

Bioacumulación de metales pesados en dos especies de peces vendidos en el mercado de Paloquemao (Bogotá)

Bioaccumulation of heavy metals in two species of fish sold in Paloquemao market (Bogotá)

Vanesa Perea* y Yaneth Vásquez Ochoa**

Cómo citar:

Perea, V., & Vásquez Ochoa, Y. (2019). Bioacumulación de metales pesados en dos especies de peces vendidos en el mercado de Paloquemao (Bogotá). *Ingeciencia*, 4, 55-65.

* Estudiante de Biología de la Universidad Central. Integrante del semillero de Biotecnología Ambiental, del Grupo de Investigación en Bioingeniería, Nanotecnología y Telecomunicaciones (SPIN). Correo: bpereac@ucentral.edu.co

** Licenciada en Química y Biología de la Universidad Libre de Colombia. Ms.C. en Ciencias Biológicas y Ph.D. en Ciencias Biológicas de la Pontificia Universidad Javeriana. Profesora asociada de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas, Universidad Central. Correo: ovasquezo@ucentral.edu.co

Resumen

Los elementos químicos Hg, Pb, Zn y Cr son conocidos como metales pesados y son considerados una amenaza para la salud pública porque generan alteraciones neurológicas, afecciones del sistema respiratorio y nefrotoxicidad. En Colombia, se desconoce el número exacto de sitios contaminados con metales pesados como consecuencia de las actividades antrópicas que en muchos casos contaminan las fuentes de agua de la región. En el presente artículo se evaluó la concentración de metales pesados en dos especies de peces, *Pseudoplatystoma magdaleniatum* (Bagre rayado) y *Prochilodus magdalenae* (Bocachico), comercializadas en la ciudad de Bogotá. Se determinó la concentración de los metales en el músculo dorsal y en las branquias por su constante exposición al agua. Las muestras fueron sometidas a digestión ácida y los metales solubles fueron cuantificados por espectrofotometría de absorción atómica. Los resultados muestran que las concentraciones de metales pesados (Hg, Pb, Zn y Cr) bioacumulados en las branquias y en el músculo dorsal de las dos especies es inferior a los límites establecidos como seguros por la Organización Mundial de la Salud para el consumo humano.

Palabras clave: bioacumulación, biomagnificación, branquias, cadena trófica, contaminación, tejido muscular.

Abstract

The chemical elements Hg, Pb, Zn and Cr are known as heavy metals and are considered a threat to public health because they generate neurological disorders, respiratory system disorders and nephrotoxicity. In Colombia, the exact number of sites contaminated with heavy metals because of anthropic activities that in many cases contaminate the region's water sources is unknown. In this article, the concentration of heavy metals was evaluated in two species of fish *Pseudoplatystoma magdaleniatum* (striped catfish) and *Prochilodus magdalenae* (Bocachico) commercialized in the city of Bogotá. The concentration of metals in the dorsal muscle and in the gills was determined by their constant exposure to water. The samples were subjected to acid digestion and the soluble metals were quantified by atomic absorption spectrophotometry. The results show us the concentrations of heavy metals (Hg, Pb, Zn and Cr) bioaccumulated in the gills and in the dorsal muscle of the two species is lower than the limits established as safe by the World Organization of the Health for human consumption.

Keywords: bioaccumulation, biomagnification, food chain, gills, muscle tissue, pollution.

1. Introducción

La Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC, por sus siglas en inglés) define el metal pesado como cualquier elemento químico metálico que tenga una densidad $\geq 4,5 \text{ g/cm}^3$. Sin embargo, muchos de los metales que tienen una densidad alta no son tóxicos y algunos son elementos esenciales en los organismos, independientemente de la concentración, como es el caso de Ca y Mg. Sin embargo, hay una serie de elementos que en alguna de sus formas pueden representar un serio problema medioambiental y es común referirse a ellos con el término genérico de *metales pesados* (Bosch, 2016). Estos metales constituyen un riesgo para el ambiente porque son sustancias con alta estabilidad química ante los procesos de biodegradación y poseen un efecto multiplicador en la concentración del contaminante en la cadena trófica. Además, alcanzan niveles altos de toxicidad y se absorben eficientemente a través de las membranas biológicas, debido a que tienen elevada afinidad química por el grupo sulfhídrico de las proteínas (Mancera-Rodríguez & Álvarez-León, 2006).

