

Niveles de cadmio en peces de alto consumo de aguas continentales en la Provincia de los Ríos, Ecuador

Cadmium levels in high consumption fish from continental waters
In the Province of los Ríos, Ecuador

Sharon Ruíz-Del Rosario^{1*} & Rubén Castro-Rendón²

¹Consultor egresado de la Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil.

²Docente investigador de la Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil, Av. Raúl Gómez Lince s/n y Av. Juan Tanca Marengo, Guayaquil, Ecuador.

Recibido 1 de julio 2019; recibido en forma revisada 17 de agosto 2019, aceptado 15 de septiembre 2019
Disponible en línea 20 de diciembre 2019

Resumen

Se determinó la concentración de Cd en el hígado y músculo de Guanchiche (*H. microlepis*) y Dica (*Pseudocurimata bolengeri*). La concentración del metal en el tejido muscular de ambas especies fue menor al límite de cuantificación del método (<0,014 mg/Kg). La mayor concentración de Cd en hígado se observó en la especie *P. bolengeri* (0,63±0,188 mg/kg) y la menor concentración en *H. microlepis* (0,003±0,036 mg/kg), existen diferencias significativas en la concentración de Cd de los hígados de ambas especies (F= 33,74; p= 0,000). Letras diferentes indican diferencias significativas según ANOVA de una vía y test a posteriori de Tukey (p<0,05). La concentración de Cd en hígado se encontró por encima del límite máximo permisible (0,05 mg/Kg) establecido por la Unión Europea. La correlación entre peso y talla fue directamente proporcional entre sí (r=0,963; p=0,000) la concentración de Cd en hígado fue inversamente proporcional a la talla y peso y la madurez sexual se presentó directamente proporcional a la concentración de Cd (r=0,880; p=0,000). **Palabras Claves:** Cadmio, peces de aguas continentales, variables biométricas, *Hoplias microlepis*, *Pseudocurimata bolengeri*.

Abstract

The concentration of Cd in the liver and muscle of Guanchiche (*H. microlepis*) and Dica (*Pseudocurimata bolengeri*) was determined. The concentration of the metal in the muscle tissue of the species is less than the limit of quantification of the method (<0.014 mg / Kg). The highest concentration of Cd in the liver will be identified in the *P. bolengeri* species (0.63 ± 0.188 mg / kg) and the lower concentration in *H. microlepis* (0.003 ± 0.036 mg / kg), there are significant differences in the concentration of Cd of the livers of both species (F = 33.74; p = 0.000). One-way ANOVA and a posterior test of Tukey (p <0.05). The concentration of Cd in the liver is above the maximum permissible limit (0.05 mg / kg) established by the European Union. The correlation between weight and height was directly proportional to each other (r = 0.963; p = 0.000) the concentration of Cd in the liver was inversely proportional to height and weight and sexual maturity was directly proportional to the concentration of Cd (r = 0.880; p = 0.000).

Key words: Cadmium, inland fish, biometric variables, *Hoplias microlepis*, *Pseudocurimata bolengeri*.

Introducción

El proceso de industrialización acelerada en combinación con el rápido crecimiento de la población y las actividades agrícolas ha traído consigo el riesgo de aumentar el índice de contaminación en entornos naturales, como el suelo, el aire y el agua (Assubaie, 2015). Los sistemas acuáticos que suelen estar contaminados con metales pesados, representan un problema ambiental importante debido a su naturaleza tóxica, no

biodegradable y persistente. Los iones de metales pesados son absorbidos fácilmente por los peces debido a su alta solubilidad (Bielmyer-Fraser, 2018; El-Naggar et al., 2018; Azimi et al., 2017).

El consumo a largo plazo de peces que habitan en aguas contaminadas puede dar lugar a una bioacumulación de contaminantes en el receptor final (quizás humano) de la red alimenticia (Perera et al., 2015). Según la OMS, la exposición humana se produce en

* Correspondencia del autor:
E-mail: sharon.ruiz.sancan@gmail.com



mayor medida a través del consumo de alimentos contaminados (OMS, s.f.).

Debido a esto, estudios sobre la acumulación de metales como el cadmio han aumentado en importancia ya que es ampliamente difundido en la biosfera a pesar de las restricciones para su uso y está clasificado como uno de los metales más tóxicos. (Kaplan et al., 2011; Araújo & Cedeño-Macias, 2016).

