico y cuando es por causas naturales (Macías et al., 1993).

Los metales afectan a la biota ya que tienen una alta capacidad de permanecer en el ambiente y bioacumularse, lo cual puede afectar la cadena trófica (Escobar Sarabia et al., 2018). Además, pueden producir efectos adversos en los organismos que van desde bajas tasas de crecimiento, alteraciones en la fisiología, baja tasa de reproducción e incluso pueden ser letales (Pandey & Madhuri, 2014; Tomaila & Lannacone, 2018) o causar efectos adversos en el desarrollo (Han et al., 2019).

Entre los organismos más susceptibles a la presencia y bioacumulación de metales se encuentran los peces, ya que la presencia de ellos en niveles altos puede afectar nocivamente el desarrollo embrionario y a los juveniles (Qiao-Qiao et al., 2007). Los metales pueden entrar al cuerpo de los peces a través de tres formas: por las branquias, el sistema digestivo y la superficie del cuerpo (Afshan et al., 2014). Debido a que los peces constituyen uno de los productos de consumo humano más importantes a nivel mundial (Qiao-Qiao et al., 2007; Rashed, 2001), la bioacumulación de metales tóxicos en los peces representa un riesgo potencial para la salud (Qiao-Qiao et al., 2007).

En Guatemala es de esperar la presencia de metales tóxicos en peces, debido a la elevada contaminación de los lagos, la que ocurre también por causas naturales como se ha reportado por Pérez-Sabino y colaboradores (2015) en el lago de Atitlán. De esta forma se han realizado estudios que evidencian la presencia de metales en peces y otros organismos acuáticos, en diferentes cuerpos de agua del país. En el lago de Amatitlán, González (2008) registraron mercurio y plomo en músculo de tilapia (*Oreochromis niloticus*)

para consumo humano en concentraciones de hasta 0.46 mg/kg; Boy Mansilla (2015) reportó níquel (0.59 µg/g), zinc (0.53 µg/g), estroncio (0.17 µg/g) y arsénico (0.01 µg/g) en tejido muscular de peces del lago de Izabal. Elías Ogaldéz y González (2011) reportaron un promedio de 0.22 mg/kg de plomo para peces de talla grande y 0.25 mg/kg de plomo para peces de talla mediana del género *Arius* sp. colectados en la costa pacífica en los sitios de Las Lisas, Iztapa, Sipacate, Tulate y Champerico. Los metales tóxicos también se han estudiado en otros organismos acuáticos consumidos por el ser humano en cuerpos de agua de Guatemala. Así, en el lago de Atitlán, Pérez-Sabino y colaboradores (2019) estudiaron la presencia de metales en cangrejos del lago (*Potamocarcinus maguns*) reportando zinc en todos los organismos analizados (1195 +/- 216 mg/kg peso húmedo) y cobre en concentraciones de 728 +/- 324 mg/kg en peso húmedo.

El Canal de Chiquimulilla y la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico (RNUMM) son importantes para la Universidad de San Carlos, por la biodiversidad que albergan, ya que cuenta con áreas administradas por el Centro de Estudios Conservacionistas (CECON), de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, así como una estación experimental del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura (CEMA), que realizan actividades de investigación y desarrollo en el área. De esta forma, el objetivo de esta investigación fue evaluar los niveles de metales pesados en peces y camarones del Canal de Chiquimulilla, al desconocerse la situación de estos contaminantes que pueden ingresar a la red trófica y llegar al ser humano. Se espera que la información generada sea de utilidad para los tomadores de decisiones, de manera que puedan adoptarse medidas de educación ambiental y considerar el tratamiento de aguas residuales en las localidades del área de estudio y sobre todo, evaluar el riesgo de la presencia de metales pesados en peces de consumo en la región.

Materiales y Métodos

Ubicación geográfica y temporalidad de la investigación/Obtención de información

El Canal de Chiquimulilla es parte de la RNUMM. Se encuentra ubicado en los departamentos de Santa Rosa y Escuintla, el cual presta diferentes

servicios ambientales a la población de estos departamentos, como el turismo, fuente de agua, la producción de alimentos, así como el transporte. Debido a las diferentes actividades agrícolas que se realizan en la región y al uso de agroquímicos, estas contribuyen a la contaminación por nutrientes y plaguicidas en el suelo y agua. Cabe mencionar que la contaminación también puede ser local, ya que diferentes poblados descargan sus aguas residuales directamente al canal, generando contaminación por nutrientes y bacteriológica.