Los metales como Cd, Pb y Cr se acumulan en los tejidos humanos, especialmente en riñón y pulmón, alteran sus funciones básicas y provocan efectos tóxicos como neumonía, disfunción renal y enfisemas. En casos de intoxicaciones crónicas por metales pesados son habituales las osteopatías y algunos tipos de cáncer relacionados con el aparato reproductor masculino (Bosch *et al.*, 2016). La exposición al mercurio en casos de intoxicaciones agudas produce irritación en las vías respiratorias, bronquitis, bronquiolitis y otras enfermedades respiratorias (Pérez, 2011). La ingesta continua de alimentos contaminados con metales pesados promueve la bioacumulación en el cuerpo y causa un efecto multiplicador conocido como *biomagnificación* en la cadena trófica, proceso que continúa hasta que llega al consumo humano (González *et al.*, 2016).

Actualmente, en Colombia se desconoce la cantidad exacta de sitios contaminados con metales pesados como consecuencia de la actividad minera, de curtiembres o de la galvanoplastia. Los peces piscívoros (cuya dieta es principalmente peces más pequeños) presentes en los ríos que recogen efluentes contaminados con metales pesados generalmente los concentran en su organismo, por lo tanto, son la principal fuente de contaminación para los humanos (Ortega, 2014). En los sistemas acuáticos, tanto las partículas de sedimento como el material suspendido presentan metales pesados en altas concentraciones. El material suspendido y las partículas de sedimento constituyen la principal fuente de alimento para las especies detritívoras (se alimentan de materia en descomposición), filtradoras o suspensívoras (alimentación por filtración sistemática y masiva de agua). La ingestión de metales y los bajos niveles del pH en el tracto digestivo contribuyen a que esta sea una de las principales vías de absorción de tales elementos y probablemente son las finas partículas oxidativas la fuente más importante de metales disponibles para la biota (Campo, 1992).

A la fecha, en Colombia se han realizado varios estudios de la bioacumulación de metales en peces provenientes de los ríos Cauca y Magdalena, así como del riesgo que esto representa para la salud humana. Una de estas investigaciones fue realizada en la Ciénaga

Grande de Santa Marta, en la cual encontraron grandes concentraciones de Cu y Zn en el hígado, en comparación con el músculo, en el pez *Ariopsis bonillai* (Campo, 1992). Otro de los estudios en el país se llevó a cabo en la parte alta de la cuenca del río San Jorge en el departamento de Córdoba, por ser considerada una de las zonas más importantes para la minería en el país, con explotaciones de ferroníquel, carbón y oro (Madrid, 2011). Este trabajo evaluó los efectos genotóxicos de los metales pesados (Hg, Pb, Cd, Cu y Zn) asociados a explotaciones mineras en pobladores de la cuenca del río San Jorge y concluyó que los peces piscívoros concentran los metales pesados en su organismo y, por tanto, son la principal fuente de contaminación en humanos.

En otra importante región del país como Villavicencio se recolectaron once muestras de carne de pescado crudo para determinar los niveles de plomo y mercurio. Ocho muestras correspondieron a pescado congelado importado, de las cuales tres provenían de China y cinco de Vietnam; las otras tres muestras eran de pescado fresco, obtenidas en expendios locales. En todas las muestras se detectó Hg y Pb, sin embargo, la concentración de los metales se encontraba por debajo del límite establecido para consumo humano por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Instituto Nacional para la Vigilancia de Alimentos y Medicamentos (Invima) (Ortega, 2014).

