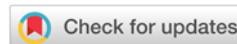


# Niveles de cadmio en atún fresco y enlatado para consumo humano en Ecuador



Evelyn Flores, Wilson Pozo , Beatriz Pernía , Williams Sánchez

Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil, Av. Raúl Gómez Lince s/n y Av. Juan Tanca Marengo, Guayaquil, Ecuador, C.P. 090150.

Autor para correspondencia: wilson.pozog@ug.edu.ec

Fecha de recepción: 2 de noviembre de 2018 - Fecha de aceptación: 6 de diciembre de 2018

## RESUMEN

Actualmente, la bioacumulación de cadmio (Cd) en peces está aumentando y es un motivo de preocupación debido a su toxicidad. Por esto, el objetivo de esta investigación fue determinar la concentración de cadmio en 36 muestras de atún fresco y enlatado, provenientes de los mercados Caraguay, Puerto Pesquero Santa Rosa (PPSR) y atún enlatado de consumo nacional y de exportación. Para cuantificar la concentración de cadmio, las muestras de atún recolectadas fueron analizadas mediante el método de espectrofotometría de absorción atómica. Los niveles de concentración de cadmio de las muestras analizadas fueron comparados con la norma nacional NTE INEN 183 y 184, y con el Reglamento de la Unión Europea No 488/2014, cuyo límite máximo permitido es de 0.10 ppm Cd. En atún enlatado de consumo nacional se encontraron concentraciones de  $0.441 \pm 0.046$  ppm Cd y en atún de exportación  $0.297 \pm 0.109$  ppm Cd; sin embargo, las diferencias no fueron estadísticamente significativas ( $p > 0.05$ ). De igual forma, las concentraciones en atún fresco de la especie *Katsuwonus pelamis* fue de  $0.385 \pm 0.174$  ppm Cd, y de *Thunnus albacares*  $0.295 \pm 0.187$  ppm Cd en el mercado de Caraguay. Por el contrario, las concentraciones de Cd en atún proveniente del PPSR fueron mucho menores:  $0.079 \pm 0.061$  ppm Cd y  $0.030 \pm 0.050$  para *Katsuwonus pelamis* y *Thunnus albacares*, respectivamente. No hubo diferencias significativas entre el atún enlatado y fresco ( $p > 0.05$ ). El 66% de las muestras analizadas superaron los límites permisibles de Cd de las normas nacionales e internacionales, por lo que se recomienda mantener una vigilancia sanitaria permanente del atún en el Ecuador.

**Palabras claves:** Atún, Cadmio, *Katsuwonus*, *Thunnus*, espectrofotometría de absorción atómica.

## ABSTRACT

Currently, cadmium bioaccumulation in fish is increasing and is a concern due to toxicity. This research is intended to define the Cadmium concentration in 36 samples of fresh tuna and canning, respectively from the Caraguay Market in the city of Guayaquil, the fishing port Santa Rosa (PPSR), and canned tuna for national consumption and export. The cadmium concentration in the tissue of the collected tuna samples was analyzed by atomic absorption spectrophotometry. Levels of cadmium concentration in the analyzed samples were compared to the national regulation norm NTE INEN 183 and 184, and the European Union regulation norm No 488/2014. According to those norms the maximum permissible cadmium content in foodstuff might not exceed 0.10 ppm Cd. In canned tuna for national consumption we found concentrations of  $0.441 \pm 0.046$  ppm Cd and in the canned tuna for export the cadmium level varied around  $0.297 \pm 0.109$  ppm; differences were however not statistically significant ( $p > 0.05$ ). Similarly, the Cd concentrations in fresh tuna of the species *Katsuwonus pelamis* was  $0.385 \pm 0.174$  ppm and of the species *Thunnus albacares*  $0.295 \pm 0.187$  ppm in the market of Caraguay. In contrast, Cd concentrations in tuna from the PPSR were much lower:  $0.079 \pm 0.061$  ppm Cd and  $0.030 \pm 0.050$  for *Katsuwonus pelamis* and *Thunnus albacares*, respectively. 66% of the analyzed samples exceeded the permissible limits of Cd according national and international standards. It is recommended to maintain a permanent health surveillance of tuna in Ecuador.

