

# Niveles de mercurio, cadmio, plomo y arsénico en peces del río Tumbes y riesgos para salud humana por su consumo

Mercury, cadmium, lead and arsenic levels in fish species from the Tumbes River and human health risks for consumption

Diego Espinoza Ortiz<sup>1</sup>, Sandra Falero Alama<sup>2</sup>

RECIBIDO: 20/10/2015 - APROBADO: 22/12/2015

## RESUMEN

Siete especies comúnmente consumidas de peces (periche, dica, mojarra, chalaco, camotillo, lisa y sábalo) fueron colectadas del río Tumbes durante un año. Cantidades de mercurio, cadmio, plomo y arsénico fueron determinados en tejido muscular, usando absorción atómica: vapor hidruro y llama. Los resultados obtenidos se compararon con los contenidos máximos permisibles (CMP) y los estándares a utilizar corresponden a arsénico, cadmio, mercurio y plomo, según la Unión Europea (2006) y Canadá (2009); además, en la determinación de los parámetros de riesgo para salud pública, se utilizó el valor de EWI (ingesta semanal promedio).

Se determinó que el contenido promedio de Hg y As es inferior al CMP correspondiente, por lo cual se puede afirmar que sí cumple con dicho parámetro de calidad. Sin embargo, el contenido de Pb y Cd superó el parámetro de calidad CMP, no cumpliendo con dicho parámetro. Los resultados de concentración de Hg por especie fue el siguiente: periche > dica > camotillo > mojarra > chalaco > lisa > sábalo; en Cd fue: periche > chalaco > camotillo > mojarra > sábalo > dica > lisa; en plomo: lisa > camotillo > mojarra > sábalo > periche > chalaco > dica; y para arsénico fue sábalo > lisa > mojarra > chalaco > dica > camotillo > periche. Según el EWI (ingesta semanal promedio), se utilizaron las especies: lisa, mojarra, chalaco y sábalo, que son especies más representativas por su taxonomía y ecología; estando los altos valores de Pb y Cd principalmente en la lisa. Este estudio también revela la extrema importancia de realizar estudios de especiación de los metales en la ictiofauna y consumo humano.

**Palabras clave:** Río Tumbes, metales pesados, arsénico, bioacumulación en tejido muscular de peces, riesgos por el consumo humano.

## ABSTRACT

Seven species of fish commonly consumed (periche, dica, mojarra, chalaco, camotillo, lisa and sábalo) Tumbes River were collected for one year. Amounts of mercury, cadmium, lead and arsenic were determined in muscle tissue using atomic absorption: Flame and Hydride Vapor. The results were compared with the maximum permissible levels (CMP) and the standards to be used correspond to arsenic, cadmium, mercury and lead as the European Union (2006) and Canada (2009); also determining the risk parameters for public health was used EWI value (average weekly intake).

It was determined that the average content of Hg and As is lower than the corresponding CMP, so we can say that does meet said quality parameter. However, the content of Pb and Cd exceeded the quality parameter CMP, failing in that parameter. The results of mercury concentration by species was: periche > indicates > camotillo > mojarra > chalaco > lisa > sábalo, cadmium by species was: periche > chalaco > camotillo > mojarra > sábalo > dica > lisa, lead: lisa > camotillo > mojarra > sábalo > periche > chalaco > dica and arsenic was sábalo > lisa > mojarra > chalaco > dica > camotillo > periche. According to the EWI (average

1 Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú; e-mail: despinozao@unmsm.edu.pe

2 Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú; e-mail: sandra.falero@unmsm.edu.pe

weekly intake), the species was used: smoothfish, chalaco, mojarra and shad which are most representative species taxonomy and ecology; being the high values of Pb and Cd mainly smoothfish. This study also reveals the extreme importance of speciation studies of metals in fish fauna and human consumption.

**Key words:** Tumbes River, Heavy metals, arsenic, Bioaccumulation in fish muscles and Risks for human consumption.

## I. INTRODUCCIÓN

Los recursos hidrobiológicos son considerados importantes fuentes de proteínas de alta calidad, minerales y ácidos grasos poliinsaturados (Kris-Etherton et al., 2003; Guérin et al., 2011). En Perú, la tasa de consumo de pescado en los últimos años es aproximadamente 22.5 kg por habitante al año, siendo mayor que la tasa recomendada por la FAO (12 kg/habitante/año) y una de las mayores en el continente americano.