En la ciudad de Bogotá, particularmente en la Plaza de Mercado de Paloquemao se comercializan aproximadamente 18 000 ton/año de carne de pescado, que son distribuidas a los supermercados, minimercados, carnicerías, restaurantes y tiendas hasta que llegan finalmente a la canasta familiar (Hoyos, 2011). Las especies de peces que más consume la población de la capital son bocachico (40%) y bagre rayado (25%), que provienen de los ríos Cauca y Magdalena, los cuales contienen altas concentraciones de metales pesados en sus aguas y sedimentos (Verbel *et al.*, 2011). Por tanto, en el presente trabajo se evalúa la concentración de metales pesados (Hg, Pb, Zn y Cr) en el músculo y las branquias de dos especies: Bagre rayado (*Pseudoplatystoma magdaleniatum*) y Bocachico (*Prochilodus magdalenae*).

2. Materiales y métodos

Selección y tratamiento de las muestras

Se seleccionaron dos especies de peces, Bagre rayado y Bocachico, de las cuales se compraron tres individuos por cada una en la plaza de Paloquemao en la ciudad de Bogotá. En el laboratorio, los individuos fueron pesados, medidos y lavados con agua destilada siguiendo las recomendaciones de Verbel (2011) y se realizaron cortes de secciones musculares dorsales superiores e inferiores, así como en las branquias (figura 1). Cada muestra (~5 g) fue almacenada en bolsas plásticas herméticas a una temperatura de -20 C° hasta que fueron analizadas. Cada análisis se realizó tres veces, con el fin de obtener una mayor precisión en los datos obtenidos.

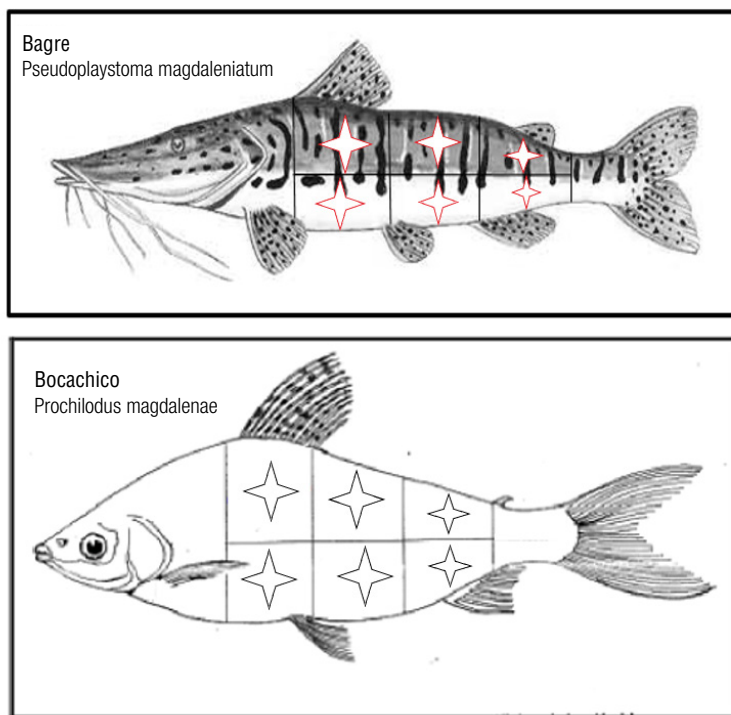


Figura 1. División del tejido animal para obtener las muestras del músculo dorsal superior e inferior de los individuos de las dos especies. Se tomaron seis muestras de cada individuo, como representan los asteriscos en la imagen.
Fuente: elaboración propia.