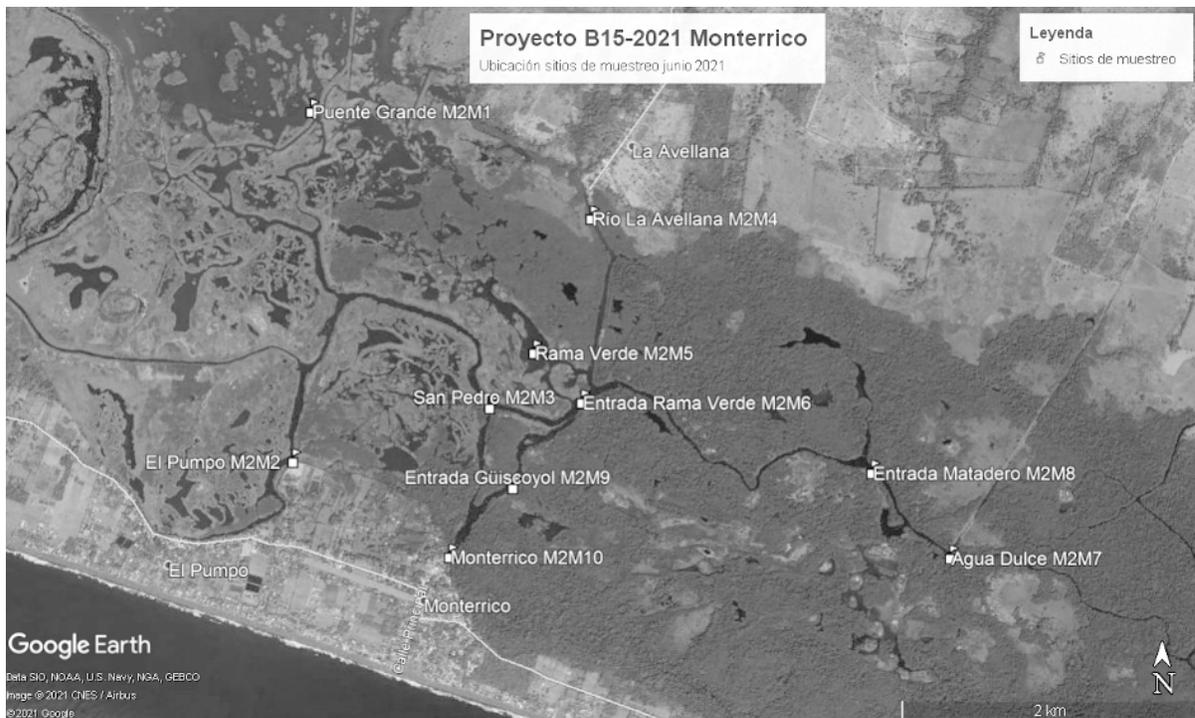
La RNUMM se encuentra ubicada al sureste del país, entre las coordenadas 13° 58' 28" y 14° 0' 38" N y 90° 26' 21" y 90° 30' 14" W (Castillo Cabrera et al., 2012). Es una de las 349 áreas protegidas registradas en Guatemala (Consejo Nacional de Áreas Protegidas [CONAP], 2021). Es una zona de alta biodiversidad de flora y fauna, con una cobertura de bosque de manglar que sirve de barrera ante fenómenos naturales, zona de anidación de aves, refugio y reproducción de

peces. Dentro de la RNUMM, el Canal de Chiquimulilla juega un papel fundamental en la dinámica de agua dulce y salada, creando condiciones únicas para este tipo de ecosistema (Castillo Cabrera et al., 2012).

Los puntos de muestreo se establecieron en base a estudios anteriores como el desarrollado por Mazariegos-Ortiz y colaboradores (2021). Se seleccionaron diez sitios de muestreo ubicados en Rama Verde (13°54.5370' N, 90°28.4390' O), El Pumpo (13°54.1400' N, 90°29.3410' O), La Avellana (13°55.0260' N, 90°28.2250' O), San Pedro (13°54.3360' N, 90°28.6040' O), Puente Grande (13°55.4170' N, 90°29.2740' O), Monterrico (13°53.7940' N, 90°28.7540' O), Agua Dulce (13°53.7900' N, 90°26.8820' O), El Dragado (13°54.3560' N, 90°28.2600' O), Güiscoyol (13°54.0440' N, 90°28.5170' O) y el Matadero (13°54.1000' N, 90°27.1760' O) (Figura 1). Es importante mencionar que, de los diez sitios de muestreo previamente seleccionados, únicamente fueron capturados peces en Puente Grande.

Figura 1

Mapa de ubicación de los sitios de muestreo ubicados en el Canal de Chiquimulilla y Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico



Muestreo y preparación de las muestras

Los peces fueron colectados en las primeras horas de la mañana (5 a 10 am), en abril de 2021. Se utilizó un arte de pesca activo: una atarraya de 3 m de diámetro y 3 m de longitud, con una abertura de malla de 5 cm. Los peces colectados fueron colocados en una hielera con abundante hielo a 4 °C hasta su traslado al laboratorio, en donde se almacenaron en congelación hasta su tratamiento.

Para su tratamiento, los peces se descongelaron, se identificaron por género y especie usando guías de identificación de peces (Fischer et al., 1995; Robertson & Allen, 2015). Posteriormente, se registró longitud total (cm) y peso (g). Finalmente, se realizó una disección a cada espécimen desde la parte ventral (ano) hasta la parte opercular. Cabe mencionar que únicamente se colectó la parte muscular del cuerpo de los peces y camarones para la extracción de los metales.

El músculo de cada individuo se secó en un horno de convección natural a 80 °C por un periodo de 24 h. Los trozos secos se maceraron en morteros hasta pulverizarlos; luego se pesaron aproximadamente 0.50 g y se colocaron en bombas de teflón para su digestión. Las muestras se digirieron siguiendo metodología de Barbieri y colaboradores (2010), variando proporciones de ácido nítrico y peróxido de hidrógeno, y digiriendo las muestras en baño de arena en vez de horno de microondas, así: a las bombas de teflón se les agregaron 5 mL de ácido nítrico (65% v/v) grado reactivo (Merck®) y 7 mL de peróxido de hidrógeno (30% v/v)

grado reactivo (J.T. Baker®), se cerraron y colocaron en baños de arena sobre estufas a 120 °C por un tiempo aproximado de 6 h. Se obtuvo un digesto traslúcido, color amarillo pajizo, el cual se almacenó en recipientes ámbar de vidrio.

Determinación de metales por espectrofotometría de absorción atómica

Se tomaron alícuotas de las muestras preparadas, que luego se llevaron a un volumen de 25 mL en balones aforados clase A. De estas diluciones, se realizaron las mediciones de absorbancia para los distintos metales Cd, Cu, Pb, y Zn por medio de un espectrofotómetro de absorción atómica de llama (Thermo Electron Corporation *S Series*) (Barbieri et al., 2010).

