

## Concentración de Metales Pesados en Bivalvos *Anadara tuberculosa* y *A. similis* del Estero Huaylá, Provincia de El Oro, Ecuador

Johnny Tobar<sup>1</sup>, Mery Ramírez-Muñoz<sup>2</sup>, Ivis Fermin<sup>3</sup> y William Senior<sup>2,3y4\*</sup>

Universidad Técnica de Machala, Unidad Académica Química, Bioquímica Farmacéutica, Universidad Técnica de Machala. Km.5 1/2 Vía Machala Pasaje, Machala, Provincia de El Oro, Ecuador. Esta publicación forma parte de la Tesis de Licenciatura de Johnny Tobar.

[ofring.tidlos@gmail.com](mailto:ofring.tidlos@gmail.com)

Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE), Facultad de Ciencias del Mar, Avda. principal La Libertad- Santa Elena, Ecuador: [quimicaramirez2761@gmail.com](mailto:quimicaramirez2761@gmail.com)

Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre, Cerro Colorado, Departamento de Oceanografía, Av. Universidad. Cumaná, Sucre, Venezuela.

[ivismarina@gmail.com](mailto:ivismarina@gmail.com)

Universidad Técnica de Machala. Unidad Académica Agricultura, Escuela de Acuicultura, Universidad Técnica de Machala. Km.5 1/2 Vía Machala Pasaje, Machala, Provincia de El Oro, Ecuador: \*

[senior.william@gmail.com](mailto:senior.william@gmail.com)

### Resumen

Se determinan las concentraciones de metales pesados en los moluscos bivalvos *Anadara similis* y *A. tuberculosa*. Los ejemplares fueron recolectados a 2 km de la desembocadura del Estero Huaylá, Provincia El Oro, Ecuador, en noviembre 2013. En el laboratorio se les determinaron la longitud y peso para cada una de las especies, estableciéndose dos intervalos de tallas para *A. similis* y cuatro para *A. tuberculosa*. La carne de los organismos fue extraída, lavada y secada en un horno a 60 °C durante 72 h, para posteriormente digerirla con una mezcla de HNO<sub>3</sub> y HClO<sub>4</sub> en proporción 3:1. Las concentraciones de 4 metales: plomo, arsénico, mercurio y cadmio, fueron determinadas mediante espectrofotometría de absorción atómica. Los valores promedio obtenidos en *A. similis* (mg/kg), fueron: Pb (8,51 ± 0,34); As (1,42 ± 0,06); Hg (618,7 ± 355,32); Cd (1,21 ± 0,23) mg/kg; mientras que para *A. tuberculosa* fueron: Pb (7,52 ± 0,46); As (1,55 ± 0,14); Hg (364,38 ± 91,39); Cd (1,68 ± 0,28) mg/kg. Las concentraciones registradas de Pb, As, Cd y Hg en ambas especies de moluscos superan los límites máximos permisibles por las Normas Internacionales. Las tallas más pequeñas (3-4 cm) de *A. tuberculosa* posee la capacidad de bioacumular mayor cantidad de Pb, Hg y Cd, mientras *A. similis* mostró su mayor concentración de Pb en su talla más pequeña (4-5 cm).

**Palabras clave:** Metales pesados; Bioindicadores; Contaminación; *Anadara* sp; Ecuador.

Recibido: 18-09-2016 Aceptado: 25-09-2017

## Heavy metals concentration in the bivalves *Anadara tuberculosa* and *A. similis* from estuary Huaylá, El Oro province, Ecuador.