A pesar de sus beneficios, el consumo de pescado proveniente de zonas impactadas por actividad industrial puede representar un riesgo para la salud humana, debido a que los peces pueden acumular contaminantes del ambiente acuático en sus tejidos y amplificarlos según el nivel de la cadena trófica (Matta et al., 1999; Tuzen, 2003; Türkmen et al., 2009). Por otra parte, el metabolismo de los peces puede ser perjudicado por estos contaminantes como metales traza y metaloides (Morgano et al., 2011; Vieira et al., 2011; Medeiros et al., 2012). Por lo tanto, el presente trabajo tiene como finalidad evaluar la acumulación de metales contaminantes en peces, en relación con la calidad para el consumo humano según parámetros, además de evaluar el riesgo para la salud pública por el consumo. Para ello, se procura determinar los niveles de estos metales en tejido muscular de peces capturados en un ambiente impactado como el río Tumbes.

## II. METODOLOGÍA

### 2.1. Colecta y caracterización de la muestra

Se recolectó la cantidad necesaria de ejemplares, los cuales pertenecieron a siete especies: lisa (*Mugil cephalus*), camotillo (*Gobiomorus maculatus*), mojarra (*Andinoacara rivulatus*), sábalo (*Brycon*), periche (*Gerres cinereus*), chalaco (*Dormitor latifrons*) y dica (*Pseudocurimata*); las cuales fueron capturadas en la parte baja del río Tumbes, desde la zona de Rica Playa hasta poco antes de su desembocadura en el océano Pacífico, en el periodo entre

2010 y 2011. Para la captura de los especímenes se utilizaron artes de pescas selectivas, como anzuelos y redes de chinchorro. La caracterización biométrica y procesos de laboratorio fueron realizados acorde con la guía de la Usepa N° 823-B-00-007 (Usepa, 2000) y el reglamento N° 333/2007 (Unión Europea, 2007). Las muestras compuestas fueron congeladas en contenedores de policarbonato a -20°C y llevadas al laboratorio para el análisis químico.

Con la muestra compuesta se necesitó como mínimo doscientos gramos (200 g) de tejido muscular. La captura es por especie; fueron cuidadosamente eviscerados y fileteados y solo el tejido comestible fue preservado. Se empaquetaron en bolsas herméticas que son rotuladas con datos relevantes para realizar la cadena de custodia.

La guía N° 823-B-00-007 (Usepa, 2000) recomienda utilizar contenedores adicionales y tiempo de almacenamiento de las muestras compuestas (Tabla 1). Como referencia se utilizaron las metodologías de la Usepa para el tratamiento de muestra para este tipo de monitoreo.

### 2.2. Análisis cuantitativo

Para determinar la concentración de metales pesados en las muestras, fracciones de la muestra compuesta ( $1.5 \pm 0.1$  g) fueron secadas en un microondas. Las muestras fueron analizadas en un laboratorio certificado. Se tomó una alícuota de 10 mL de ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>, 65% v/v) que fue adicionada a las fracciones de 0.5 g (peso seco) de muestra, para luego digerir la muestra durante 35 min a 185 °C. Después de la digestión y enfriamiento, las muestras fueron transferidas a tubos de polipropileno de 15 mL y almacenadas a -20 °C.

Las muestras fueron analizadas por los siguientes métodos para ensayos de absorción atómica en la Tabla 2, que tuvieron sus respectivos límites de detección (L.D.). Los metales analizados son considerados entre los elementos traza más tóxicos presentes en los cuerpos de agua en todo el mundo (Vieira et al., 2010).

Tabla N° 1. Almacenamiento de muestras compuestas.

Elemento	Tipo de muestra	Contenedor	Almacenamiento	
			Preservación	Durabilidad
Mercurio	Filetes homogeneizado	Borosilicato. Cuarzo. Teflón.	Congelado -20°C	28 días
Metales				6 meses
Hidrocarburos				1 año

Fuente: USEPA, 2000

Tabla N° 2. Métodos de análisis y límite de detección.

N°	Parámetro	Método de análisis	Límite de Detección
1	Arsénico (EAS-GH59).	Absorción atómica: Vapor hidruro.	0.01 mg/kg.
2	Cadmio (ECD-AAS5).	Absorción atómica: Llama.	0.05 mg/kg.
3	Mercurio (EHG-VF84).	Absorción atómica: Vapor frío.	0.002 mg/kg.
4	Plomo (EPB-AAS5).	Absorción atómica: Llama.	0.3 mg/kg.

Fuente: USEPA, 1997.