Todas las muestras, más un control artificial preparado con caolín y mercurio (utilizado con el fin de obtener un valor de concentración de referencia con respecto al Hg), fueron digeridas con una mezcla de ácido nítrico y ácido sulfúrico en relación 3:7 por un tiempo de 24 horas a temperatura controlada de 30 °C. Posteriormente, las muestras fueron centrifugadas y diluidas con agua desionizada en dos ocasiones a 4 °C para separar el pellet del sobrenadante (contenido de grasa animal), según las recomendaciones de Olivero y Johnson (2002).

La cuantificación de los metales se realizó por absorción atómica (Varian 240 FS), las curvas de calibración para metales específicos se evaluaron mediante un estándar de control preparado de forma independiente. El límite de detección del método (LDM) se definió como la concentración mínima de cada sustancia medida (Hg, Cr, Pb y Zn), en el que se utilizó un patrón de calibración para cada metal: para Pb y Zn 0,1 ppm, para el Hg 1 ppm y 50 ppb, finalmente 0,5 ppm para Cr.

Con el fin de realizar comparaciones múltiples entre las variables de los niveles de metales pesados presentes en las branquias y músculos de cada población se realizó la prueba de Shapiro-Wilk para comprobar la normalidad y la prueba de Levene para determinar la homogeneidad de varianzas, seguido de un Anova y una prueba post hoc (Tukey) según Acosta (2004).

3. Resultados y discusión

Los resultados obtenidos por la prueba de Anova ($p \leq 0,05$) mostraron diferencias estadísticas significativas en las concentraciones de Pb en el tejido muscular y en las branquias de las dos especies de diferente nivel trófico. En el bagre se encontraron concentraciones similares de Pb en los tejidos analizados (músculo dorsal $4,990 \pm 0,200$ ng/g y branquias $4,911 \pm 0,683$ ng/g), mientras que en el bocachico se obtuvieron mayores valores en la concentración de Pb en el músculo dorsal ($3,851 \pm 0,300$ ng/g) con respecto a las branquias ($3,217 \pm 0,578$ ng/g), como se observa en la figura 2. Resultados similares fueron reportados por Ortega *et al.* (2020), en los cuales se presenta una mayor concentración de Pb en el músculo dorsal con respecto a los demás tejidos analizados.