Los metales se cuantificaron a través de curvas de calibración preparadas a partir de estándares primarios certificados marca Merck® para cobre (1,000 mg/L), zinc (10,000 mg/L), cadmio (1,000 mg/L) y plomo (10,000 mg/L). Se preparó una disolución madre para cada metal con las siguientes concentraciones: cobre 20.0 mg/L, cadmio 10.0 mg/L, plomo 50.0 mg/L, zinc 5.0 mg/L. De cada una de estas disoluciones se tomaron diferentes alícuotas para preparar una curva multielemental, con las concentraciones que se detallan en la Tabla 1 del Material Suplementario. Finalmente, para los cálculos de las concentraciones en las muestras, fueron tomados en cuenta los factores de dilución y la masa de pescado seco.

Tabla 1

Concentración promedio de metales pesados en músculo de peces y camarones de la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico.

Especie	n	Zn	Cd	Cu	Pb
<i>Cathorops fuerthii</i>	1	2.41	1.01	ND	ND
<i>Cathorops steindachneri</i>	1	6.58	2.62	ND	ND
<i>Diapterus peruvianus</i> *	9	2.80 (0.62)	3.36 (2.96)	4.19 (0.42)	ND
<i>Dormitator latifrons</i>	29	1.30 (0.35)	0.84 (1.31)	ND	ND
<i>Eleotris picta</i>	1	0.76	0.45	ND	ND
<i>Gobionellus microdon</i>	2	1.60 (0.70)	1.13 (0.16)	ND	ND
<i>Lile stolifera</i>	2	5.95 (4.05)	2.29 (1.39)	ND	ND
<i>Mugil curema</i>	4	0.99 (0.65)	0.92 (0.28)	ND	ND
<i>Penaeus vannamei</i>	12	4.74 (2.1)	2.83 (1.92)	14.58 (7.77)	ND

Nota. *se excluyó de los cálculos a la muestra M43 por presentar un resultado de Zn muy alejado del resto.

Procesamiento y análisis de información

Los datos se procesaron haciendo un resumen descriptivo con estadísticos de tendencia central, tablas y gráficas. La concentración de los metales está expresada en mg/kg en peso húmedo. Se realizó un análisis de regresión lineal entre Se analizó la relación entre el peso y longitud total en todos los peces y camarones con las concentraciones de Cd y Zn. Las concentraciones de metales encontradas en los organismos analizados se compararon con límites permisibles de diferentes entidades internacionales (Tabla 2), en vista que en Guatemala no hay regulación sobre límites permisibles de metales pesados en pescado o camarón. Gráficos de dispersión con intervalos de confianza al 95% fueron creados para evaluar la relación entre las variables biológicas y los metales. Los análisis fueron desarrollados en R (R version 1.1.383; R Core Team, 2020)

Resultados

Se analizaron 49 peces y 12 camarones previamente identificados utilizando guías para la identificación de la fauna ictiológica y de camarones del Pacífico oriental (Fischer et al., 1995; Robertson & Allen, 2015). Entre los peces, fueron identificados 29 individuos de la especie *Dormitator latifrons* (Richardson, 1844) o dormilón gordo; nueve *Diapterus peruvianus* (Cuvier, 1830) o mojarra; dos *Gobionellus microdon* (Gilbert, 1892) gobio plateado; dos *Lile stolifera* (Jordan & Gilbert, 1882) o sardina rayada; cuatro *Mugil curema* (Valencienne, 1836) o lisa; uno de *Cathorops fuerthii* (Steindachner, 1876) pez gato o bagre; uno de *Cathorops steindachneri* (Gilbert & Starks, 1904) pez gato o bagre y un individuo de *Eleotris picta* (Kner, 1863) o guavina. Los 12 camarones fueron identificados como *Penaeus vannamei* (Boone, 1931) o camarón blanco.

Tabla 2

Límites máximos de tolerancia para metales en tejido muscular de peces de consumo humano en peso fresco (mg/kg)

Metal	ANVISA, Brasil ¹	Unión Europea ^{2,3}	Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Inglaterra (CEFAS) ⁴
Cu	30 (peces)	---	20 (peces) 20 - 30 (crustáceos)
Zn	50 (peces)	---	50 (peces) 100 crustáceos
Cd	0.05 - 0.30 (peces) 0.5 (crustáceos)	0.05 - 0.25 (peces) ^{2,3} 0.50 (crustáceos) ²	0.2 (peces) 0.3 (crustáceos)
Pb	0.3 (peces) 0.50 (crustáceos)	0.2 - 0.4 (peces) ³ 0.50 (crustáceos) ³	2.0 (peces) 10.0 (crustáceos)

Nota. De ¹“Metals and arsenic in marine fish commercialized in the NE Brazil: Risk to human health” por C. A. da Silva, S. de Oliveira Santos, C. A. Borges Garcia, G. Cugler de Pontes & J. C. Wasserman, 2020, *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 26(3), p.3 (<https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1529552>); ²“Comission Regulation (EC) No 78/2005 of 19 January 2005 amending Regulation (EC) No 466/2001 as regards heavy metals (Text with EEA relevance)” por Unión Europea, 2005, Official Journal of the European Union, p.16; ³“Comission Regulation (EC) No 488/2014 of 12 May 2014 amending Regulation (EC) No 1881/2006 as regards maximum levels of cadmium in foodstuffs (Text with EEA relevance)” por Unión Europea, 2014, Official Journal of the European Union, p.79; ⁴Center for Environment, Fisheries and Aquaculture Science, 2000; ⁵“Assessment Level of Heavy Metals in *Penaeus Monodon* and *Oreochromis Spp* in Selected Aquaculture Ponds of High Densities Development Area” por M. B. Mokhtar, A. Z. Aris, V. Munusamy & S. M. Praveena, 2009, *European Journal of Scientific Research*, 30, p.357 (<https://doi.org/10.4236/ns.2016.86030>).