### 2.3. Verificación de cumplimiento del estándar de calidad para consumo humano

Se realizaron comparaciones de los resultados obtenidos con los estándares de calidad (contenidos máximos permisibles, CMP) para el consumo para todas las especies evaluadas en las estaciones. Los estándares a utilizar corresponden a arsénico, cadmio, mercurio y plomo, cuyos valores se detallan en la Tabla N° 3. Los estándares de la Unión Europea (2006) están codificados con las siglas EUR y los de Canadá (2009) están codificados con las siglas CAN.

**Tabla N° 3.** Contenidos máximos permisibles de metales en tejido muscular de peces para consumo.

Elemento	EUR	CAN
Arsénico	--	3.5 mg/kg
Cadmio	0.05 mg/kg	--
Mercurio	0.5 mg/kg	--
Plomo	0.3 mg/kg	--

### 2.4. Estimación del riesgo para la salud pública

La metodología para estimación de riesgo por efectos carcinogénicos y no-carcinogénicos fue aplicada de acuerdo a lo indicado por la Usepa (Usepa, 2010). Se establecieron ocho categorías de grupos etarios (Minsa, 2014) para la estimación de riesgos a la salud, denominados niños 1-4 años (14 kg), niños 5-9 años (32 kg), niños 10-14 años (51 kg), adolescentes 15-19 años (67 kg), adultos 20-44 años (72 kg), adultos 45-49 años (77 kg), adultos 50-64 años (77 kg) y adultos mayores >65 años (72 kg). Las velocidades de dosificación fueron calculadas considerando los respectivos valores de duración de la exposición y pesos corporales.

El riesgo no-carcinogénico de cada contaminante por consumo de pescado fue evaluado mediante el parámetro denominado cociente de riesgo (Target Hazard Quotient, THQ) (Usepa, 1989). El parámetro THQ es la relación entre la exposición (cantidad del contaminante en periodo de tiempo determinado) potencial a una sustancia y la exposición teórica en la cual no se esperan efectos adversos. En ese sentido, valores superiores a la unidad (THQ > 1) puede indicar que efectos adversos no-carcinogénicos pueden esperarse por exposición al contaminante, mas no determina si ocurrirán. Altos valores de THQ significan una mayor probabilidad de experimentar efectos no-carcinogénicos a largo plazo. Se puede unificar el cociente de riesgo por los cuatro elementos (As, Hg, Cd, Pb) mediante la suma aritmética (Total THQ, TTHQ) para cada especie y grupo etario.

Por otro lado, para efectos carcinogénicos se considera el parámetro denominado riesgo carcinogénico (Target Carcinogenic Risk, TR). Este parámetro estima la probabilidad incremental de un individuo para desarrollar cáncer durante su tiempo de vida, como resultado de exposición a un carcinógeno potencial (Usepa, 1989). El cálculo de este parámetro es similar al de THQ, además de considerar un factor de corrección (CsFo). El nivel aceptable de

nivel de riesgo según el parámetro TR debe encontrarse  $10^{-4}$  y  $10^{-6}$ , reflejando el riesgo de desarrollar cáncer durante la vida un humano en 1/10000 y 1/1000000, respectivamente. Cabe resaltar que en general no se ha realizado cálculos considerando la tasa de ingesta por cada especie y la frecuencia real de exposición para diferentes grupos etarios, por lo que los resultados correspondientes para THQ y TR son referenciales en los escenarios más agresivos.

Los cálculos de los parámetros THQ y TR fueron realizados utilizando las siguientes ecuaciones, respectivamente:

$$THQ = \frac{EFr \times ED \times IR \times C}{RfD \times BW \times AT} \quad TR = \frac{EFr \times ED \times IR \times C \times CsFo}{BW \times AT}$$

Donde:

EFr: Frecuencia de exposición (Exposure frequency).

ED: Duración de exposición (Exposure duration) en años.

IR: Tasa de ingestión (Ingestion rate); en Perú 7.14 x 10<sup>-3</sup> kg/día.

C: Concentración (mg/kg).

RfD: Dosis de referencia; valor estimado de exposición diaria oral con la cual no hay propensión de un riesgo apreciable de sufrir efectos deletéreos durante el tiempo de vida (incluyendo a grupos sensibles).

BW: Peso corporal (kg).

AT: Tiempo promedio de exposición (350 días x años).

CsFo: Factor carcinogénico por vía oral; es un valor estimado que permite calcular el riesgo carcinógeno por la exposición a sustancias carcinogénicas o potencialmente carcinogénicas.

## III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cantidad de metales pesados y arsénico (As) en tejido muscular.

Contenido de metales y metaloides en especies de peces.