El objetivo del presente estudio fue determinar variables biométricas (sexo, longitud y peso), concentraciones de cadmio en el hígado y músculo de dos especies de peces de aguas continentales de la provincia de Los Ríos y correlacionarlas entre sí.

La contaminación de agua dulce con muchos compuestos distintos, la concentración de metales pesados (Abbas, 2002), la toxicidad de estos, su propensión a la acumulación, la descarga de afluentes contaminados en ríos o en cualquier otro medio acuático puede afectar negativamente a la diversidad de especies y dañar ecosistemas vitales (Abbas, 2004).

Organismos acuáticos como los peces y los mariscos que viven en agua contaminada, pueden acumular metales pesados hasta que las concentraciones excedan su límite en un grado significativo a diferentes niveles en diversos órganos y tejidos debido a su alimentación y procesos metabólicos (El-Seify, 2011; El-Kadder, 1993). Distintos factores, como las propiedades físicas y químicas del agua, así como los cambios

estacionales, son la razón del aumento significativo de la bioacumulación de metales en estos organismos (Afshan et al., 2014).

A nivel mundial varios estudios han evidenciado acumulación de metales pesados como el Cd en *Paralabrax humeralis* (Valenciennes, 1828), *Cynoscion sp.*, *Oreocromis sp.*, *Coryphaena sp.* (Senior et al., 2016) y *Oncorhynchus mykiss* (Bertolotti & Moccetti, 2018).

En Ecuador, se describen concentraciones de Cd en *Coryphaena hippurus* (Araújo & CedeñoMacias, 2016), *Katsuwonus pelamis* y *Thunnus albacares* (Flores et al., 2018).

En peces de aguas continentales, los estudios encontrados se basan específicamente en aspectos taxonómicos y de distribución, por lo cual es necesario saber la concentración de Cd en estos peces por ser alto consumo en la Provincia de los Ríos.

Materiales y Métodos

Área de estudio

En el área de estudio se establecieron 4 puntos de muestreo, siendo los puntos A, B localizados en el Río Babahoyo, C en el Río San Pablo y D en el Río Catarama (Figura 1).

Diseño experimental

El muestreo se realizó durante la época seca, durante los meses de octubre, noviembre e inicios de diciem-

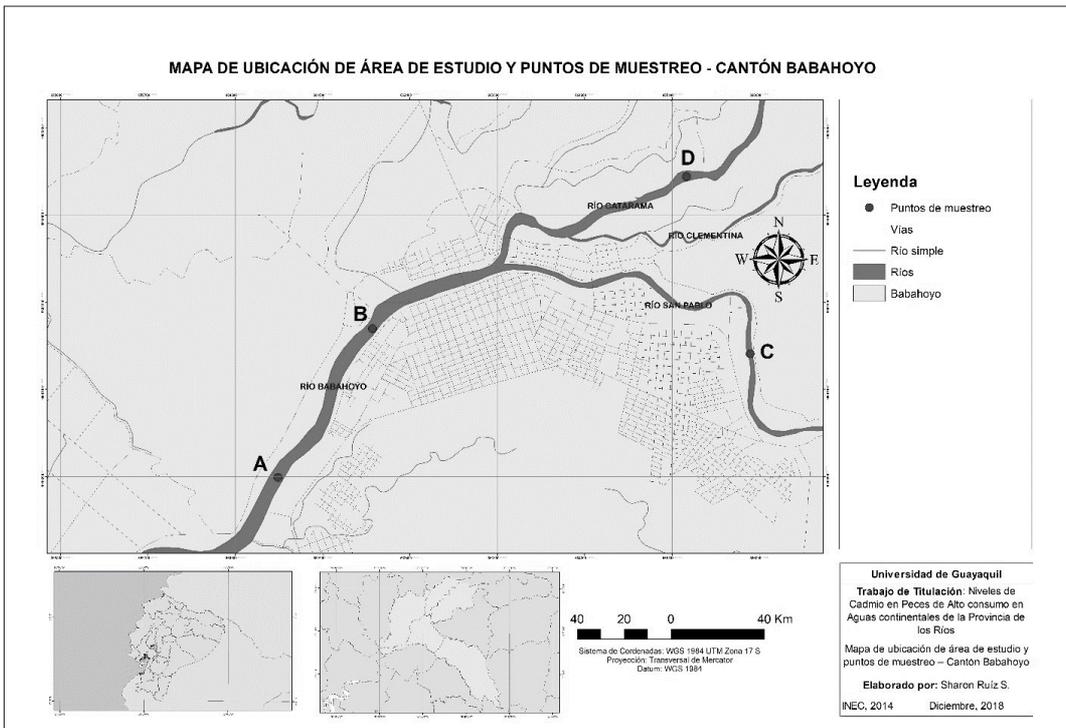


Figura 1. Mapa de Ubicación de área de estudio y puntos de muestreo.