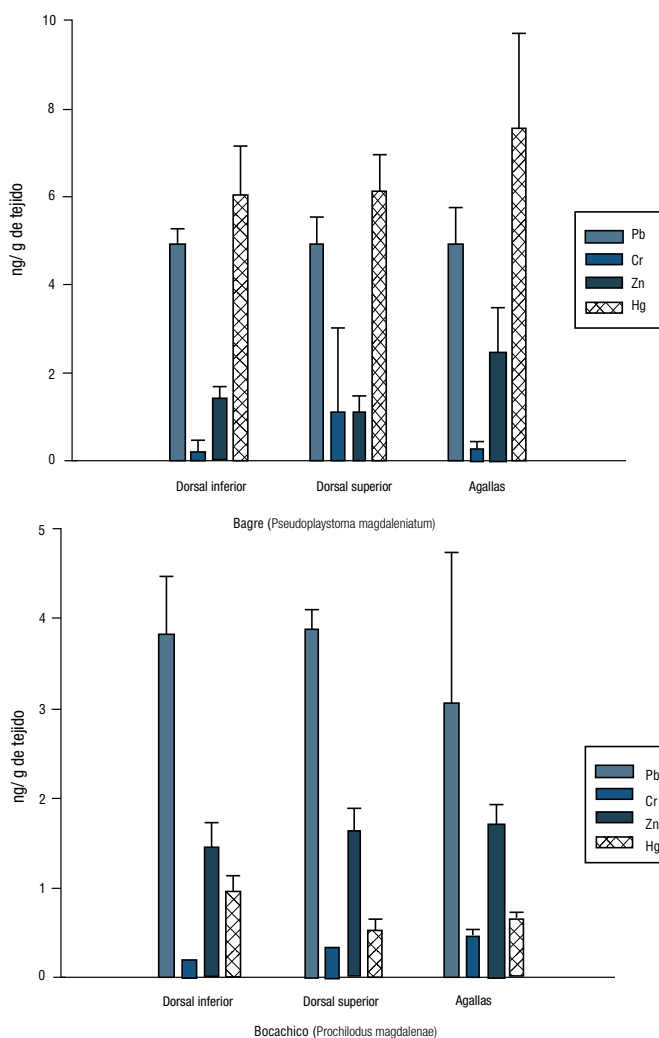


Figura 2. Comparación de la concentración de metales pesados (Pb, Cr, Zn, Hg) en músculo dorsal (superior e inferior) y branquias de Bagre rayado (*Pseudoplattystoma magdaleniatum*) y Bocachico (*Prochilodus magdalenae*). Fuente: elaboración propia.

Sin embargo, los valores encontrados en este trabajo no superan el límite establecido como seguro por la OMS (300 ng/g con base en el peso húmedo) para adultos. En Colombia, el eje de la legislación que regula los metales pesados son las afectaciones que estos causan a la salud humana a través de procesos de bioacumulación. A partir de este criterio, el Ministerio de Ambiente y el de Salud y Protección Social establecieron la Resolución 122 de 2012, que reglamenta los límites máximos de metales pesados (Pb: 0,3 mg/kg, Hg: 0,5 mg/kg) y la Norma Técnica Colombiana (NTC) 1443, que establece los límites para consumo humano (Pb: 0,4 mg/kg; Hg: 0,5 mg/kg) (Licona & Negrete, 2019). El Pb es una neurotoxina que causa déficits de comportamiento en vertebrados, disminuye la supervivencia y las tasas de crecimiento, causa discapacidades de aprendizaje y puede generar un efecto crónico más prolongado en los niños (Rajeshkumar & Li, 2018).

En cuanto al Hg, la prueba de Anova ($p \leq 0,05$) muestra diferencias estadísticas significativas en las concentraciones en los tejidos musculares y en las branquias de las dos especies evaluadas, pues es mayor la concentración en el bagre rayado (*Pseudoplatystoma magdaleniatum*). En esta especie se encontraron valores similares en las concentraciones de Hg en las muestras de tejido muscular dorsal superior ($6,120 \pm 0,864$ ng/g) e inferior ($6,046 \pm 1,122$ ng/g) (tabla 1), en comparación con el bocachico (*Prochilodus magdalenae*), en el cual se obtuvieron mayores valores de concentración de Hg en las branquias ($0,642 \pm 0,068$ ng/g), seguido del músculo dorsal inferior ($0,553 \pm 0,039$ ng/g) y superior ($0,526 \pm 0,049$ ng/g). Las concentraciones de Hg más altas se encontraron en la especie carnívora (Bagre), resultados que son similares a los reportados por Mancera *et al.* (2006), en los cuales las concentraciones más altas también fueron observadas en peces carnívoros y estuvieron en un promedio de 240 ng Hg/g. Sin embargo, en este estudio el valor máximo reportado fue de 8,627 ng Hg/g, un valor que no supera el límite internacionalmente aceptado (500 ng Hg/g) como seguro para que sea consumido por el hombre (OMS, 2018).

Tabla 1. Promedio de las concentraciones de metales pesados (Pb, Cr, Zn, Hg) halladas en músculo dorsal (superior e inferior) y branquias de las muestras de Bocachico (*Prochilodus magdalenae*) y Bagre rayado (*Pseudoplatystoma magdaleniatum*).