**Keywords:** Tuna, Cadmium, *Katsuwonus*, *Thunnus*, atomic absorption spectrophotometry.

## 1. INTRODUCCIÓN

Una vez terminada la segunda guerra mundial se originó un aumento en el consumo de atún, debido a que este recurso es accesible y rico en proteínas y minerales. La alta demanda hizo que la industria del atún se tecnifique, tanto en el arte de la pesca como en su procesamiento, de tal manera que en la actualidad su captura, para el consumo mundial, es en miles de toneladas al año. Sin embargo, los indiscutibles beneficios derivados del consumo de atún pueden ser opacados por la presencia en su carne de metales tóxicos, como cadmio (Cd), plomo (Pb) y mercurio (Hg), a menudo

en niveles superiores a las normas de seguridad establecidas por la legislación de los distintos países (Storelli, Barone, Cuttone, Giungato, & Garofalo, 2010).

Dentro de los metales pesados el Cd es un metal altamente tóxico y no esencial, obtenido como subproducto del tratamiento metalúrgico del zinc y del plomo que, junto con otras actividades industriales tales como el uso de fertilizantes, galvanizantes, pigmentos y baterías de níquel-cadmio, constituyen importantes fuentes de contaminación ambiental (Pernía, De Sousa, Reyes, & Castrillo, 2008). Generalmente, se encuentra en el ambiente en bajas concentraciones, pero la actividad humana ha aumentado considerablemente esos niveles. El

cadmio puede desplazarse a gran distancia desde la fuente de emisión por transferencia atmosférica y se acumula fácilmente en muchos organismos, especialmente en peces, moluscos y crustáceos (OMS, 2010). El Cd se halla presente en el medio acuático como consecuencia de fenómenos naturales, como el vulcanismo marino, o de fenómenos geológicos y geotérmicos, pero también se derivan de la contaminación causada por la metalurgia y explotación minera intensivas, la evacuación de residuos y la incineración, así como la lluvia ácida provocada por la contaminación industrial (FAO, 1989).

La considerable acumulación de Cd podría incidir en disfunción renal, daños en el esqueleto y deficiencia reproductiva (Cope, Leidy, & Hodgson, 2004). Se ha descrito que el Cd afecta los riñones, pulmones, esqueleto, testículos y sistema nervioso central de los animales y humanos, generando hipocalcemia, diabetes, osteoporosis y cáncer (Burger, 2008; Clemens, Aarts, Thomine, & Verbruggen, 2013). Los peces tienen la capacidad de almacenar en su organismo una concentración mayor de metales que la presente en el medio, por lo que son indicadores importantes de la contaminación, pero también esto implica que su consumo se puede convertir en un problema de salud para las poblaciones que se alimentan de este recurso (Suhaimi, Wong, Lee, & Low, 2005; Moncayo, Trejos, Maridueña & Castro, 2010).

Las especies de atún son organismos pelágicos de alto rendimiento, con altas tasas de metabolismo y consumo de alimentos, lo que los expone a elementos traza (Kojadinovic, Potier, Le Corre, Cosson, & Bustamante, 2007). Por consiguiente, se pueden generar efectos adversos para la salud humana si este pez se consume con demasiada frecuencia o en grandes cantidades. En este contexto, también se debe considerar el atún enlatado puesto que, entre los productos pesqueros en conserva, son sin duda los más importantes y frecuentemente consumidos (Storelli *et al.*, 2010). El atún en conserva es, de hecho, muy consumido a nivel mundial y asequible para la mayoría de las familias trabajadoras. Existen evidencias de contaminación por Hg y Cd en atún del Golfo Pérsico (Ganjavi, Ezzatpanah, Givianrad, & Shams, 2010), Granada, España (Olmedo, Hernández, Barbier, Ayouni, & Gil, 2013) y del Océano Atlántico e Índico (Chen *et al.*, 2018). En Ecuador se ha registrado contaminación por Cd en atún de Manta, en la provincia de Manabí (Araujo *et al.*, 2016).