bre del año 2018. Se recolectaron 40 individuos en total de las dos especies seleccionadas en los puntos A, B (Río Babahoyo), C (Río San Pablo) y D (Río Catarama). Se seleccionaron 8 muestras de hígado y 8 muestras de músculo para cada especie. Empleando guantes, bisturí y pinzas esterilizadas entre cada muestra, se removió el músculo de la piel, extrayéndolo desde la cola a la cabeza, posteriormente se extrajo el hígado; todas las muestras fueron colocadas en fundas herméticamente cerradas, etiquetadas y congeladas para su posterior análisis en el laboratorio.

Metodología

Para determinar la talla y peso de los individuos, una vez capturados se midieron mientras estaban frescos y húmedos lo más cerca posible al estado al estado vivo. Se colocó cada individuo sobre el ictiómetro en línea recta, con la cabeza hacia la izquierda tocando la parte perpendicular de la base, se enderezó el cuerpo verificando que la boca estuviera cerrada y la cola tocando la base (puede ser difícil obtener la talla total si la cola está estropeada) y finalmente se determinó la talla.

Una vez obtenida la talla se determinó el peso de cada individuo con una balanza calibrada marca CAMRY ISO 9001, debidamente esterilizada antes de pesarlos, para que el peso no sea alterado.

Para determinar la madurez sexual y el sexo se hizo mediante disección ventral, se cortó desde el orificio urogenital hacia la cabeza (todos los artículos pinzas, bisturí, pesa fueron debidamente esterilizados luego de cada muestra), se clasificó macroscópicamente las gónadas y se determinó el sexo (Gil et al., 2015).

Se empleó una escala macroscópica para determinar la madurez sexual, esta cuenta con cuatro estadios: Inactivos, en maduración, maduras y desovadas (Vélez, 1998).

Las hembras analizadas estuvieron en un estadio II y III de maduración sexual. La maduración inicia con periodos de lluvia, en los cuales aumenta el caudal de los ríos y se modifican las condiciones ambientales, esta culmina con el proceso de migración reproductiva aguas arriba, donde se da el desove, generalmente en el curso principal del río (FAO, 2018).

Procesamiento de las muestras

Las muestras fueron congeladas y posteriormente transportadas en una hielera a 4 °C con suficiente hielo hasta el Laboratorio de Análisis Químico y Microbiológico de Alimentos de la Subsecretaría de Calidad e Inocuidad (SCI) del Ministerio de Acuicultura y Pesca, donde se realizaron los análisis de metales pesados.

Las muestras fueron homogenizadas en un procesador de alimentos, posteriormente usando balanza analítica se pesó en vasos de teflón 0.30 ± 0.05 g de cada muestra para luego ser digeridas en un microondas usando 6 mL de ácido nítrico concentrado. Los equipos empleados fueron previamente lavados con abundante HNO₃ al 1% y agua ultrapura (18.3 MΩ).

Para determinar la concentración de Cd se aplicó el método de espectrometría de absorción atómica por horno de grafito empleando un espectrofotómetro VARIAN modelo SpectrAA 220Z.

Cuando se utiliza la técnica de horno de grafito en conjunción con la espectrofotometría de absorción atómica, una alícuota representativa de la muestra se coloca en el horno de grafito, esta es evaporada a sequedad, carbonizada y atomizada. Un mayor porcentaje de átomos de analito se vaporizan y se disocian para su absorción, es posible el uso de volúmenes de muestra más pequeños o la cuantificación de concentraciones más bajas de elementos. En este caso se utiliza el horno para atomizar la muestra. La radiación de un elemento excitado pasa a través del vapor que contiene átomos en estado fundamental de ese elemento. La intensidad de la radiación transmitida disminuye en proporción a la cantidad del elemento en estado fundamental en el vapor. Los átomos de Cd se colocan en el haz de radiación aumentando la temperatura del horno, lo que hace que la muestra inyectada se volatilice. Un monocromador aísla la radiación característica de la lámpara de cátodo hueco o la lámpara de descarga sin electrodos, y un dispositivo fotosensible mide la radiación transmitida atenuada (U.S. Environmental Protection Agency, 2007).