Especies	Muestras	Concentración de metal (ng/g)			
		Pb	Cr	Zn	Hg
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Músculo dorsal inferior	3,813±0,636	0,020±0,000	1,408±0,304	0,553±0,039
	Músculo dorsal superior	3,889±0,211	0,029±0,014	1,628±0,257	0,526±0,049
	Branquias	3,217±0,726	0,047±0,036	1,691±0,192	0,642±0,068
<i>Pseudoplatystoma magdaleniatum</i>	Músculo dorsal inferior	4,904±0,369	0,189±0,253	1,405±0,296	6,046±1,122
	Músculo dorsal superior	4,910±0,653	1,126±1,863	1,124±0,367	6,120±0,864
	Branquias	4,912±0,683	0,277±0,109	2,410±0,933	7,521±1,942

Fuente: elaboración propia.

El incremento en las concentraciones de mercurio cuando aumenta el nivel trófico de las especies analizadas sugiere la presencia del fenómeno de biomagnificación en los lugares de origen de dichas especies. Las especies con mayor capacidad de acumulación

de mercurio son las carnívoras, tales como el Bagre rayado, el Bagre blanquillo y el Bagre pintado, de manera que se debe minimizar el consumo diario de estas especies para disminuir el riesgo de intoxicación mercurial (Licona & Negrete, 2019). Por su parte, el Bocachico fue la especie que mostró las concentraciones más bajas de mercurio (figura 2), lo cual concuerda con los hábitos alimenticios de estos peces, como son fitoplanctónico y detritívoro (Bermeo & Céleri, 2016).

Cabe mencionar que de acuerdo con otras instituciones, como la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos y la Academia Nacional de Ciencias, el valor de referencia permitido para el consumo de metales como el Hg no debe exceder 1,0 mg/g, de manera que los resultados obtenidos durante la investigación no superan el valor permitido por dichas instituciones (Amador, 2015). Se puede concluir entonces que el consumo de Bagre y Bocachico no genera un riesgo para los consumidores de estas especies debido a que su concentración no supera los valores permitidos.

El Zn es un elemento traza importante en la nutrición humana y cumple muchas funciones bioquímicas en el metabolismo humano. Una deficiencia de Zn en el organismo humano conduce a varios trastornos, pero una ingesta excesiva puede causar efectos adversos agudos (Scherz & Kirchhoff, 2006). La dosis diaria recomendada de Zn es de 1,1000 ng/día para hombres y 8,000 ng/día para mujeres hasta los 19 años (Medeiros *et al.*, 2012). En nuestro estudio se encontraron diferencias significativas en las concentraciones de Zn en los tejidos musculares y en las branquias de las dos especies evaluadas. En el bagre se encontraron valores bajos en los tejidos musculares dorsales ($1,2644 \pm 0,367$ ng/g) en comparación con el de las branquias ($2,4104 \pm 0,147$ ng/g). Asimismo, en el bocachico se encontró la mayor concentración de Zn en las branquias, probablemente por ser una especie detritívora (se alimentan de detritos, materia orgánica en descomposición), succiona con su boca el lodo del fondo para aprovechar detritos orgánicos, de modo que se ve afectada por la contaminación de los sedimentos de agua dulce (Genes *et al.*, 2019).

Con respecto al Cr, se encontró que la concentración en los tejidos musculares superiores ($1,126 \pm 1,863$ ng/g) fue mayor al de las branquias ($0,277 \pm 0,109$ ng/g) en el bagre. En contraste, los análisis evidencian que en el bocachico la mayor concentración del metal estaba en las branquias ($0,047 \pm 0,036$ ng/g). Al comparar los resultados del Cr con las investigaciones realizadas por Fuentes *et al.* (2018) y Campo y Simanca (2019), se halló que en el tejido muscular de las especies del género *Mugil* y *Prochilodus*, organismos detritívoros como el bocachico, los niveles de Cr son similares a los que reportamos en este estudio.