La evaluación del contenido de metales pesados en peces es primordial por sus efectos sobre la salud humana. Según Senior, Cornejo-Rodríguez, Tobar, Ramírez-Muñoz, & Márquez (2016), la información sobre el contenido de metales en peces de elevado consumo en el Ecuador es insuficiente y señalan que esta información es importante para la toma de decisiones para la protección de los consumidores y la inocuidad alimentaria. Es por ello que el objetivo del presente trabajo fue detectar la presencia de Cd en muestras de atún enlatado y fresco, de consumo nacional y de exportación, para compararlo con los límites máximos permisibles según las normas ecuatorianas NTE INEN 183 y 184 y las del Reglamento de la Unión Europea (UE) No 488/2014. El estudio examinó los niveles de Cd del atún fresco y enlatado para consumo humano en Guayaquil y en el Puerto Pesquero Santa Rosa (PPSR) y su área de influencia. Los presentes resultados sirven para concientizar a la ciudadanía sobre el cuidado del ambiente y de los alimentos que se consumen en los hogares ecuatorianos.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. Área de estudio

Las muestras de atún fresco se colectaron en el PPSR en la provincia de Santa Elena, Ecuador (2°12'39.95"S y 80°56'53.98"O), principal puerto que abastece de productos marinos a los habitantes de Guayaquil, y en el Mercado Municipal "Caraguay" en la ciudad de Guayaquil, Ecuador (2°13'35.44"S y 79°53'14.18"O). Por otro lado, el atún enlatado se obtuvo de manera aleatoria de diferentes marcas nacionales y de exportación, en diferentes supermercados de la ciudad de Guayaquil. Las especies de atún fresco que se recolectaron fueron *Thunnus albacares* (Bonnaterre, 1788) y *Katsuwonus pelamis* (Linnaeus, 1758).

### 2.2. Muestreo

Se recolectaron 12 muestras de músculo de atún fresco en el PPSR en la provincia de Santa Elena y 12 en el Mercado Municipal "Caraguay" en la ciudad de Guayaquil, así mismo se tomaron 6 muestras de atún enlatado de diferentes marcas en varios supermercados de distintos sectores de la ciudad de Guayaquil y 6 de atún enlatado para exportación.

### 2.3. Análisis de laboratorio

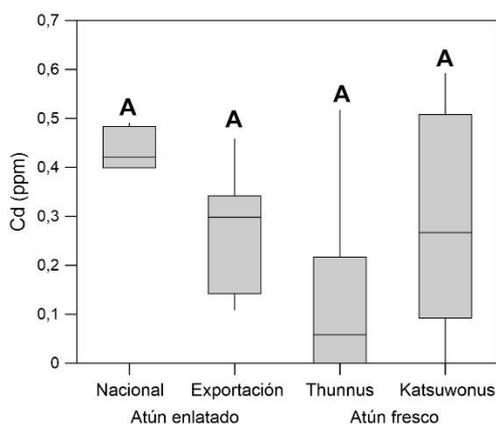
Una vez recolectadas las muestras se procedió a su traslado al laboratorio en fundas herméticas a 4°C. Una vez en el laboratorio, las muestras del tejido muscular fueron pesadas en una balanza Sartorius (modelo BL210S). Posteriormente, un gramo de atún fue digerido utilizando HNO<sub>3</sub> (Merck) al 60% y calentadas a 60°C en una plancha de calentamiento, filtradas con papel Whatman N°40 y enrazadas a 50 mL en un balón aforado. Las muestras fueron analizadas en un Espectrofotómetro de absorción atómica de llama Perkin Elmer (modelo AAnalyst 100), usando la metodología interna del laboratorio del IIRN basada en metodología descrita en Standard Methods (2005). Para generar las curvas de calibración se utilizaron estándares comerciales de Cd (AccuStandar). Las muestras se leyeron a 228.8 nm para el Cd, con un límite de detección de 0.002 ppm. Todas las mediciones se realizaron por triplicado (n=3).