En promedio los peces analizados presentaron una longitud de 13.11 cm y un peso de 37.92 g mientras que los camarones (*P. vannamei*) una longitud promedio de 9.92 cm y peso promedio de 5.98 g (Tabla 3, Material Suplementario).

En la Tabla 1 se presentan los resultados de las concentraciones de metales en peso húmedo en los individuos de diferentes especies de peces y camarón colectados en la Reserva de Usos Múltiples Monterrico, durante abril de 2021. El Cd se reportó en la mayoría de los peces y camarones analizados, con un promedio de 1.71 mg/kg para todos los organismos analizados (Tabla 2, Material Suplementario) y un promedio máximo de 3.36 (2.96) mg/kg para los peces de la especie *D. peruvianus* y 2.83 (1.92) mg/kg para los camarones analizados. El zinc se encontró en una concentración promedio de 2.46 mg/kg para todos los organismos analizados (Tabla 2, Material Suplementario). Debe aclararse que en el cálculo del promedio de Zn para todos los organismos no se incluyó la concentración

de 63.78 mg/kg, encontrada en un individuo de *D. peruvianus* (muestra 43, Tabla 2 de Material Suplementario), muy superior las concentraciones de Zn encontradas para los demás de organismos, por lo que tampoco se incluyó en el cálculo del promedio para la misma especie (Tabla 1). En el resto de los organismos, un individuo de la especie *Lile stolifera* presentó la mayor concentración de Zn (8.81 mg/kg). El Cu se encontró únicamente en peces de la especie *D. peruvianus* con 4.19 (.42) mg/kg y en los camarones *P. vannamei* con 14.58 (7.77) mg/kg. El Pb no fue detectado en ninguno de los organismos analizados.

Del análisis de regresión, los valores de Cd y Zn en mg/kg (peso húmedo) no muestran un aumento en relación al peso de los peces ($R^2 = .18$, $p = .003$, $y = 44.8 - 6.62 x$; $R^2 = .20$, $p = .001$, $y = 56.40 - 9.52 x$, respectivamente) (Figura 2); similares resultados se pueden apreciar en el peso de los camarones para Cd y Zn ($R^2 = .009$, $p = .001$, $y = 6.21 - .08 x$; $R^2 = .48$, $p = .49$, $y = 8.46 - .52 x$, respectivamente) (Figura 3).

Figura 2

Relación del peso y longitud total de peces con los valores de Cd y Zn registrados en la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico

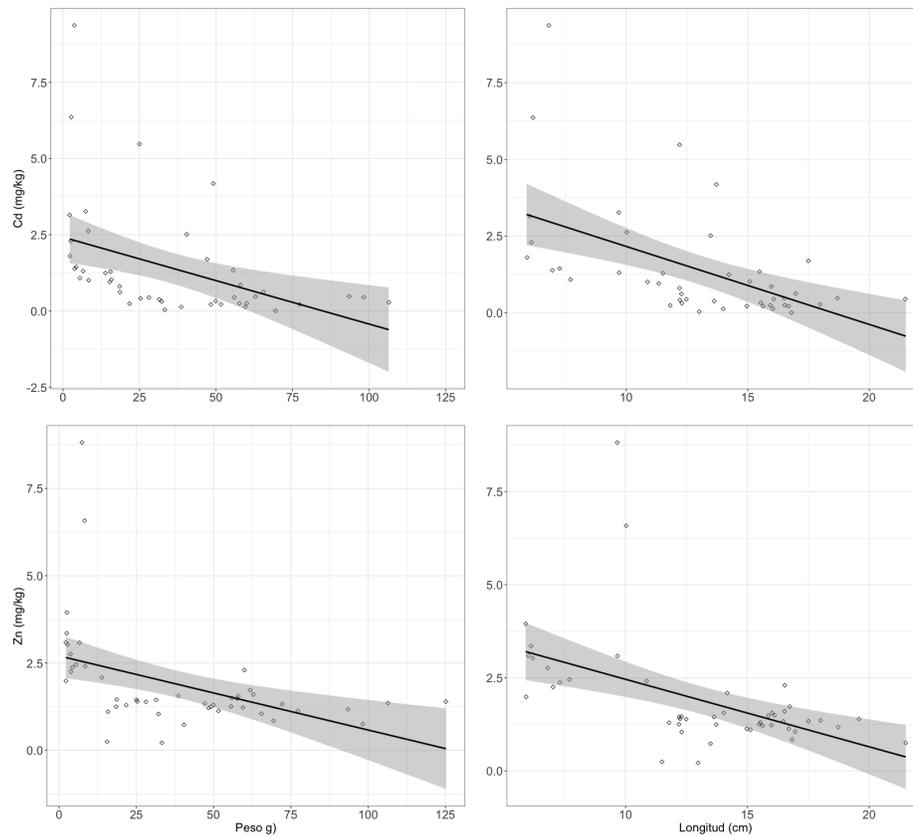
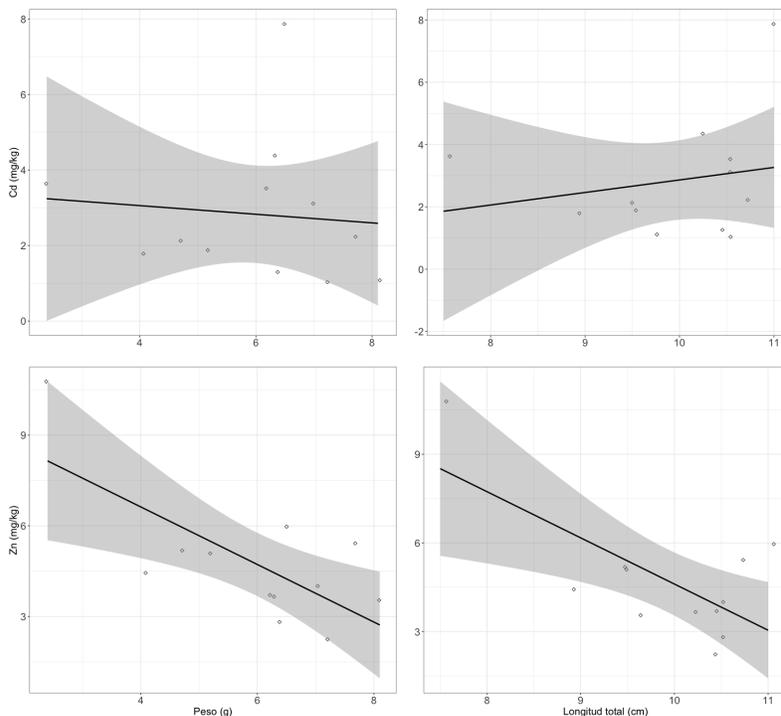