Se presenta el resumen de los resultados de la evaluación en la Tabla N° 4, verificándose que el orden de magnitud de los resultados de concentración de mercurio por especie fue el siguiente: periche > dica > camotillo > mojarra > chalaco > lisa > sábalo.

Asimismo, el orden de magnitud que describe los resultados de concentración de cadmio por especie fue el siguiente: periche > chalaco > camotillo > mojarra > sábalo > dica > lisa.

Para el plomo, el orden de magnitud que describe los resultados de concentración por especie fue el siguiente: lisa > camotillo > mojarra > sábalo > periche > chalaco > dica.

Por su parte, el orden de magnitud que describe los resultados de concentración de arsénico por especie fue el siguiente: sábalo > lisa > mojarra > chalaco > dica > camotillo > periche.

Tabla N° 4. Contenido y estadísticos descriptivos del Hg, Cd, Pb y As en tejidos comestibles de siete especies de peces del río Tumbes

Especies	Media + Desv. Est.	Rango	Mediana	Rango intercuartílico	CMP
<b>Hg</b>					
Lisa	0,0144 ± 0,0041	0,0100-0,0240	0,0140	0,0120-0,0150	Cumple
Mojarra	0,0311 ± 0,0161	0,0060-0,0800	0,0300	0,0070-0,0500	Cumple
Dica	0,0696 ± 0,0236	0,0150-0,1370	0,0570	0,0380-0,1010	Cumple
Sábalo	0,0120 ± 0,0026	0,0070-0,0580	0,0120	0,0090-0,0350	Cumple
Camotillo	0,0684 ± 0,0254	0,0360-0,1080	0,0590	0,0525-0,0855	Cumple
Periche	0,1107 ± 0,0121	0,0970-0,1200	0,1150	0,1060-0,1175	Cumple
Chalaco	0,0150 ± 0,0057	0,0080-0,0220	0,0150	0,0090-0,0210	Cumple
<b>Cd</b>					
Lisa	0,0681 ± 0,0200	0,0500-0,1200	0,0650	0,0600-0,0975	No cumple
Mojarra	0,0842 ± 0,0487	0,0500-0,2200	0,0700	0,0500-0,1000	No cumple
Dica	0,0770 ± 0,0357	0,0500-0,4700	0,0650	0,0500-0,1050	No cumple
Sábalo	0,0842 ± 0,0347	0,0500-0,1800	0,0650	0,0500-0,0975	No cumple
Camotillo	0,1200 ± 0,0390	0,0500-0,2700	0,0600	0,0550-0,1100	No cumple
Periche	0,2367 ± 0,0972	0,0500-0,4100	0,1500	0,0875-0,2525	No cumple
Chalaco	0,1200 ± 0,0624	0,0700-0,1900	0,1000	0,0850-0,1450	No cumple
<b>Pb</b>					
Lisa	0,6300 ± 0,2935	0,3000-1,7000	0,6000	0,4000-0,8000	No cumple
Mojarra	0,6058 ± 0,3798	0,3000-1,3000	0,7000	0,4000-0,9000	No cumple
Dica	0,5100 ± 0,2283	0,3000-0,9000	0,4500	0,3250-0,5750	No cumple
Sábalo	0,6000 ± 0,2608	0,3000-1,1000	0,7000	0,3500-0,7500	No cumple
Camotillo	0,6125 ± 0,4016	0,3000-1,4000	0,4500	0,3000-0,7750	No cumple
Periche	0,5875 ± 0,3314	0,3000-1,3000	0,5000	0,3750-0,6500	No cumple
Chalaco	0,5400 ± 0,0548	0,3000-0,6000	0,5000	0,4000-0,6000	No cumple
<b>As</b>					
Lisa	0,0414 ± 0,0253	0,0100-0,2300	0,0450	0,0100-0,0825	Cumple
Mojarra	0,0300 ± 0,0180	0,0100-0,0500	0,0200	0,0100-0,0400	Cumple
Dica	0,0200 ± 0,0091	0,0100-0,0300	0,0200	0,0150-0,0250	Cumple
Sábalo	0,0567 ± 0,0300	0,0100-0,0800	0,0800	0,0450-0,0800	Cumple
Camotillo	0,0200 ± 0,0090	0,0100-0,0600	0,0100	0,0100-0,0300	Cumple
Periche	0,0133 ± 0,0058	0,0100-0,0200	0,0100	0,0100-0,0150	Cumple
Chalaco	0,0300 ± 0,0150	0,0100-0,0600	0,0300	0,0200-0,0500	Cumple

Se determinó que el contenido promedio de Hg y As es inferior que el CMP correspondiente, por lo cual se puede afirmar que sí cumple con dicho parámetro de calidad. Sin embargo, el contenido de Pb y Cd superó el parámetro de calidad CMP, no cumpliendo con dicho parámetro.