### 2.4. Análisis estadísticos

Se determinó la normalidad de los datos utilizando una prueba de Anderson-Darling y homocedasticidad mediante un test de Levene. Para comparar las medias de las concentraciones de Cd en atún nacional vs de exportación, y de atún enlatado vs fresco, se aplicó un ANOVA de una vía, tomando p<0.05 como valor significativo y un test a posteriori de Tukey. Para determinar la existencia de relaciones entre las variables peso y talla con las concentraciones de Cd en los atunes, se realizó un análisis de correlación de Pearson. Las pruebas estadísticas se realizaron utilizando el programa MINITAB versión 17.0.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De las 36 muestras de atún estudiadas el 66% superó los límites máximos permisibles según las normas NTE INEN 183, 184 y el Reglamento de la Unión Europea (UE) 488/2014, cuyo límite máximo permitido es de 0.10 ppm Cd. Los resultados indican que el contenido de cadmio en atún supera el límite máximo permisible de 2 a 5 veces, considerando el rango de concentraciones de 0.2 a 0.5 ppm Cd. Comparativamente, no existen diferencias estadísticamente significativas entre la concentración de Cd en tejidos de atún enlatado de consumo nacional y de exportación ( $F=2.64$ ;  $p=0.077$ ). De igual forma, no existen diferencias entre la concentración de este metal pesado en atún enlatado o fresco (Fig. 1 y Tabla 1). Por otro lado, existe una leve tendencia hacia una mayor acumulación de Cd en atún de consumo nacional ( $0.441 \pm 0.046$  ppm Cd) en comparación con el atún de exportación ( $0.297 \pm 0.109$  ppm Cd); sin embargo, las diferencias no fueron estadísticamente significativas ( $p > 0.05$ ). Por otro lado, las concentraciones en atún fresco de la especie *Katsuwonus pelamis* ( $0.385 \pm 0.174$  ppm Cd) parecieran ser mayores a las de la especie *Thunnus albacares* ( $0.295 \pm 0.187$  ppm Cd) pero tampoco existen diferencias significativas ( $p > 0.05$ ).



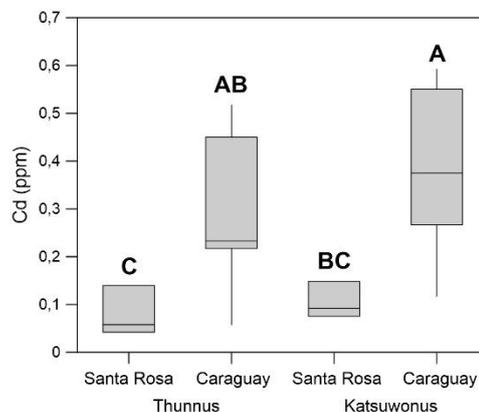
**Figura 1.** Comparación entre las concentraciones de Cd (ppm) en tejido de atún en las muestras obtenidas de enlatado y pescado fresco. Letras iguales señalan que no hay diferencias estadísticamente significativas entre las medias, según ANOVA de 1-vía ( $p < 0.05$ ) y test de Tukey.

**Tabla 1.** Contenidos de Cd en atún enlatado destinado por el mercado nacional e internacional.

Cd (ppm)	Muestras enlatadas	
	Mercado nacional	Exportación
Media	0.441	0.297
DS	0.046	0.109
Mín.	0.399	0.142
Máx.	0.491	0.458

En cuanto al sitio de expendio en el cual fueron obtenidas las muestras de atún fresco, sí existen diferencias en las concentraciones de Cd, sin importar la especie ( $F=13.57$ ;

$p=0.000$ ), siendo el Mercado de Caraguay el que presenta los mayores valores de Cd para ambas especies (Fig. 2 y Tabla 2). Según los resultados obtenidos, la concentración de Cd no depende de la especie, sino del lugar donde fueron capturados. Los atunes de la especie *Thunnus albacares* del PPSR presentaron un valor promedio  $0.030 \pm 0.050$  ppm Cd, sin embargo, se detectaron valores mínimos de 0.000 ppm Cd y máximos de 0.140 ppm Cd.



**Figura 2.** Comparación entre las concentraciones de Cd (ppm) en tejido de atún *Thunnus albacares* (Thunnus) y *Katsuwonus pelamis* (Katsuwonus) obtenido de los mercados Santa Rosa y Caraguay. Letras iguales señalan que no hay diferencias estadísticamente significativas entre las medias, según ANOVA de 1-vía ( $p < 0.05$ ) y test de Tukey.