Figura 3

Relación del peso y longitud de camarones con los valores de Cd y Zn registrados en la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico



Discusión

Los estudios sobre la concentración de metales pesados en peces de los ecosistemas acuáticos de Guatemala son escasos. Sin embargo, algunas investigaciones indican la presencia de Cd y Pb en pez blanco (*Petenia splendida*) en el lago Petén Itzá (Reyes Morales, 2007), en chumbimba (*Vieja maculicauda*) en el lago de Izabal (Boy Mansilla, 2015), así como Pb en tilapia (*Oreochromis niloticus*) en el lago de Amatitlán (González, 2008), siendo importante la determinación de los niveles de metales en organismos acuáticos en vista de la contaminación de cuerpos de agua importantes para el país.

Dada la ausencia de valores de referencia o límites permisibles de concentración de metales en organismos acuáticos en Guatemala, los resultados de este estudio se compararon los que mencionan otras agencias internacionales. En nuestro estudio, la concentración máxima de Cd en el músculo de los peces fue de 9.37 mg/kg (peso húmedo) y en camarones

4.37 mg/kg (peso húmedo), sobrepasando los límites permisibles para Cd en peces y camarones por la Agencia Nacional de Vigilancia Sanitaria de Brasil (ANVISA), la Unión Europea (UE) y el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación de Inglaterra (MAFF). Sin embargo, los valores de Cu y Zn no superaron los valores permisibles (Tabla 2).

Los niveles de Cd encontrados en este estudio son superiores a los encontrados por Reyes Morales (2007) en *P. splendida* del lago Petén Itzá, con una concentración promedio de .051 mg/kg de Cd, así como a los niveles de Cd encontrados en tilapia (*O. niloticus*) de estanques de acuicultura en las regiones de Bandar (.006 mg/kg) y Jugra (.015 mg/kg) en Malasia (Mokhtar et al., 2009). En otro estudio realizado en Brasil por Silva y colaboradores (2019), no detectaron Cd (Límite de detección de .19 mg/kg) en cinco especies de peces de estuario bagre (*Netuma Barba*), tainha o lisa de agua dulce (*Mugil platanus*), pintado (*Pimelodus maculatos*), tararira o traira (*Hoplias malabaricus*) y corvina (*Micropogonias furnieri*) de la laguna de los

Patos, de Rio Grande del Sur (Silva et al., 2019), lo que revela las diferencias entre varias regiones geográficas.

Se ha demostrado que el Cd puede bioacumularse en las branquias, en el hígado y en los riñones de los peces, presentando factores de bioconcentración menores a 100 (Wren et al., 1995). Al-Najjar y colaboradores (2016), encontraron concentraciones promedio de Cd de 7.64 mg/kg en riñón, 1.81 mg/kg en el estómago, 1.64 mg/kg en escamas, 1.41 mg/kg en las gónadas, 1.08 mg/kg en las branquias, .81 mg/kg en el hígado y .41 mg/kg en el músculo de la especie *Cheilinus trilobatus* en el golfo de Aqaba, Jordania; mientras que Barbieri y colaboradores (2010) encontraron concentraciones promedio de Cd de 1.65 mg/kg en hígado, 2.81 mg/kg en riñón y .71 mg/kg en músculo de *Cathorops spixii*. De acuerdo con los autores el Cd se acumula en el organismo al unirse con las metalotioneinas, siendo nocivo para el ser humano que lo acumula a través de la ingesta.

Silva y colaboradores (2019), reportó .06 mg/kg de Cd en el camarón *Farfantepenaeus paulensis* de la laguna de los Patos, Rio Grande del Sur, y Nascimento y colaboradores (2016) reportaron .02 mg/kg en músculo y .05 mg/kg en exoesqueleto de *Litopenaeus schmitti* en la bahía de Sepetiba, Río de Janeiro. Mokhtar y colaboradores (2009), en una región impactada por la contaminación en Malasia, encontraron concentraciones promedio de Cd de .254 mg/kg en langostinos Tigre (*Penaeus monodon*) de estanques de acuicultura, siendo más de diez veces inferior a la encontrada en camarones en este estudio. Concentraciones de Cd entre .05 y .09 mg/kg se encontraron en músculo de camarón de las especies *Macrobrachium rosenbergii* y *P. monodon* de ríos y granjas de cultivo de la región Khulna-Satkhira en Bangladesh (Sarkar et al., 2016), mientras que *P. monodon* y *Penaeus semisulcatus* de la zona costera del sur de Irán presentaron concentraciones promedio de .144 mg/kg (Rahimi et al., 2012), siendo también concentraciones inferiores a las encontradas en el presente estudio para *P. vannamei*, lo que evidencia el amplio rango de concentraciones en que se encuentra el Cd en camarones, dependiendo del ecosistema que habitan.