### Abstract

The concentrations of heavy metals in the bivalve molluscs *Anadara similis* and *A. tuberculosa* are determined. The specimens were collected at 2 km from the mouth of Estero Huaylá, El Oro Province, Ecuador, in November 2013. The length and weight of each species were determined in the laboratory, with two length ranges being established for *A. similis* and four for *A. tuberculosa*. The meat of the organisms was extracted, washed and dried in an oven at 60 °C for 72 h, then digested with a mixture of HNO<sub>3</sub> and HClO<sub>4</sub> in a 3: 1 ratio. The concentrations of 4 metals: lead, arsenic, mercury and cadmium were determined by atomic absorption spectrophotometry. The mean values obtained in *A. similis* (mg / kg) were: Pb (8.51 ± 0.34); As (1.42 ± 0.06); Hg (618.7 ± 355.32); Cd (1.21 ± 0.23) mg / kg; While for *A. tuberculosa*: Pb (7.52 ± 0.46); As (1.55 ± 0.14); Hg (364.38 ± 91.39); Cd (1.68 ± 0.28) mg / kg. The recorded concentrations of Pb, As, Cd and Hg in both species of molluscs exceed the maximum limits allowed by the International Standards. The smaller sizes (3-4 cm) of *A. tuberculosa* have the capacity to bioaccumulate more Pb, Hg and Cd, while *A. similis* showed its highest concentration of Pb in its smallest size (4-5 cm).

**Key words:** Heavy metals; Bioindicators; Pollution; *Anadara* sp; Ecuador.

### Introducción

Ante el crecimiento de la población y la generación de mayor cantidad de desechos, el ser humano ha tratado de eliminar estos contaminantes, pero sus esfuerzos no han sido suficientes. Esto ha provocado muy a menudo la transformación de los cursos fluviales en depósitos de residuos, ocasionando perturbación en el equilibrio natural y en muchos casos una ruptura del mismo (Rovira 1993). Entre estos contaminantes se tiene precursores químicos, vertimiento de aguas servidas, compuestos relacionados con actividades industriales, mineras, pesticidas, aceites, grasas y metales pesados (Rovira 1993, Kiely 1999, Márquez et al. 2008, Mero 2010).

El estero Huaylá, cerca de Puerto Bolívar, Ecuador, está siendo deteriorado por la continua contaminación que sufre. Las familias que habitan en las orillas del río descargan las aguas servidas al estero, sin previamente haber realizado algún tipo de tratamiento a las mismas. A este problema se suman las aguas provenientes de granjas porcinas y camaroneras, sin que exista una reparación ambiental. Igualmente, el estero recibe la totalidad de las aguas residuales de la población ubicada al sur de la ciudad de Machala, sin tratamiento alguno, así como las aguas de lluvias provenientes de esa misma zona.

Los muelles arrojan cantidad indiscriminada de desechos sólidos de toda clase al agua. El extremo norte del estero por encontrarse cercano a una de las avenidas principales de la ciudad de Machala (Avenida Circunvalación Sur), a la altura del Barrio 8 de noviembre, se localizan varias lavadoras de vehículos, las mismas que drenan tuberías que desembocan en el estero.

El caso del estero Huaylá es el más preocupante para la provincia porque la contaminación va acabando con los recursos marinos, tal es así que la pesca se ha vuelto incipiente en el canal de Jambelí y adicionalmente pone en riesgo el recurso turístico más importante de El Oro como es Puerto Bolívar y la isla de Jambelí.

Moreno (2003) expresa que uno de los contaminantes de mayor riesgo para la salud humana son los metales pesados que se encuentran en el medio ambiente en forma de trazas, pero que también ingresan al medio por causa del hombre. La más mínima concentración de estos elementos es perjudicial para la salud humana y son muy conocidos ejemplos de derrames de estos metales, provenientes de la actividad minera, que han dañado extensas zonas agrícolas y alcanzado localidades enteras, produciendo la muerte de personas indefensas o desarrollando enfermedades letales como el cáncer.

Las concentraciones excesivas de metales pesados en cursos fluviales afectan a los organismos acuáticos de diferentes maneras, desde la disminución de su metabolismo y crecimiento, hasta la muerte, ya que las elevadas concentraciones pueden causar asfixia debido a la coagulación de las mucosidades sobre las branquias en el caso de los peces. (Villanueva et al. 1988, Castañé et al. 2003, Argota et al. 2012).