Así mismo, en las muestras de la especie *Katsuwonus pelamis* se observó un promedio de  $0.079 \pm 0.061$  ppm Cd, con una alta desviación estándar debido a que el Cd no fue detectable en 2 muestras con valores mínimos de 0.000 ppm Cd y máximo de 0.148 ppm Cd. Por otro lado, las muestras de las especies expandidas en el mercado Caraguay presentaron valores mucho mayores. Los atunes de la especie *Thunnus albacares* tenían niveles de Cd de  $0.295 \pm 0.187$  ppm Cd, con un valor mínimo de 0.058 y máximo de 0.517 ppm Cd (Tabla 2). Por otro lado, la especie *Katsuwonus pelamis* registró un valor promedio de  $0.385 \pm 0.174$  ppm Cd, con un valor mínimos de 0.2677 y máximo de 0.592 ppm Cd.

Las diferencias existentes en las concentraciones de Cd en el atún procedente del PPSR y del mercado Caraguay podría ser la procedencia de los peces. Al PPSR solo llegan los atunes capturados en las zonas aledañas al puerto mientras que el mercado Caraguay recibe las especies capturadas en la zona norte de la provincia de Guayas, de General Villamil y los puertos de la zona sur de la provincia de Manabí. Es conocido que la provincia de Guayas presenta contaminación por Cd en sus ríos, los cuales desembocan en el Golfo de Guayaquil, además de la contribución de contaminación del Estero Salado, proveniente de descargas industriales y domésticas (Pernía *et al.*, 2018; Mero *et al.*, 2019).

Los resultados del presente trabajo fueron mayores a los hallados en un estudio realizado por el Instituto Nacional de Pesca durante el período enero 2006 y julio 2009, quienes registraron en atún concentraciones de 0.10 a 0.26 ppm Cd (Moncayo *et al.*, 2010). Este incremento en la concentración del metal pesado podría indicar que existe un mayor índice de contaminación en el sistema marino.

**Tabla 2.** Contenidos de Cd, talla y peso de atún fresco (*Thunnus albacares* y *Katsuwonus pelamis*) expendidos en los mercados Caraguay y Santa Rosa (PPRS).

Mercado	<i>Thunnus albacares</i>			<i>Katsuwonus pelamis</i>		
	Talla (cm)	Peso (lbs)	Cd (ppm)	Talla (cm)	Peso (lbs)	Cd (ppm)
Caraguay	70.200	20.460	0.295	54.714	5.400	0.385
Media	31.068	24.264	0.187	6.467	1.168	0.174
DS	38.000	2.800	0.058	44.500	4.000	0.117
Mín.	120.000	63.000	0.517	62.000	7.000	0.592
Máx.						

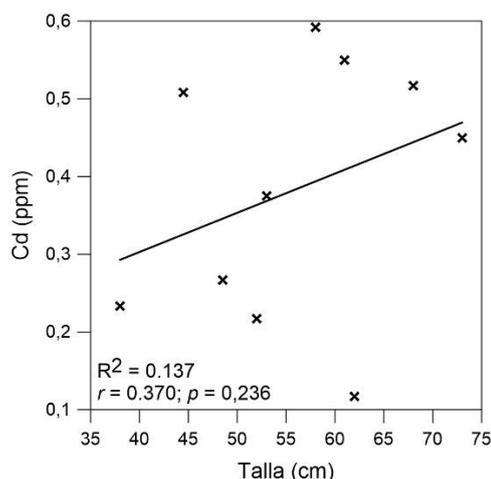
  

Mercado	<i>Thunnus albacares</i>			<i>Katsuwonus pelamis</i>		
	Talla (cm)	Peso (lbs)	Cd (ppm)	Talla (cm)	Peso (lbs)	Cd (ppm)
Santa Rosa	116.811	69.56	0.030	56.250	5.500	0.079
Media	46.90	41.12	0.050	7.089	0.891	0.061
DS	34.50	2.50	0.000	50.000	4.500	0.000
Mín.	146.00	100.00	0.140	65.000	6.300	0.148
Máx.						