En un estudio sobre los efectos de la contaminación del agua por Zn, Pb y Cd sobre camarones juveniles de *P. vannamei*, Núñez-Nogueira y colaboradores (2012) encontraron que estos organismos pueden regular al Zn y Pb, pero el Cd se acumula y no es excretado por lo que estos organismos pueden servir como indicadores para Cd. Por otra parte, el Cd es un

metal clasificado como carcinogénico para el ser humano, que se acumula en el cuerpo humano, pudiendo causar daños en el sistema nervioso, riñones, huesos, pulmones y sistema cardiovascular, muerte celular e incremento de la mutagénesis (Zuluaga et al., 2015)

Es común que el Zn se encuentre en elevadas concentraciones en especies ícticas sin superar los límites máximos permisibles para pescado. Mokhtar y colaboradores (2009) encontraron concentraciones de Zn en *O. niloticus* de 1.915 y 2.364 mg/kg para las regiones de Bandar y Jugra, respectivamente, mientras que Barbieri y colaboradores (2010) encontraron concentraciones de Zn de 229.48 mg/kg en hígado, 312.55 mg/kg en riñón y de 15.57 mg/kg en músculo de *C. spixii* en Brasil. En otro estudio en Bangladesh, langostinos tigre (*P. monodon*) presentaron concentraciones de 11.27 y 13.03 mg/kg de Zn en las regiones de Bandar y Jugra respectivamente (Mokhtar et al., 2009), mientras que en Brasil, Silva y colaboradores (2019) reportaron concentraciones promedio entre 26.8 y 29.2 mg/kg en camarón rosa (*F. paulensis*) de tres localidades de la laguna de los Patos en Rio Grande del Sur, Brasil mientras que Nascimento y colaboradores (2016) reportaron concentraciones de Zn de 34.94 mg/kg en músculo del camarón *Litopenaeus schmitti* de la bahía de Sepetiba, en Rio de Janeiro.

Mokhtar y colaboradores (2009) encontraron concentraciones de Cu de entre 3.567 y 2.213 mg/kg de Cu en los langostinos tigre (*P. monodon*) en las regiones de Bandar y Jugra, en Malasia, respectivamente, mientras que Nascimento y colaboradores (2016) reportaron concentraciones más altas de Cu (20.86 mg/kg) en músculo de *Litopenaeus schmitti*. Es importante considerar que Cu y el Zn son elementos esenciales y son regulados los organismos por medio de mecanismos fisiológicos, acumulándose en porfirinas y enzimas (Yilmaz et al., 2007). Los bajos niveles de Cu y Zn encontrados en músculo de peces y camarones en este estudio pueden deberse a bajos niveles de metalotioneinas en el músculo (Yilmaz et al., 2007) y no son nocivos para estos organismos ni para el ser humano, pero en concentraciones altas podría ser mayor el riesgo.

En este estudio no se encontró correlación entre las concentraciones de Cd y Zn en el músculo de los peces y camarones analizados con la longitud y el peso de los mismos. En estudios en otras especies de peces, se ha reportado esta ausencia de correlación entre la concentración de Cd con el tamaño. Por ejemplo en el pez *Scomberomorus cavalla* del Golfo de México (Zuluaga et al., 2015), mientras que Al-Najjar y

colaboradores (2016) reportan que para la especie *C. trilobatus* del golfo de Aqaba, Jordania, las concentraciones de los metales analizados (Ni, Mg, Co, Cr, Cd y Cu) y la longitud de los organismos evidencian una correlación débil, lo que fue atribuido por los autores a que el rango de tamaño de los organismos colectado fue entre 20-28 cm.

En el presente trabajo, los autores no consideran concluyente la ausencia de correlación entre las concentraciones de metales y la longitud y peso de los organismos analizados, ya que el número de individuos fue reducido, con diferencias en la talla y peso de los peces de cada especie. Es necesario analizar un mayor número de individuos de distintos tamaños y nivel trófico para mejorar la comprensión de la bioacumulación de metales en los organismos que habitan el Canal de Chiquimulilla en la RNUMM. Adicionalmente, se requiere analizar los metales pesados en un mayor número de individuos por cada especie, especialmente el Cd y metales no analizados como el Hg, en los diferentes órganos de peces (hígado y riñón, por ejemplo) y camarones (exoesqueleto), para evaluar el impacto de la contaminación.

Aunque nuestro estudio no consideró la evaluación de las fuentes de contaminación, es posible que la contaminación por Cd en los peces y camarones del Canal de Chiquimulilla en la RNUMM provenga de las distintas actividades que se dan alrededor del área protegida o cuenca arriba. El Cd es un metal tóxico para los organismos acuáticos y el ser humano, por lo que su presencia en peces que son consumidos por los pobladores alrededor de la RNUMM representa un riesgo de bioacumulación y biomagnificación con posibles efectos tóxicos a largo plazo. Por esta razón, es importante adoptar medidas como el tratamiento de aguas residuales en las cuencas de los ríos que desembocan en el Canal de Chiquimulilla. Finalmente, los autores consideran importante estos resultados dado que en Guatemala no se tiene valores de referencia, por lo que esta información podría ayudar a considerar la ruta para hacer evaluaciones más profundas del estado de contaminación de los cuerpos de agua y los organismos que los habitan.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Dirección General de Investigación de la Universidad de San Carlos de Guatemala, por el financiamiento de esta investigación (DIGI B15-2021). También se agradece a Nelson Ávila

y Armando Orantes de la Estación Experimental Monterrico, quienes ayudaron en las jornadas de colecta de muestras.