### 3.1 Estimación potencial de riesgo para la salud pública

Para la determinación de los parámetros de riesgo para salud pública se utilizaron los resultados de cuatro de las especies evaluadas en el presente estudio. Las especies consideradas en los resultados fueron determinadas por ser la de mayor representatividad taxonómica y ecológica, mayor valor de EWI y preferencia demostrada por el mercado, tales como lisa, mojarra, chalaco y sábalo.

La ingesta semanal promedio (EWI) y valores de THQ fueron estimados considerando el consumo per cápita en el 2014 (Produce, 2014) y ocho categorías de grupos etarios según la Usepa (Usepa, 2008) y Minsa. Los resultados son presentados en la Tabla N° 5. En lo concerniente a la EWI, los mayores valores estuvieron relacionados con el Pb y Cd en el consumo de lisa principalmente.

Con respecto a THQ, los valores de Cd y Pb fueron superiores a 01 para todas las especies, especialmente en gru-

pos etarios de niños y adolescentes. En el grupo etario de los niños y adolescentes, los valores de THQ para todos los metales es por encima de la unidad, por lo que se da el escenario de riesgo de tener efectos adversos para todos los metales evaluados en el presente estudio.

Los riesgos carcinogénicos derivados de la ingesta de As y Pb fueron también calculados debido a que estos elementos pueden ocasionar tanto efectos no carcinogénicos y carcinogénicos, dependiendo de la dosis de exposición. El arsénico inorgánico es clasificado como carcinogénico (Usepa Group A) y el Pb como probable carcinógeno, basado en estudios en animales (Usepa Group B2). Aunque el metilmercurio y Cd son categorizados en el grupo C de la Usepa (posiblemente carcinogénicos a humanos debido a evidencia en animales y escasa o nula data en humanos), su TR no fue estimada porque el parámetro requerido para el cálculo "Ingestion Slope Factors" (CSFo; específico para cada químico) no están establecidos para estos elementos (Usepa, 2010). Los resultados son listados en la Tabla N° 5. Estos resultados indican que los valores de TR son claramente mayores para As inorgánico ( $4.77 \times 10^{-4} - 1.90 \times 10^{-5}$ ) que para Pb ( $4.73 \times 10^{-6} - 3.03 \times 10^{-7}$ ).

Tabla N° 5. Ingesta semanal promedio (EWI; ug/kg, peso corporal), cociente de riesgo (THQ) y riesgo carcinogénico (TR)