Resultados

Variables biométricas

Las variables biométricas no presentaron diferencias significativas para la especie *Hoplias microlepis* entre las diferentes localidades ($p > 0.05$). El promedio de longitud de los peces fue de 28.00 ± 4.00 cm, 26.33 ± 3.06 cm y 29.00 ± 2.83 cm para las localidades A, B y D, respectivamente. Con respecto al peso, tampoco se apreciaron diferencias significativas entre las localidades A, B y D ($p > 0.05$), con promedios de 243.3 ± 88.6 g, 173.3 ± 56.9 g y 242.0 ± 76.4 g, respectivamente (Tabla 1).

Además *Pseudocurimata boulengeri* sólo se halló en la localidad C y presentó una longitud promedio de 19.5 ± 0.9 cm y un peso de 104.75 ± 14.13 g (Tabla 2).

Concentración de cadmio en hígado

Se determinó que existen diferencias significativas en la concentración de Cd de los hígados de ambas especies ($F = 33,74$; $p = 0,000$). Letras diferentes indican diferencias significativas según ANOVA de una vía y test a posteriori de Tukey ($p < 0,05$) (Figura 4). Para *Hoplias microlepis* el valor promedio de concentración de Cd en hígado fue de 0,0043 en cambio en *Pseudocurimata boulengeri* fue de 0,317, con un valor atípico de 0,63 mg/Kg de Cd, encontrándose por encima del límite máximo permisible (0,05 mg/Kg) establecido por la Unión Europea (Figura 2).

Concentración de Cadmio en músculo

La concentración del metal en el tejido muscular de ambas especies fue menor al límite de cuantificación del método ($< 0,014$ mg/Kg).

Tabla 1. Lista de muestras punto A y B (Río Babahoyo), D (Río Catarama). *Lt(cm)= Talla total, Wt (g)= Peso con gónadas, MS= Madurez sexual.

| <i>Hoplias microlepis</i> (Guanchiche) | | | | |
|--|----------|---------|--------|-----|
| Punto de muestreo | Lt (cm)* | Wt (g)* | Sexo | MS* |
| A | 28 | 248.2 | hembra | 3 |
| | 32 | 329.4 | hembra | 3 |
| | 24 | 152.4 | hembra | 3 |
| D | 23 | 110 | macho | 4 |
| | 27 | 190 | hembra | 3 |
| Punto de muestreo B | 27 | 188 | hembra | 3 |
| Punto de muestreo B | 31 | 296 | hembra | 3 |

Tabla 2. Lista de muestras punto C (Río San Pablo). *Lt(cm)= Talla total, Wt (g)= Peso con gónadas, MS= Madurez sexual

| <i>Pseudocurimata boulengeri</i> | | | | |
|----------------------------------|----------|---------|--------|-----|
| Punto de muestreo | Lt (cm)* | Wt (g)* | Sexo | MS* |
| C | 21 | 106 | hembra | 3 |
| | 20 | 134 | hembra | 3 |
| | 19 | 108 | hembra | 3 |
| | 18 | 84 | macho | 4 |
| | 19 | 96 | hembra | 3 |
| | 20 | 106 | hembra | 3 |
| | 19 | 100 | hembra | 3 |
| | 20 | 104 | hembra | 3 |

Tabla 3. Correlación de las variables biométricas con la concentración de Cd en hígado.

| | Wt (g) | Lt (cm) | MS |
|-----------|------------------------|------------------------|-----------------------|
| Lt (cm) | 0,963 0,000 | | |
| MS | -0,805 0,001 | -0,713 0,004 | |
| Cd Hígado | -0,719 0,004 | -0,677 0,008 | 0,880 0,000 |