Al encontrarse en contacto con el sedimento, los moluscos bivalvos son utilizados como organismos centinelas, biomonitores para realizar estudios de seguimiento de metales pesados y otros tipos de contaminantes. El proceso de filtración favorece la bioacumulación de metales en sus tejidos, lo cual sirve para determinar el estado actual del medio en el que habitan (Baqueiro-Cárdenas et al. 2011, Zambrano et al. 2012).

Las especies *Anadara tuberculosa* y *Anadara similis*, conocidas como Concha Prieta y Concha Macho en Ecuador, y en otros países son conocidas como Pian-gua, son moluscos bivalvos que se encuentran en el ecosistema de manglar. En las desembocaduras de los esteros son especies abundantes, debido a que en esta parte el terreno es más suave (Silva y Bonilla 2001, Lucero et al. 2012, Cruz et al. 2012, Cano-Otalvaro et al. 2012). Estas especies son un recurso importante para las comunidades costeras desde tiempos ancestrales, quienes colectan los individuos del sedimento que rodea a las raíces de los mangles (Cano-Otalvaro et al. 2012, Lucero et al. 2012). La captura de la *Anadara* en el Ecuador representa una actividad importante por parte de personas de muy bajos recursos y es consumida abundantemente por la población.

En el 2012 se realizaron varios estudios sobre determinación e incidencia de metales pesados en la zona costera de la provincia de El Oro donde se ha podido determinar que los niveles de concentración de estos metales pesados, se encuentran en niveles superiores a los permisibles según las Normas Mexicana y de la Unión Europea.

En este mismo estero se realizó un estudio sobre análisis de la materia orgánica y la saprobidad utilizando como bioindicador el plancton (Espinosa 2012.), en el que se concluyó que la materia orgánica se encuentra por encima del límite de 6 gr/l y la DBO<sub>5</sub> dio como resultado una contaminación de 10.7 g/l.

Alvarado (2012) determinó As, Hg, Pb y Cd en muestras de agua, sedimentos y moluscos bivalvos de la Familia Arcidae donde señala contaminación en el estero Huaylá que sobrepasan significativamente los límites máximos permisibles establecidos por la Normativa ecuatoriana en los tres tipos de muestra (TULSMA 2013).

En el presente estudio nos propusimos evaluar la concentración de metales pesados (Pb, As, Hg y Cd) en dos especies del género *Anadara* (*Anadara tuberculosa* y *Anadara similis*) (Mollusca: Bivalvia) del Estero Huaylá de Puerto Bolívar, por espectrofotometría de absorción atómica. Los resultados obtenidos se comparan con los Límites Máximos establecidos por diversas Normativas sobre el contenido de metales para el consumo humano.

## Materiales y Métodos

### Área de estudio

El área de estudio se ubica en la costa ecuatoriana, en la Provincia de El Oro, al Sur de la ciudad de Machala. El Estero Huaylá, está ubicado al suroeste del Cantón Machala de la Provincia de El Oro, (03°16'03"S - 79°59'39"W / N 96°38'60"O E 61°09'39"). Tiene una extensión aproximada de 4,24 km, con un ancho que fluctúa entre un mínimo de 50 m y un máximo de 94 m; cuenta con una profundidad promedio de 10 m hasta la altura del Yatch Club y decrece gradualmente hasta 5 m aguas arriba en marea alta a la altura del Muelle Comunitario Huaylá.

En algunos sectores habitados de Puerto Bolívar no pasa el recolector de la basura y por ese motivo los habitantes arrojan al estero los desechos, envases plásticos de toda clase, pañales, bolsas plásticas, ropa, zapatos, restos de mallas, cordeles y otro tipo de desechos que representan toneladas de basura a lo largo de los casi 4 kilómetros de brazo de mar.