Grupo etáreo	EWI				THQ				TR		
	Hg	Cd	Pb	As	Hg	Cd	Pb	As	Total	As	Pb
<i>Lisa (Mugil cephalus)</i>											
Niños 1–4 años	0,516	2,43	22,5	2,32	0,235	3,33	7,70	10,6	21,9	4,77 x 10 <sup>-04</sup>	3,74 x 10 <sup>-07</sup>
Niños 5–9 años	0,226	1,06	9,84	1,01	0,103	8,82	3,37	4,64	16,9	2,09 x 10 <sup>-04</sup>	8,18 x 10 <sup>-07</sup>
Niños 10–14 años	0,142	0,667	6,17	0,637	0,065	5,53	2,11	2,91	10,6	1,31 x 10 <sup>-04</sup>	1,03 x 10 <sup>-06</sup>
Adolescentes 15–19 años	0,108	0,508	4,70	0,485	0,049	4,21	1,61	2,21	8,09	9,96 x 10 <sup>-05</sup>	1,17 x 10 <sup>-06</sup>
Adultos 20–44 años	0,100	0,473	4,37	0,451	0,046	3,92	1,50	2,06	7,52	9,27 x 10 <sup>-05</sup>	1,45 x 10 <sup>-06</sup>
Adultos 45–49 años	0,094	0,442	4,09	0,422	0,043	3,67	1,40	1,93	7,04	8,67 x 10 <sup>-05</sup>	3,06 x 10 <sup>-06</sup>
Adultos 50–64 años	0,094	0,442	4,09	0,422	0,043	3,67	1,40	1,93	7,04	8,67 x 10 <sup>-05</sup>	3,40 x 10 <sup>-06</sup>
Adultos mayores > 65 años	0,100	0,473	4,37	0,451	0,046	3,92	1,50	2,06	7,52	9,27 x 10 <sup>-05</sup>	4,73 x 10 <sup>-06</sup>
<i>Mojarra (Andinoacara rivulatus)</i>											
Niños 1–4 años	1,11	3,00	21,6	1,07	0,508	4,12	7,41	4,89	16,9	2,20 x 10 <sup>-04</sup>	3,60 x 10 <sup>-07</sup>
Niños 5–9 años	0,486	1,31	9,46	0,469	0,222	1,80	4,85	2,14	9,01	9,63 x 10 <sup>-05</sup>	7,87 x 10 <sup>-07</sup>
Niños 10–14 años	0,305	0,825	5,94	0,294	0,139	1,13	3,04	1,34	5,65	6,04 x 10 <sup>-05</sup>	9,86 x 10 <sup>-07</sup>
Adolescentes 15–19 años	0,232	0,628	4,52	0,224	0,106	0,860	2,31	1,02	4,30	4,60 x 10 <sup>-05</sup>	1,13 x 10 <sup>-06</sup>
Adultos 20–44 años	0,216	0,584	4,20	0,208	0,099	0,800	2,15	0,95	4,00	4,28 x 10 <sup>-05</sup>	1,40 x 10 <sup>-06</sup>
Adultos 45–49 años	0,202	0,546	3,93	0,195	0,092	0,748	2,01	0,89	3,74	4,00 x 10 <sup>-05</sup>	2,94 x 10 <sup>-06</sup>
Adultos 50–64 años	0,202	0,546	3,93	0,195	0,092	0,748	2,01	0,89	3,74	4,00 x 10 <sup>-05</sup>	3,27 x 10 <sup>-06</sup>
Adultos mayores > 65 años	0,216	0,584	4,20	0,208	0,099	0,800	2,15	0,95	4,00	4,28 x 10 <sup>-05</sup>	4,55 x 10 <sup>-06</sup>
<i>Sábalo (Brycon)</i>											
Niños 1–4 años	0,428	3,00	21,4	1,48	0,196	4,12	7,34	6,75	18,40	3,04 x 10 <sup>-04</sup>	3,56 x 10 <sup>-07</sup>
Niños 5–9 años	0,187	1,31	9,37	0,647	0,086	1,80	3,21	2,95	8,05	1,33 x 10 <sup>-04</sup>	7,79 x 10 <sup>-07</sup>
Niños 10–14 años	0,118	0,825	5,88	0,406	0,054	1,13	2,01	1,85	5,05	8,34 x 10 <sup>-05</sup>	9,78 x 10 <sup>-07</sup>
Adolescentes 15–19 años	0,090	0,628	4,48	0,309	0,041	0,860	1,53	1,41	3,84	6,35 x 10 <sup>-05</sup>	1,12 x 10 <sup>-06</sup>
Adultos 20–44 años	0,083	0,584	4,16	0,288	0,038	0,800	1,43	1,31	3,58	5,91 x 10 <sup>-05</sup>	1,39 x 10 <sup>-06</sup>
Adultos 45–49 años	0,078	0,546	3,89	0,269	0,036	0,748	1,33	1,23	3,35	5,52 x 10 <sup>-05</sup>	2,92 x 10 <sup>-06</sup>
Adultos 50–64 años	0,078	0,546	3,89	0,269	0,036	0,748	1,33	1,23	3,35	5,52 x 10 <sup>-05</sup>	3,24 x 10 <sup>-06</sup>
Adultos mayores > 65 años	0,083	0,584	4,16	0,288	0,038	0,800	1,43	1,31	3,58	5,91 x 10 <sup>-05</sup>	4,50 x 10 <sup>-06</sup>
<i>Chalaco (Dormitator latifrons)</i>											
Niños 1–4 años	0,536	4,28	19,3	1,07	0,245	5,87	6,60	4,89	17,6	2,20 x 10 <sup>-04</sup>	3,21 x 10 <sup>-07</sup>
Niños 5–9 años	0,234	1,87	8,43	0,469	0,107	2,57	2,89	2,14	7,70	9,63 x 10 <sup>-05</sup>	7,01 x 10 <sup>-07</sup>
Niños 10–14 años	0,147	1,18	5,29	0,294	0,067	1,61	1,81	1,34	4,83	6,04 x 10 <sup>-05</sup>	8,80 x 10 <sup>-07</sup>
Adolescentes 15–19 años	0,112	0,895	4,03	0,224	0,051	1,23	1,38	1,02	3,68	4,60 x 10 <sup>-05</sup>	1,00 x 10 <sup>-06</sup>
Adultos 20–44 años	0,104	0,833	3,75	0,208	0,048	1,14	1,28	0,95	3,42	4,28 x 10 <sup>-05</sup>	1,25 x 10 <sup>-06</sup>
Adultos 45–49 años	0,097	0,779	3,50	0,195	0,044	1,07	1,20	0,89	3,20	4,00 x 10 <sup>-05</sup>	2,62 x 10 <sup>-06</sup>
Adultos 50–64 años	0,097	0,779	3,50	0,195	0,044	1,07	1,20	0,89	3,20	4,00 x 10 <sup>-05</sup>	2,92 x 10 <sup>-06</sup>
Adultos mayores > 65 años	0,104	0,833	3,75	0,208	0,048	1,14	1,28	0,95	3,42	4,28 x 10 <sup>-05</sup>	4,05 x 10 <sup>-06</sup>