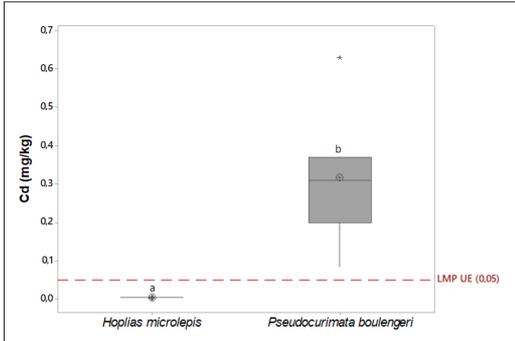


Figura 2. Concentración de Cd en el hígado de las especies *P. boulengeri* y *H. microlepis* capturados en la provincia de Los Ríos

Correlación entre las variables biométricas y la concentración de Cd

La correlación entre peso y talla fue directamente proporcional entre sí ($r=0,963$; $p=0,000$) la concentración de Cd en hígado fue inversamente proporcional a la talla y peso y la madurez sexual se presentó directamente proporcional a la concentración de Cd ($r=0,880$; $p=0,000$) (Tabla 3).

Niveles de concentración Cd entre *H. microlepis* y *P. boulengeri*

La mayor concentración de Cd se observó en *P. boulengeri* ($0,63 \pm 0,188$ mg/kg) y la menor concentración en *H. microlepis* ($0,003 \pm 0,036$ mg/kg).

Discusión

La concentración de Cd en músculos de las especies estudiadas estuvo por debajo de los límites de cuantificación del método; la acumulación de este metal en los músculos de organismos acuáticos siempre se muestra como comparativamente baja (El-Moselhy, 2014).

Allen (1995), sugiere que los tejidos musculares no entran en contacto directo con los tóxicos, tampoco son un sitio activo de desintoxicación y, por lo tanto, el Cd no se transporta desde otros tejidos a los músculos.

Los hígados presentaron valores superiores al límite de cuantificación, probablemente debido a que este órgano tiende a acumular niveles más altos de metales que el músculo (Bonsignore et al., 2013; Hussein & Khaled, 2014), por lo cual es el órgano mayormente estudiado como indicador ambiental de contaminación del agua (Licata et al., 2005; Storelli et al., 2005). Ciertos investigadores indican que la movilización del cadmio desde otros órganos del cuerpo al hígado tiene el objetivo de detoxificarlo y podría contribuir a la acumulación de este elemento en estos órganos (Jayakumar & Paul, 2006).

En *P. boulengeri* los niveles de Cd en hígado fueron significativamente más altos que en *Hoplias microlepis* esto debido a que los patrones de acumulación son mayores en *P. boulengeri* que en *H. microlepis*. Este patrón ha sido reportado en otras especies de aguas continentales, las diferencias interespecie en la acumulación de metales podría relacionarse a los hábitos de vida y alimentarios (Twardowska et al., 2006). El hígado y otros órganos como los riñones son los principales involucrados en actividades de detoxificación (Kumar et al., 2007).

No hubo correlación significativa entre la madurez sexual y el contenido de Cd en tejido muscular en ninguna de las dos especies, sin embargo, un comportamiento contrario se observa entre la madurez sexual y el contenido de Cd en hígados al ser directamente proporcional. Farkas (2001), sugiere que, para las etapas maduras de distintas especies de peces, la absorción de metales es predominante y por lo tanto la carga de metales pesados refleja más el estado de contaminación del sedimento y su biota, en lugar del agua del ambiente.

Probablemente el método de muestreo fue un factor que incidió en la notoria diferencia en contenido de Cd interespecie, las muestras de *P. boulengeri* fueron obtenidas en un mismo sector, donde el ecosistema acuático está influenciado por zonas urbanas y cultivos de arroz, y es conocido que el Cd es uno de los principales contaminantes en este tipo de cultivos y su posterior transferencia a la cadena alimentaria es un problema ambiental global (Rizwan et al., 2016). En contraste, el *H. microlepis* fue capturado en diferentes sectores de la cuenca baja del río Guayas. El hábitat de este se caracterizó por ser de mayor extensión, estar influenciado por cultivos de caña, y zona urbana.

Sridhara, (2008) sugiere que en actividades antropogénicas como la agricultura se encuentra presente el Cd debido al uso de fertilizantes químicos, que llega a las aguas subterráneas por medio de la infiltración. Se conoce también que las descargas agrícolas y residuos domésticos contienen una variedad de contaminantes tóxicos en la que incluyen sólidos suspendidos, compuestos orgánicos, compuestos inorgánicos, pesticidas y varios compuestos metálicos tóxicos (Woodling et al., 2001; Kumar et al., 2007).