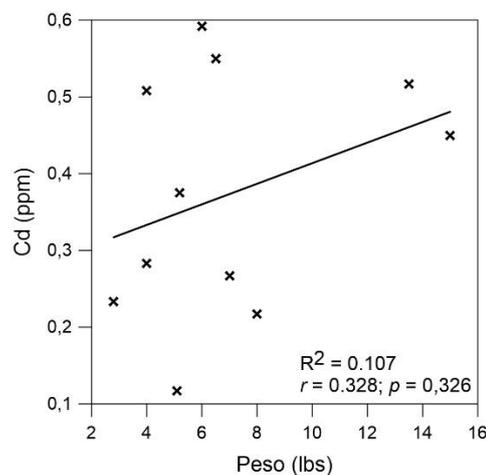
Los presentes resultados muestran valores de Cd inferiores a los mencionados en otras zonas de Ecuador como Manta, donde Araujo & Cedeño-Macías (2016) detectaron 2.4 ppm en tejido muscular. Similarmente, los resultados fueron inferiores a los registrados en otras zonas tales como Golfo Pérsico 0.062 ppm Cd (Ganjavi *et al.*, 2010), Egipto 0.043 ppm Cd (Hussein & Khaled, 2014), Océano Atlántico 0.15 ppm, Océano Índigo 0.22 ppm (Chen *et al.*, 2018) y Libia 0.32 ppm Cd (Voegborlo & El-Methnani, 1999). Además, el análisis de correlación lineal y de Pearson mostró que no existe correlación entre la concentración de Cd y la talla ( $R^2=0.137$ ;  $r=0.370$ ;  $p=0.263$ ) o peso ( $R^2=0.107$ ;  $r=0.328$ ;  $p=0.326$ ) de los peces (Figs. 3 y 4). Contrario a estos resultados, en la literatura se discute sobre la biomagnificación de los metales pesados y se asume que a mayor tamaño de un depredador mayor será su contenido de metales pesados. En el presente trabajo no se observó correlación entre el tamaño del animal y la concentración de Cd. Los ejemplares de menor tamaño de las especies *Katsuwonus pelamis* y *Thunnus albacares*, por ser individuos pequeños y al encontrarse desarrollando su ciclo de vida a pocos metros, o kilómetros, de la orilla del mar –que es la zona de pesca artesanal, tienden a acumular mayor cantidad de cadmio en el tejido muscular. Esto podría deberse a la contaminación existente en las ciudades cercanas y que llega desde los ríos con descargas y sedimentos; por otra parte, mediante los vientos, la atmósfera que transporta las cenizas volcánicas emanadas en la cordillera andina, las mismas caen en los océanos, contaminando el sistema marino.

En los individuos de mayor peso y talla, de la especie *Thunnus albacares*, no se logró detectar niveles de cadmio visibles a través de la lectura del espectrofotómetro de absorción atómica. Creemos que esto debe al efecto de dilución de la contaminación en los océanos, los individuos de mayor tamaño prefieren mantenerse en aguas profundas a diferencia de las especies de menor tamaño que están más cerca de la orilla. Así mismo, es necesario mencionar que estas especies, por ser de sangre fría, realizan un proceso de detoxificación por un mecanismo celular que involucra un sistema de transporte de membrana el cual internaliza al metal pesado, presente en el entorno celular, con gasto de energía. Este consumo energético se genera a través del sistema  $H^+$ -ATPasa. Una vez que el metal pesado es incorporado al citoplasma, éste

es secuestrado por la presencia de proteínas ricas en grupos sulfhidrilos, llamadas metalotioneínas, o también puede



**Figura 3.** Análisis de correlación lineal entre la concentración de Cd en el atún del mercado de Caraguay (*Thunnus albacares* y *Kwatsuvonus pelamis*) y la talla del pez.  $R^2$  representa la correlación lineal y  $r$  el valor de la prueba de Pearson.



**Figura 4.** Análisis de correlación lineal entre la concentración de Cd en el atún del mercado de Caraguay

(*Thunnus albacares* y *Kwatsuvonus pelamis*) y el peso de los peces.  $R^2$  representa la correlación lineal y  $r$  el valor de la prueba de Pearson.

ser compartimentalizado para posteriormente ser expulsado por la orina.