Contribución de los autores

Coordinación, elaboración y revisión del Documento: BO-H, FP-S, CM-O

Diseño de la recolección de datos o del trabajo en campo: BO-H, FP-S, CM-O

Recolección o contribución de datos o realización del trabajo de campo: BO-H, FP-S, CM-O, MM-W, GC-V, MX-S, FS-R, GQ-L

Limpieza, sistematización, análisis o visualización de datos: BO-H, FP-S, CM-O, MX-S

Participación en análisis de datos, estructura y en la escritura del documento: BO-H, FP-S, CM-O

Materiales suplementarios

Los materiales suplementarios de este artículo se encuentran en la página web de la revista a través de doi: <https://doi.org/10.36829/63CTS.v10i2.1357>

Referencias

- Afshan, S., Ali, S., Ameen, U. S., Farid, M., Bharwana, S. A., Hannan, F., & Ahmad, R. (2014). Effect of different heavy metal pollution on fish. *Research Journal of Chemical and Environmental Science*, 2(1), 74-79.
- Al-Najjar, T., Al-Momani, R., Khalaf, M., Wahsha, M., Sbaihath, M., Khalaf, N., Khadra, K. A. Magames, H. Al-Najjar, T., Al-Momani, R., Khalaf, M., Wahsha, M., Sbaihath, M., Khalaf, N., Khadra, K. A., & Magames, H. (2016). Levels of Heavy Metals in Fishes (*Cheilinus trilobatus*) from the Gulf of Aqaba, Jordan. *Natural Science*, 8(6), 256-263. <https://doi.org/10.4236/ns.2016.86030>
- Barbieri, E., Passos, E. A., Araga, K. A. S., Santos, D. B., & Garcia, C. A. B. (2010). Assessment of Trace Metal Levels in Catfish (*Cathorops spixii*) from Sal River Estuary, Aracaju, State of Sergipe, Northeastern Brazil. *Water Environment Research*, 82(12), 2301-2305. <https://doi.org/10.2175/106143009X12465435982935>

- Boy Mansilla, A. P. (2015). *Determinación de metales pesados en agua, peces, almejas e Hidrilla verticilata del lago de Izabal* [Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala]. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06_3741.pdf
- Castillo Cabrera, F. J., Dávila Perez, C. V., Morales, A. S., & García Fuentes, A. (2012). *Actualización del Plan Maestro de la Reserva de Usos Múltiples Monterrico: El levantamiento detallado de la vegetación y la cartografía botánica* (Inf-2011-025). Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación, Herbario USCG y Centro de Datos para la Conservación del Centro de Estudios Conservacionistas.
- Centre for Environment, Fisheries and Aquaculture Science. (2000). Monitoring and Surveillance of Non-Radioactive Contaminants in the Aquatic Environment and Activities Regulating the Disposal of Wastes at Sea 1997. *Aquatic Environment Monitoring Report* (No. 52).
- Consejo Nacional de Áreas Protegidas. (2021). Rendición de cuentas. Primer cuatrimestre 2021. Primer informe de ejecución presupuestaria, cuatrimestre enero-abril 2021. <https://conap.gob.gt/wp-content/uploads/2021/05/Informe-de-Rendicio%CC%8In-de-cuentas.pdf>
- da Silva, C. A., de Oliveira Santos, S., Borges Garcia, C. A., Cugler de Pontes, G., & Wasserman, J. C. (2020). Metals and arsenic in marine fish commercialized in the NE Brazil: Risk to human health. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 26(3), 695-712. <https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1529552>
- Elías Ogáldez, G. A., & González, P. (2011). *Cuantificación de la contaminación por plomo y mercurio en el músculo del género Arius sp. Para consumo humano, en el litoral Pacífico de Guatemala* (FODECYT 18-2009). Guatemala, Consejo Nacional de Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
- Escobar Sarabia, L., Pérez de Jesús, D., Zavala Hernández, F., Rodríguez Torres, C. del A., & Flores Lopez, M. L. (2018). Metales pesados bioacumulables en Tilapia (*Oreochromis niloticus*) en el cauce del Río Balsas, Tierra Caliente de Guerrero. *Revista Biológico Agropecuaria*, 6(2), 65-70. <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v6i2.155>
- Fischer, W., Krupp, F., Schneider, W., Sommer, C., Carpenter, K. E., & Niem, V. H. (1995). *Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca. Pacífico centro-oriental Plantas e Invertebrados* (Vol. 1). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma.
- González Barrios, P. R. (2008). *Análisis de la contaminación por plomo y mercurio en el músculo de las tilapias Oreochromis niloticus provenientes del lago de Amatitlán* [Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala]. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/24/24_0159.pdf
- Hamid, G., Rehman, K., Aneesul, M., & Qadri, H. (2022). *Freshwater pollution and aquatic ecosystems*. Apple Academic Press.
- Han, J., Liu, K., Wang, R., Zhang, Y., & Zhou, B. (2019). Exposure to cadmium causes inhibition of otolith development and behavioral impairment in zebrafish larvae. *Aquatic Toxicology*, 214, Artículo 105236. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2019.105236>
- Jia, Y., Wang, L., Qu, Z., Wang, C., & Yang, Z. (2017). Effects on heavy metal accumulation in freshwater fishes: Species, tissues and sizes. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 9379-9386. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8606-4>
- Macías, F., Veiga Vila, A., & Calvo de Anta, R. (1993). Influencia del material geológico y detección de anomalías en el contenido de metales pesados en horizontes superficiales de suelos de la Provincia de A Coruña. *Cadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe*, 18, 317-323.
- Mazariegos-Ortiz, C., Xajil-Saban, M., Blanda, E., & Delvalle-Borrero, D. (2021). Ocurrencia de microplásticos en el tracto digestivo de peces de la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, Guatemala. *Ecosistemas* 30(2), Artículo 2188. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2188>
- Mokhtar, M. B., Aris, A. Z., Munusamy, V., & Praveena, S. M. (2009). Assessment Level of Heavy Metals in *Penaeus Monodon* and *Oreochromis Spp* in Selected Aquaculture Ponds