Investigadores como Mero et al. (2019) han encontrado lugares en la cuenca baja del Río Guayas y sus afluentes donde existe contaminación por Cd y este supera los límites máximos permisibles en sedimento según normas canadienses y ecuatorianas. Este es absorbido por la fauna y la flora introduciéndose en la cadena alimenticia (Irwin et al., 1997). Los efectos tóxicos del Cd pueden ocurrir con el aumento de las posiciones tróficas (Croteau et al., 2005; Croteau y Luoma, 2005).

Sin embargo, autores como Nakayama et al. (2010) indican que los bajos niveles de Cd generalmente están inversamente correlacionados con el nivel trófico. Los valores de ingesta varían de acuerdo los hábitos alimenticios de cada individuo. Una ingesta prolongada de Cd genera graves daños a la salud, según la OMS, la ingesta semanal tolerable de Cd es 0.007 mg/kg suponiendo un peso corporal de 60 kg (World Health Organization, 2011).

A pesar de los resultados obtenidos en la investigación donde se demuestra que la concentración de Cd en músculo está por debajo de los límites máximos permisibles según normativa nacional e internacional se debe tener en cuenta la ingesta prolongada de otros alimentos contaminados por Cd de alto consumo en Ecuador.

Finalmente, se comprueba la hipótesis al correlacionar las variables biométricas con la concentración de Cd existente en las especies y esta es inversamente proporcional a la longitud total y el peso, mientras que está directamente correlacionada con la madurez sexual de cada especie.

Conclusiones

Se evidenció concentración de Cd en músculo de las dos especies, pero estuvieron por debajo del límite de

cuantificación. Contrariamente en hígado de las especies seleccionadas se evidenció una mayor concentración, para *H. microlepis* el valor máximo de concentración de Cd en hígado fue de 0,0064, en cambio en *P. boulengeri* fue de 0,63, valores que superan los límites máximos permisibles (0,05 mg/Kg) establecido por la Unión Europea (2019).

Las variables biométricas no presentaron diferencias significativas para la *H. microlepis* entre las diferentes localidades ($p > 0.05$). El promedio de talla en *H. microlepis* fue de 26,95. Con respecto al peso, tampoco se apreciaron diferencias significativas entre las localidades ($p > 0.05$), con un peso promedio de 168.66 g. Mientras que para *P. boulengeri* presentó una talla promedio de 19.5 cm y un peso de 104.75 g.

El nivel de Cd entre las dos especies presentó diferencias significativas.

Recomendaciones

- Determinar la concentración de Cd en otras especies de peces de aguas continentales.
- Analizar niveles de Cd de las mismas especies recolectadas en el presente estudio en una época distinta.
- Expandir el área de estudio a lo largo de toda la vertiente occidental ecuatoriana.
- Determinar la concentración de otros metales pesados en peces de alto consumo de aguas continentales.
- Investigar porque hay mayor porcentaje de hembras que de machos en las especies estudiadas.

Referencia

- Abbas, H., Zaghloul, K. & Mousa, M. 2002. Effect of some heavy metal pollutants on some biological and histopathological changes in the blue tilapia *Oreochromis aureus*. Egypt J Agric Res, 80(3): 1395-411.
- Abbas, H. & Mahmoud, H. 2004. Hematological and biochemical changes in *Oreochromis aureus* and *Clarias gariepinus* exposed to mixture of copper and lead salts. Egypt Basic Appl Physiol, 1(3): 89-106.
- Afshan, S., Ali, S., Ameen, U., Farid, M., Bharwana, S., Hanna, F. & Ahmad, R. 2014. Effect of Different Heavy Metal Pollution on Fish. Research Journal of Chemical and Environmental Sciences, 2(1): 7-4-79. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/269784904_Effect_of_Different_Heavy_Metal_Pollution_on_Fish
- Allen, P. 1995. Chronic accumulation of cadmium in the edible tissues of *Oreochromis aureus* (Steindachner): modification by mercury and lead. Arch Environ Contam Toxicol, 29(1): 8-14.
- Araújo, C. V. M. & Cedeño-Macias, L. A. 2016. Heavy metals in yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and common dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) landed on the Ecuadorian coast. Science of The Total Environment, 541:149-154. doi:10.1016/j.scitotenv.2015.09.090
- Assabaie, F. 2015. Assessment of the levels of some heavy metals in water in Alahsa Oasis farms, Saudi Arabia, with analysis by atomic absorption spectrophotometry. Arabian