En esta investigación se encontró que la mayor concentración de Hg, Pb y Zn estaba en las branquias de los peces. Este tejido es un sitio importante para la entrada de metales pesados y es el primer órgano objetivo para la exposición. La alta concentración de metales en las branquias del bagre y en el bocachico se debe posiblemente a que durante el análisis fue el tejido que presentó menor volumen de grasa en comparación con los tejidos musculares, lo que en muchos casos dificultó el trabajo con las muestras. Además, la concentración de metales en las branquias refleja que se encuentra expuesto a la contaminación de metales en la zona por ser el primer órgano del pez que entra en contacto con el agua. Asimismo, las branquias se encargan de la filtración de partículas dentro de los organismos acuáticos, de manera que las mayores concentraciones de metales son un indicio de la calidad del agua donde habitan normalmente, mientras que la concentración de los tejidos musculares representa la bioacumulación en la cadena trófica.

4. Conclusiones

En el estudio se encontró que la concentración de Pb, Hg, Zn y Cr, presentes en las branquias y en el músculo dorsal de las especies Bagre rayado y Bocachico son inferiores a los límites establecidos como seguros por la OMS para el consumo humano. Sin embargo, estos resultados no son concluyentes dado que el número de muestras fue muy bajo y los peces eran de tamaño mediano, lo cual puede llevar a una baja bioacumulación en la cadena trófica.

Asimismo, la evidencia de que los tejidos musculares de los peces evaluados en este estudio tienen concentraciones de Pb, Hg, Zn y Cr es una alerta para las autoridades dada la persistencia de estas sustancias en los ecosistemas, que incluso pueden durar muchos años. También indica que es urgente realizar investigaciones en las fuentes hídricas del país para dimensionar el problema, de manera que las autoridades establezcan medidas de control a las empresas que utilizan o generan metales pesados durante la cadena productiva. Por último, se recomienda realizar el estudio con una población más amplia de peces, tomando muestras en diferentes plazas de mercado de Bogotá y analizando otros tejidos como ovarios, hígado y riñón, que permitan establecer con mayor precisión la bioacumulación.

5. Agradecimientos

La investigación fue financiada por el departamento de Ciencias Naturales de la Universidad Central. Los autores agradecen a Leonor Hernández, Carlos Díaz y Jorge Sierra por su colaboración durante los análisis de laboratorio.

6. Referencias

- Acosta, V., & Lodeiros, C. (2004). Metales pesados en la almeja *Tivela mactroides* Born, 1778 (Bivalvia: Veneridae) en localidades costeras con diferentes grados de contaminación en Venezuela. *Ciencias Marinas*, 30(2), 323-333.
- Amador, L. R. T., Martínez, F. D. G., Hernández, L. J. M., Vergara, L. A. W., & Suárez, J. N. C. (2015). Niveles de metales pesados en muestras biológicas y su importancia en salud. *Revista Nacional de Odontología*, 11(21). <https://doi.org/10.16925/od.v11i21.895>
- Bermeo Salinas, J. F., & Célleri Marín, A. S. (2016). *Cuantificación de la cantidad de metales pesados presentes en dos especies de peces (Oncorhynchus mykiss y Cyprinus carpio), y su relación con edad y tamaño en el embalse Daniel Palacios Proyecto Hidroeléctrico Paute-Molino* [tesis de pregrado, Universidad del Azuay]. Repositorio Institucional Universidad el Azuay. <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/6263/1/12461.pdf>
- Bosch, A. C., O'Neill, B., Sigge, G. O., Kerwath, S. E., & Hoffman, L. C. (2016). Heavy metals in marine fish meat and consumer health: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(1), 32-48.