La presencia de valores, por encima del límite permisible, de contenido de Cd, nos manifiesta cómo perturban los contaminantes al ecosistema marino y a sus organismos acuáticos. Por lo expuesto, las entidades gubernamentales involucradas deberían realizar monitoreos periódicos en muestras de atún para evitar que la población se contamine con Cd. En la costa ecuatoriana, el origen de la contaminación por Cd es principalmente de tipo geogénico, por la meteorización de la roca parental procedente de la Cordillera de los Andes y por aporte atmosférico (Poza, Sanfeliu, & Carrera, 2011; Senior *et al.*, 2016). También se debe a la actividad antropogénica, entre estos: por acumulación de residuos industriales, actividad minera, quema de basura y residuos agrícolas, explotación de petróleo, uso indiscriminado de insumos químicos en la agricultura, vertidos de aguas domésticas e industriales sin tratamiento en la zona costera y a la escorrentía proveniente de las zonas de cultivos (Senior *et al.*, 2016). Sumado a ello, en zonas aledañas a los ríos que desembocan en la costa ecuatoriana se ha registrado la presencia de fábricas de plástico, pintura, baterías y metalmecánicas, reportadas como potenciales fuentes antropogénicas de Cd (Pernía, Mero, Cornejo, Ramírez, & Ramírez, 2018).

En base a los presentes resultados, son necesarios estudios actualizados sobre la presencia de metales pesados en la costa ecuatoriana. Más información sobre este tema permitirá dilucidar, por ejemplo, el comportamiento de los metales que están siendo biomagnificados en la cadena trófica. A nivel nacional, es escaso el conocimiento de esta problemática, generada por el vertido de cadmio y otros metales, en cuerpos de agua que tienen impacto sobre el recurso pesquero, el deterioro de los ecosistemas y la salud humana.

#### 4. CONCLUSIONES

Se comprobó la hipótesis de que existe contaminación por cadmio en atún fresco y enlatado para consumo humano comercializado en la ciudad de Guayaquil y el Puerto Pesquero Santa Rosa. El 66% de las muestras analizadas de atún superaron límites permisibles establecidos en las Normas INEN y en el Reglamento 488/2014 de la Unión Europea. No se observaron diferencias significativas entre los niveles de Cd en el atún enlatado y el atún fresco, ni entre las especies *Katsuwonus pelamis* y *Thunnus albacares*, lo que implica que el consumidor de atún está expuesto a ingerir este metal pesado a través del consumo de atún, independientemente de su presentación. Sin embargo, la procedencia del atún sí influye sobre las concentraciones del metal pesado, siendo mayores las concentraciones en peces provenientes del mercado Caraguay. Se efectuó un análisis comparativo de los resultados de las muestras de atún fresco y enlatado con estudios similares realizados en el Instituto Nacional de Pesca, demostrando que en el presente estudio realizado existe un incremento en la contaminación de Cd.