- Journal of Chemistry, 8(2): 240-245. doi:10.1016/j.arabj.2011.08.018
- Azimi, A., Ahmad, A., Mashallah, R., Meisam, A. (2017). Removal of heavy metals from industrial wastewaters: a review. Chem Bio Eng Reviews, 4(1): 37-59. doi:10.1002/cben.201600010
- Bertolotti, F., & Moccetti, N. (2018). Concentration of lead, mercury and cadmium in fish muscle and water samples from the Rio Santa, Ancash - Peru. Salud Tecnología Veterinaria, 6(1): 35-41. doi:10.20453/stv.v6i1.3376
- Bielmyer-Fraser, G. K., Harper, B., Picariello, C. & Albritton-Ford, A. (2018). The influence of salinity and water chemistry on acute toxicity of cadmium to two euryhaline fish species. Comparative Biochemistry and Physiology, Part C: Toxicology & Pharma, 23-27. doi:10.1016/j.cbpc.2018.08.005
- Bonsignore, M., Salvagio Manta, D., Oliveri, E., Sprovieri, M., Basilone, G., Bonanno, A., Falco, F., Traina, A., Mazzola, S., (2013). Mercury in fishes from Augusta Bay (southern Italy): risk assessment and health implication. Food Chemical Toxicology, 56: 184-194. doi:10.1016/j.fct.2013.02.025
- Croteau, M., Luoma, S. & Stewart, A. (2005). Trophic transfer of metals along freshwater food webs: Evidence of cadmium biomagnification in nature. Limnologia y Oceanografía, 50(1), 1511-1519. doi:10.4319/lo.2005.50.5.1511
- Croteau, M. & Luoma, S. (2005). Delineating copper accumulation pathways for the freshwater bivalve Corbicula using stable copper isotopes. Environmental Toxicology and Chemistry, 24(11): 2871-2878.
- El-Seify, M., Zaki, M., Desouky, A., Abbas, H., K. Abdel Hady, O. & Abouzaid, A. (2011). Study on Clinopathological and Biochemical Changes in Some Freshwater Fishes Infected with External Parasites and Subjected to Heavy Metals Pollution in Egypt. Life Science Journal, 8(3):401-405
- El-Kadder M., Tork, I. & Magda, A. (1993). Heavy metals pollution in drinking water and methods of removals. Alex J Vet Sci. A(1):65-9
- El-Moselhy, K. M., Othman, A. I., Abd El-Azem, H., & El-Metwally, M. E. A. (2014). Bioaccumulation of heavy metals in some tissues of fish in the Red Sea, Egypt. Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences, 1(2): 97-105. doi:10.1016/j.ejbas.2014.06.001
- El-Naggar, N., Hamouda, R., Mousa, I., Abdel-Hamid, M. & Rabei, N. (2018). Statistical optimization for cadmium removal using *Ulva fasciata* biomass: Characterization, immobilization and application for almost-complete cadmium removal from aqueous solutions. Scientific Reports, 8(1). doi: 10.1038/s41598-018-30855-2
- FAO (2018). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018. Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Obtenido de <http://www.fao.org/3/I9540ES/i9540es.pdf>
- Gil, F., Ayala, M., & López, O. (2015). Estómago, hígado, intestino, bazo y páncreas de los peces. Anatomía Veterinaria, Facultad de Veterinaria, Universidad de Murcia. Recuperado de: <https://www.um.es/anatvet/Documentos/CursoPeces/pdfs/Estomago%20higado%20intestino%20bazo%20pancreas%20de%20los%20pec.es.pdf>
- Farkas, A., Salánki, J. & Specziár, A. (2001). Relation Between Growth and the Heavy Metal Concentration in Organs of Bream Abramis brama L. Populating Lake Balaton. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 43(2), 236-243. doi:10.1007/s00244-002-1123-5
- Flores, E., Pozo, W., Pernía B., Sánchez, W. (2018) Niveles de cadmio en atún fresco y enlatado para consumo humano en Ecuador. MASKANA, 9(2).
- Hussein, A. & Khaled, A. (2014). Determination of metals in tuna species and bivalves from Alexandria, Egypt. Egyptian Journal of Aquatic Research, 40(1): 9-17