- Campo Tatis, N. P., & Simanca Martínez, K. J. (2019). *Evaluación de las concentraciones de cadmio, plomo, zinc y cromo en especies ícticas del departamento de La Guajira-Colombia y riesgo de exposición en humanos* [tesis de doctorado, Universidad de La Costa]. Repositorio Institucional Universidad de la Costa. <https://repositorio.cuc.edu.co/handle/11323/5159>
- Campos, N. H. (1992). Concentraciones de metales traza en *Ariopsis bonillai* (Pisces: Siluriformes) de Santa Marta, Caribe colombiano. *Revista de Biología Tropical*, 40(2), 179-183.
- Fuentes Gándara, F. A., Pinedo Hernández, J. J., & Marrugo Negrete, J. L. (2018). Metales pesados en especies ícticas de la ciénaga de mallorquín, Colombia. *Revista Espacios*, 39(03). <https://www.revistaespacios.com/a18v39n03/a18v39n03p19.pdf>
- Genes, J. E. A., Buelvas, V. M. P., Velásquez, C. A. J., Araújo, J. A. E., Atencio-García, V. J., & Prieto-Guevara, M. J. (2019). Comunidades planctónicas y bacterianas asociadas al cultivo de bocachico *Prochilodus magdalenae* con tecnología biofloc. *Revista MVZ Córdoba*, 24(2), 7209-7217.
- González, M., Barrientos, M., & Juárez, A. (2016). Comemos lo que vertimos. Bioacumulación y biomagnificación. <http://cta-consultoria.com/espanol/comemos-lo-que-vertimos>
- Hoyos Hernández, V. E. (2011). *Evaluación y propuesta de mejora de las condiciones higiénico-sanitarias, de distribución y procesos de la plataforma para pescados en el marco del convenio 244* [tesis de pregrado, Universidad de La Salle]. Repositorio Institucional Universidad de La Salle. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_alimentos/77/
- Licon, S. P. V., & Negrete, J. L. M. (2019). Mercurio, metilmercurio y otros metales pesados en peces de Colombia: riesgo por ingesta. *Acta Biológica Colombiana*, 24(2), 232-242.
- Madrid, G. L. (2011). Genotoxicidad de metales pesados (Hg, Zn, Cu, Pb y Cd) asociado a explotaciones mineras en pobladores de la cuenca del río San Jorge del departamento de Córdoba, Colombia. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, 1(23).
- Mancera-Rodríguez, N. J., & Álvarez-León, R. (2006). Estado del conocimiento de las concentraciones de mercurio y otros metales pesados en peces dulceacuícolas de Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 11(1), 3-23.
- Medeiros, R. J., dos Santos, L. M. G., Freire, A. S., Santelli, R. E., Braga, A. M. C., Krauss, T. M., & Jacob, S. D. C. (2012). Determination of inorganic trace elements in edible marine fish from Rio de Janeiro State, Brazil. *Food Control*, 23(2), 535-541.
- Olivero, J., & Johnson, B. (2002). *El lado gris de la minería del oro: la contaminación con mercurio en el norte de Colombia*. Editorial Universitaria.
- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2018, agosto 23). Intoxicación por plomo y salud. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health>

- Ortega, E. R., Doria, M. C., Arenas, G.V., Dávila, F. S., Zare, E. G., & Ordóñez, E. S. (2020). Bioacumulación de metales pesados en tres especies de peces bentónicos del río Monzón, región Huánuco. *Rebiol*, 40(1), 69-78.
- Ortega, M. (2014). Niveles de plomo y mercurio en muestras de carne de pescado importado y local. *Pediatría*, 47(3), 51-54.
- Pérez, R. (2011). Efecto de los metales pesados en el medio ambiente y la salud humana. Pinar del Río. Cuba: Departamento de Geología, Universidad de Pinar del Río “Hermanos Saíz Montes de Oca”. Minería y Geología.
- Rajeshkumar, S., & Li, X. (2018). Bioaccumulation of heavy metals in fish species from the Meiliang Bay, Taihu Lake, China. *Toxicology Reports*, 5, 288-295.
- Scherz, H., & Kirchhoff, E. (2006). Trace elements in foods: zinc contents of raw foods —a comparison of data originating from different geographical regions of the world. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(5), 420-433.
- Verbel, J. (2011). *Efectos de la minería en Colombia sobre la salud humana*. Univ. Cart, 5-13. <https://bit.ly/3ysZYGI>