#### REFERENCIAS

- Araújo, C., & Cedeño-Macias, L. (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.
- Bonnaterre, P.-J. (1788). *Tableau encyclopédique et méthodique des trois regnes de la nature*. Paris. Recuperado de <https://www.biodiversitylibrary.org/item/44034>
- Burger, J. (2008). Assessment and management of risk to wildlife from cadmium. *Science of the Total Environment*, 389, 37-45.
- Chen, C. Y., Chen, Y. T., Chen, K. S., Hsu, C. C., Liu, L. L., Chen, H. S., Chen, M. H. (2018). Arsenic and five metal concentrations in the muscle tissue of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the Atlantic and Indian Oceans. *Marine Pollution Bulletin*, 129(1), 186-193.
- Clemens, S., Aarts, M. G. M., Thomine, S., & Verbruggen, N. (2013). Plant science: The key to preventing slow cadmium poisoning. *Trends in Plant Science*, 18(2), 92-99. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2012.08.003>
- Cope, G. W., Leidy, R. B., & Hodgson, E. (2004). *Classes of Toxicants: Use Classes (Chapt. 5)*. In: Hodgson, E. (Ed.). *A textbook of modern toxicology*. Hoboken, NJ: Wiley Interscience.
- FAO (1989). *Nutrición y alimentación de peces y camarones cultivados manual de capacitación 1. Nutrientes esenciales*. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/field/003/ab492s/ab492s04.htm>
- Ganjavi, M., Ezzatpanah, H., Givianrad, M., & Shams, A. (2010). Effect of canned tuna fish processing steps on lead and cadmium contents of Iranian tuna fish. *Food Chemistry*, 118(3), 525-528.
- Hussein, A., Khaled, A. (2014). Determination of metals in tuna species and bivalves from Alexandria, Egypt. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, 40(1), 9-17.
- Kojadinovic, J., Potier, M., Le Corre, M., Cosson, R. P., & Bustamante, P. (2007). Bioaccumulation of trace elements in pelagic fish from the Western Indian Ocean. *Environmental Pollution*, 146(2), 548-566.
- Linnaeus, C. (1758). *Systema naturae per regna tria naturae: secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis*. (10a ed., Vol. 1). Holmiae: Impensis Direct. Laurentii Salvii. Recuperado de <https://www.biodiversitylibrary.org/item/10277>
- Mero, M., Pernía, B., Ramírez-Prado, N., Bravo, K., Ramírez, L., Larreta, E. & Egas, F. (2019) Concentración de cadmio en agua, sedimentos, *Eichhornia crassipes* y *Pomacea canaliculata* en el río Guayas y sus afluentes. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35(4) (aceptado).
- Moncayo, D., Trejos, R., Maridueña, A., & Castro, A. (2010). Niveles de mercurio, cadmio y plomo en productos pesqueros de exportación. *Revista Ciencias del Mar y Limnología*, 4(1).

- Norma NTE INEN 0184. (1990). *Conservas envasadas de atún*. Disponible en [https://archive.org/stream/ec.nte.0184.1990/ec.nte.0184.1990\\_djvu.txt](https://archive.org/stream/ec.nte.0184.1990/ec.nte.0184.1990_djvu.txt)
- Olmedo, P., Hernández, A., Barbier, F., Ayouni, L., & Gil, F. (2013). Determination of toxic elements (mercury, cadmium, lead, tin and arsenic) in fish and shellfish samples. Risk assessment for the consumers. *Environment International*, 59, 63-72.
- OMS. (2010). *Hay que adoptar medidas sobre productos químicos que plantean un importante problema de salud pública*. Disponible en <http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/food-safety>
- Pernía, B., De Sousa, A., Reyes, R., Castrillo, M. (2008). Biomarkers of cadmium pollution in plants. *Interciencia*, 33(2), 112-119.
- Pernía, B., Mero, M., Cornejo, X., Ramírez, N., Ramírez, L. (2018). Determinación de cadmio y plomo en agua, sedimento y organismos bioindicadores en el Estero Salado, Ecuador. *Enfoque UTE*, 9(2), 89-105.
- Pozo, W., Sanfeliu, T., & Carrera, G. (2011). Metales pesados en humedales de arroz en la cuenca baja del río Guayas. *MASKANA*, 2(1), 17-30.
- Reglamento (UE) No 488/2014. (2014). *La Comisión UE de 12 de mayo de 2014 que modifica el Reglamento (CE) no 1881/2006 por lo que respecta al contenido máximo de cadmio en los productos alimenticios*. Disponible en <https://www.boe.es/doue/2014/138/L00075-00079.pdf>
- Senior, W., Cornejo-Rodríguez, M., Tobar, J., Ramírez-Muñoz, M., & Márquez, A. (2016). Metales pesados (cadmio, plomo, mercurio) y arsénico en pescados congelados de elevado consumo en el Ecuador. *Zootecnia Tropical*, 34(2), 143-153.
- Storelli, M. M., Barone, G., Cuttone, G., Giungato, D., & Garofalo, R. (2010). Occurrence of toxic metals (Hg, Cd and Pb) in fresh and canned tuna: Public health implications. *Food and Chemical Toxicology*, 48(11), 3167-3170.
- Suhaimi, F., Wong, S. P., Lee, V. L. L., & Low, L. K. (2005). Heavy metals in fish and shellfish found in local wet markets. *Journal of Primary Industries*, 32, 1-18.
- Voegborlo, R., & El-Methnani, A. (1999). Mercury, cadmium and lead content of canned tuna fish. *Food Chemistry*, 67(4), 341-345.