- of High Densities Development Area. *European Journal of Scientific Research*, 30, 348-360. <https://doi.org/10.4236/ns.2016.86030>
- Nascimento, J. R., Bidone, E. D., Rolão-Araripe, D., Keunecke, K. A., & Sabadini-Santos, E. (2016). Trace metal distribution in white shrimp (*Litopenaeus schmitti*) tissues from a Brazilian coastal area. *Environmental Earth Sciences*, 75, Artículo 990. <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5798-8>
- Núñez-Nogueira, G., Laura Fernández-Bringas, L., Ordiano-Flores, A., Alejandro Gómez-Ponce, A., Ponce de León-Hill, C., & González-Farías, F. (2012). Accumulation and Regulation Effects from the Metal Mixture of Zn, Pb, and Cd in the Tropical Shrimp *Penaeus vannamei*. *Biological Trace Element Research*, 150, 208-213. <https://doi.org/10.1007/s12011-012-9500-z>
- Pandey, G., & Madhury, S. (2014). Heavy metals causing toxicity in animals and fishes. *Research Journal of Animal, Veterinary and Fishery Science*, 2(2), 7-23.
- Pérez-Sabino, J. F., Martínez, R., & Hernández, E. (2019). Determinación de biomarcadores fisiológicos de arsénico y malatión en tilapia (*Oreochromis sp.*) y cangrejo (*Potamocarcinus sp.*) para establecer la calidad ambiental del lago de Atilán (FODECYT No. 2017-012). Guatemala, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Universidad de San Carlos de Guatemala & Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.
- Pérez-Sabino, F., Valladares-Jovel, B., Hernández, E., Oliva, B., Del Cid, M., & Jayes-Reyes, P. (2015). Determinación de arsénico y mercurio en agua superficial del lago de Atilán. *Ciencia, Tecnología y Salud*, 2(2), 37-44. <https://doi.org/10.36829/63CTS.v2i2.58>
- Qiao-qiao, C., Guang-wei, Z., & Langdon, A. (2007). Bioaccumulation of heavy metals in fishes from Taihu Lake, China. *Journal of Environmental Sciences*, 19, 1500-1504. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(07\)60244-7](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(07)60244-7)
- R Core Team. (2020). R: A Language and Environment for Statistical Computing. Foundation for Statistical Computing, Vienna.
- Rahimi, E. Zaker, Sh., Dehghani Farfani, M. H. Roghani Araghi, M. Vafaei, M., & Goudarzi, M. A. (2012). Cadmium concentrations in shrimp (*Penaeus semisulcatus* and *Penaeus monodon*) caught from the coastal areas in southern Iran. *Toxicology and Industrial Health*, 29(3), 272-275. <https://doi.org/10.1177/0748233711432572>
- Rashed, M. (2001). Monitoring of environmental heavy metals in fish from Nasser Lake. *Environmental International*, 27, 27-33. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(01\)00050-2](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(01)00050-2)
- Reyes Morales, E. M. de F. (2007). *Evaluación de la contaminación del pez blanco (Petenia splendida) en tejido muscular y su relación con los niveles de calidad de agua del lago Petén Itzá, Guatemala* [Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala]. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06_2608.pdf
- Robertson, D. R., & Allen, G. R. (2015). *Peces costeros del Pacífico Oriental Tropical: Sistema de información en línea* (Version 2.0). Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales, Balboa, Republica de Panamá.
- Sarkar, T., Masihul Alam, M., Parvina, M., Fardousb, Alamgir, Z., Chowdhuryb, Z., Hossainc, S., Haqued, M. E., & Biswas, N. (2016). Assessment of heavy metals contamination and human health risk in shrimp collected from different farms and rivers at Khulna-Satkhiraregion, Bangladesh. *Toxicology Reports*, 3, 346-350. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2016.03.003>
- Silva, S. A., Bonemann, D. H., Silva, J. S., Timm, J. G., Ribeiro, A. S., & Vieira, M. A. (2019). Determination of metals in fish and shrimp (*Farfantepenaeus paulensis*) from Patos Lagoon (Pelotas - RS, Brazil) by MIP OES. *Brazilian Journal of Food Technology*, 22, Artículo e2018049. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.04918>
- Tomaila, J., & Lannacone, J. (2018). Lethal and sublethal toxicity of arsenic, cadmium, mercury and lead on fish *Paracheirodon inessi neon tetra* (Characidae). *Revista de Toxicología*, 35(2), 95-105.
- Unión Europea. (2005). Comisión Regulation (EC) No 78/2005 of 19 January 2005 amending Regulation (EC) No 466/2001 as regards heavy metals (Text with EEA relevance). *Official Journal of the European Union*.

- Unión Europea. (2014). Comission Regulation (EC) No 488/2014 of 12 May 2014 amending Regulation (EC) No 1881/2006 as regards máximum levels of cadmium in foodstuffs (Text with EEA relevance). *Official Journal of the European Union*.
- Wren, C., Harris, S., & Harttrup, N. (1995). Ecotoxicology of mercury and cadmium. En D. J. Hoffmann, B. A. Rattner, G. A. Burton & J. Cairns (Eds.), *Handbook of Ecotoxicology* (pp. 392-423). Lewis Publishers.
- Yılmaz, F., Özdemir, N., Demirak, A., & Tuna, A. L. (2007). Heavy metal levels in two fish species *Leuciscus cephalus* and *Lepomis gibbosus*. *Food Chemistry*, *100*, 830-835. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.09.020>
- Zuluaga Rodríguez, J., Gallego Ríos, S. E., & Ramírez Botero, C.M. (2015). Content of Hg, Cd, Pb and As in fish species. A review. *Vitae, Revista de la Facultad de Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias*. *22*(2), 148-159. <http://dx.doi.org/10.17533/udea.vitae.v22n2a09>