El mercurio es uno de los metales pesados más tóxicos en el ambiente (Castro-González and Méndez-Armenta, 2008). La exposición a niveles altos de mercurio, en sus formas orgánicas, metálicas e inorgánicas, pueden dañar permanentemente el cerebro, los riñones y los fetos en desarrollo (ATSDR, 2003b).

El cadmio afecta negativamente a varios órganos: riñones, pulmones, huesos, placenta, cerebro y el sistema nervioso central (Castro-González and Méndez-Armenta,

2008). Otros daños observados incluyen toxicidad, así como efectos adversos en la reproducción, funciones hepáticas, hematológicas e inmunológicas (ATSDR, 2008). Varios estudios han demostrado que el cadmio se acumula preferencialmente en los órganos internos como el hígado y riñón, y no tanto en músculos, donde se han encontrado concentraciones menores en otros estudios (Castro-González and Méndez-Armenta, 2008; Storelli et al., 2005).

Ha sido aceptado que la ruta principal para la acumulación de metales en organismos marinos es por la dieta, especialmente en especies predatoras que se alimentan de otros peces, crustáceos y moluscos. Existe evidencia de bioacumulación de cadmio en organismos de aguas continentales. Por ejemplo, altos niveles de cadmio en especies marinas están asociados con una dieta donde predominan los moluscos (Storelli and Marcotrigiano, 2004a), pero la evidencia para biomagnificación en la cadena trófica es inconsistente (Castro-González and Méndez-Armenta, 2008; Falcó et al., 2006; Roméo et al., 1999; Storelli and Marcotrigiano, 2004a). Los resultados sugieren que la diferencia interespecífica del contenido de cadmio puede ser atribuida a la conducta alimentaria y a factores intrínsecos como las tasas de los procesos fisiológicos e ingesta (Storelli and Marcotrigiano, 2004a; Storelli et al., 2005).

Los niños son particularmente sensibles al plomo con efectos potenciales críticos en el sistema nervioso central (ATSDR, 2007; Castro-González and Méndez-Armenta, 2008). Las cantidades de plomo en aguas superficiales es alrededor de 0.3 lg/L (Castro-González and Méndez-Armenta, 2008).

Los efectos tóxicos del arsénico dependen particularmente en su estado de oxidación y especie química, entre otros factores. El arsénico inorgánico es considerado carcinogénico y afecta principalmente al pulmón, riñones, vejiga y piel (ATSDR, 2003a). Los organismos que se alimentan de crustáceos y algas parecen retener mayor concentración de arsénico que las especies (Storelli et al., 2005). Los niveles más altos de arsénico pueden ser encontrados en los tejidos musculares (Falcó et al., 2006; Visnjic-Jeftic et al., 2010).

A pesar de todo ello, el mercurio, el cadmio, el plomo y el arsénico son ubicuos en el ambiente global, a pesar de no conocerse si les corresponde un mecanismo de un ciclo regulación o depuración efectivo para ellos en el ambiente. Por su parte, el arsénico es el vigésimo elemento más abundante en la corteza terrestre y el cadmio es un metal relativamente raro en la misma (Castro-González and Méndez-Armenta, 2008). Los resultados en las especies evaluadas reflejan la influencia de las especies y también la variabilidad de la cantidad de metales originados de fuentes naturales o antrópicas en el río Tumbes. Adicionalmente, el arsénico y el cadmio tienen comportamientos de bioacumulación opuestos (Castro-González and Méndez-Armenta, 2008; Storelli et al., 2005).