- Irwin, R., VanMouwerik, M., Stevens, L., Seese, M., & Bashaw, W. (1997). Environmental contaminants encyclopedia: Copper entry. National Park Service, Water Resources Divisions, Water Operations Branch, Fort Collins, CO., USA. 1-99. Recuperado de: <https://www.nature.nps.gov/water/ecencyclopedia/assets/contaminantpdfs/vanadium.pdf>
- Jayakumar P. & Paul VI (2006) Patterns of cadmium accumulation of the catfish *Clarias batrachus* (Linn.) exposed to sublethal concentration of cadmium chloride. Veterinarski Arhiv 76:167-177
- Kaplan, O., Yildirim, N.C., Yildirim, N. & Cimen, M. (2011). Toxic Elements in Animal Products and Environmental Health. Asian Journal of Animal and Veterinary Advances, 6(3), 228-232. doi:10.3923/ajava.2011.228.232
- Kumar, P., Prasad, Y., Patra, A.k., Swarup, D. (2007). Levels of Cadmium and Lead in Tissues of Freshwater Fish (*Clarias batrachus* L.) and Chicken in Western UP (India). Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 79(4): 369-400. doi:10.1007/s00128-007-9263-
- Licata, P., Trobetta, D., Cristani, M., Naccari, C., Martino, D., Calò, M. & Naccari, F. (2005). Heavy metals in liver and muscle of bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) caught in the straits of Messina (Sicily, Italy). Environmental Monitoring and Assessment, 107(1-3): 239-248.
- Mero, M., Pernía, B., Ramírez-Prado, N., Bravo, K., Ramírez, L., Larrera E. & Egas, F. (2019) CONCENTRATION OF CADMIUM IN WATER, SEDIMENTS, Eichhornia crassipes AND Pomacea canaliculata IN THE GUAYAS RIVER AND TRIBUTARIES. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 35(3): 623-640. doi:10.20937/RICA.2019.35.03.09
- Nakayama, S., Ikenaka, Y., Muzandu, K., Choongo, K., Oroszlany, B., Teraoka, H., Mizuno, N. & Ishizuka, M. (2010). Heavy metal accumulation in lake sediments, fish (*Oreochromis niloticus* and *Serranochromis thumbergi*) and crayfish (*Cherax quadricarinatus*) in Lakeltezhi-tezhi and Lake Kariba, Zambia. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 59(2): 291-300.
- OMS. (S.f.). Programa Internacional de Seguridad de las Sustancias Químicas. Organización Mundial de la Salud. Obtenido de https://www.who.int/ipcs/assessment/public_health/cadmium/es/
- Perera, P., Kodithuwakku, S., Sundarabarathy T. & Edirisinghe, U. (2015). Bioaccumulation of Cadmium in Freshwater Fish: An Environmental Perspective. Insight Ecology, 4(1): 1-12. doi:10.5567/ECOLOGY-IK.2015.1.12
- Rizwan, M., Ali, S., Adrees, M., Rizvi, H., Zia-ur-Rehman, M., Hannan, F. & Ok, Y. (2016). Cadmium stress in rice: toxic effects, tolerance mechanisms, and management: a critical review. Environmental Science and Pollution Research, 23(18): 17859-17879. doi:10.1007/s11356-016-6436-4
- Senior, W. Cornejo-Rodríguez, M., Tobar, J., Ramírez-Muñoz, M. & Márquez, A. (2016). Heavy metals (cadmium, lead, mercury) and arsenic in frozen fish of high consumption in Ecuador. Zootecnia Tropical, 34 (2): 143-153.
- Storelli, M., Giacomini, R., Storelli, A. & Marcotrigiano, G. (2005). Accumulation of mercury, cadmium, lead and arsenic in swordfish and bluefin tuna from the Mediterranean Sea: a comparative study. Marine Pollution Bulletin, 50(9): 1004-1007.
- U.S. Environmental Protection Agency (2007). Method 7010. Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrophotometry Recuperado de: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/7010.pdf>
- Velez, D. & Montoro, R. (1998). Arsenic Speciation in Manufactured Seafood Products. Journal of Food Protection, 61(9):1240-1245. doi.org/10.4315/0362-028X-61.9.1240
- World Health Organization (2000). Chapter 6.3 Cadmium. General description. Copenhagen. Recuperado de: http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0016/123073/AQG2ndEd_6_3_Cadmium.PDF