En lo concerniente a la estimación del riesgo potencial para la salud pública, los valores calculados de THQ de cadmio y plomo son de preocupación (THQ >1. Ver Tabla N 5) para todas las categorías de edad, pero principalmente para los niños (1-4, 5-9 y 10-14 años) y adolescentes (15-19 años).

Para carcinógenos, la EPA considera que estableciendo un valor de TR menor que  $10^{-6}$  para sustancias individuales y sus vías de procesamiento, se estaría garantizando un parámetro confiable que indique un riesgo insignificante para desarrollar cáncer. Sin embargo, la advertencia podría ser para cuando los valores del TR superen  $10^{-4}$  (Usepa, 2010), ya que superando este valor podría darse el riesgo de generarse efectos adversos a la salud. Para

todas las especies seleccionadas para dicho análisis, los valores del TR fueron mayores de  $10^{-4}$  para el caso del arsénico inorgánico, especialmente para los niños (1-4 y 5-9 años), por lo que corresponde señalar que dicho grupo etéreo estaría más vulnerable a sufrir efectos adversos por un consumo de las especies evaluadas.

#### IV. CONCLUSIONES

Aunque la contaminación está ampliamente dispersa, esta varía considerablemente según la ubicación geográfica. Este estudio llena un vacío respecto a la información del contenido de Hg, Cd, Pb y As en el tejido muscular de tres especies comúnmente consumidas en la región Tumbes. Basado en las muestras colectadas, se verificó que los factores como la especie de peces y la talla influyen en la actividad metabólica de un espécimen, revelando diferentes patrones de bioacumulación, con resultados relevantes para Pb y As.

En términos de sanidad de los alimentos, el tejido muscular de las especies presentaron contenido por debajo de los límites legales establecidos por la Unión Europea para mercurio, cadmio y plomo, y el país de Canadá para arsénico.

Además, se determinó que existe un riesgo de que los niños entre 01 y 09 años de edad puedan manifestar efectos adversos a la salud por el consumo de las especies de peces descritas en el presente estudio, mostrando una mayor vulnerabilidad al arsénico inorgánico presente en el tejido muscular de dichas especies.

Este estudio también revela la extrema importancia de realizar estudios de especiación de los metales y programas de vigilancia que sean importantes señales de alerta para la salud de la ictiofauna y consumo humano.

#### V. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la consultora ambiental Geolab S.R.L., por el financiamiento para la realización del proyecto.

#### VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Castro-González MI, Méndez-Armenta M. Heavy (2008). Metals: Implications associated to fish consumption. *Environmental Toxicology and Pharmacology*; 26(3): 263-271.
2. Guérin RC, Vastel C, Sirot V, Volatier J, Leblanc J, Noël L. Determination of 20 trace elements in fish and other seafood from the French market Thierry. *Food Chemistry* 2011; 127: 934-942.
3. Kris-Etherton PM, Harris WS, Appel LJ. Fish consumption, fish oil, omega-3 fatty acids, and cardiovascular disease. *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology* 2003; 23: 20-30.
4. Medeiros RJ, dos Santos LMG, Freire AS. Determination of inorganic trace elements in edible marine fish from Rio de Janeiro State, Brazil. *Food Control* 2012; 23(2): 535-541.

5. Morgano MA, Rabonato LC, Milani RF, Miyagusku L, Balian SC. Assessment of trace elements in fish of Japanese foods marketed in São Paulo (Brazil). *Food Control* 2011; 22: 778-785.
6. Unión Europea. Reglamento (CE) N° 1881/2006 de 19 de diciembre de 2006 por el que se fija el contenido máximo de determinados contaminantes en los productos alimenticios. *Diario Oficial de la Unión Europea*, 19 de diciembre 2006.
7. United States Environmental Protection Agency (Usepa). *Recommended Guidelines for Measuring Metals in Puget Sound Marine Water, Sediment, and Tissue Samples*. Washington, DC: Office of Science and Technology, Washington. United States Environmental Protection Agency, 1997.
8. United States Environmental Protection Agency (Usepa). *Guidance for Assessing Chemical Contaminant Data for Use in Fish Advisories. Volume 1. Fish Sampling and Analysis. EPA 823-B-00-007. Tercera edición*. Washington, DC: Office of Science and Technology, Washington. United States Environmental Protection Agency, 2000.
9. Vieira, CS., Morais, J (2011). Mercury, cadmium, lead and arsenic levels in three pelagic fish species from the Atlantic Ocean: Intra- and inter-specific variability and human health risks for consumption. *Food and Chemical Toxicology*; 49(4): 923-93.