A lo largo del canal hay dos gasolineras y los envases de aceite de motor son lanzados al mar contribuyendo aún más a la contaminación y a que las especies marinas emigren a otro lugar. Hay otros focos de contaminación como los talleres de reparación de botes donde se encuentra toda clase de plásticos, mangueras, pedazos de fibra de vidrio, envases que con la marea van a dar al mar. Además

existen atracaderos sin higiene ambiental que reciben más de mil embarcaciones pesqueras cada día, que sirven para el embarque y desembarque de la pesca realizada por los pescadores, o la recolección de moluscos en los sectores aledaños.

Debido a la alta contaminación del estero y a la destrucción masiva del manglar, por la construcción de camarónicas, la zona de captura de la concha se encuentra limitada a una zona dónde se mantiene su explotación de alrededor de 300 m, a pesar de la prohibición para su consumo por los humanos.

### Selección de la muestra

Las especies de moluscos bivalvos que aún se encuentran en relativa abundancia en el estero Huaylá son las comúnmente llamada Concha prieta, negra (*Anadara tuberculosa*) y la concha Macho, mica (*Anadara similis*).

Se tomaron muestras de las conchas prietas (*A. tuberculosa*) y la concha Macho (*A. similis*) aproximadamente en la parte media del estero Huaylá, a unos 2 km de la desembocadura del estero Santa Rosa, en un solo punto que queda ubicado en las siguientes coordenadas S03°15'48.6" - W079°59'33.7".

Las muestras de los organismos se colectaron de manera manual, en un número total de 110 conchas. De la especie *A. tuberculosa* fueron recolectadas 70 unidades, y de la especie *A. similis* se recolectaron 40 unidades, con la ayuda de un experto en la recolección de conchas (conchero).

Una vez extraídas fueron lavadas con el agua del sector para quitar los restos de materia que pueda estar adherida a las valvas. Fueron colocadas en bolsas plásticas Ziploc, previamente lavadas con HNO<sub>3</sub> al 10%, para evitar la contaminación cruzada, las mismas estaban debidamente rotuladas. Posteriormente fueron trasladados en una hielera a 10 o 15°C hasta la Facultad de Ciencias Químicas y de la Salud de la Universidad Técnica de Machala. Luego se procedió a determinar las medidas de longitud y peso (Tablas 1 y 2).

**Tabla 1. Medidas de longitud y peso de *A. tuberculosa*.**

Tallas (cm)	Número Bivalvos (Unidades)	Peso Promedio	con Valvas (g)
3 – 3.9	10		12,56
4 – 4.9	35		25,71
5 – 5.9	20		39,46
6 – 6.9	5		85,45

Tabla 2. Medidas de longitud y peso de *A. Similis*.

Tallas (cm)	Número de Bivalvos (Unidades)	Peso Promedio con Valvas (gr)
4 – 4.9	23	18,34
5 – 5.9	17	27,1

### Preparación de las muestras

Se procedieron a lavar nuevamente las valvas, esta vez con agua bidestilada para retirar cualquier residuo adherido a las conchas. Las muestras frescas recolectadas se identificaron como *A. tuberculosa* (Sowerby, 1833) y *A. similis* (C.B. Adams, 1852), las mismas que fueron clasificadas por especies, y tallas (longitud de las valvas). Para evitar la contaminación durante la extracción de los tejidos y en el proceso analítico se utilizó material inoxidable, el mismo que fue empleado para la disección y extracción del tejido de las valvas. Se pesaron los tejidos blandos frescos extraídos y por medio de una licuadora se procedió a licuar el tejido para obtener una muestra completamente homogénea de cada talla. Una vez homogenizadas se colocaron en bolsas plásticas debidamente rotuladas, las mismas que fueron previamente lavadas con HNO<sub>3</sub> al 10%, para almacenar la muestra en congelación hasta el momento del tratamiento de las muestras.

### Tratamiento de la muestra para determinar los metales pesados

Para el análisis de Pb, As y Cd se utilizó el método empleado por Pérez *et al.* (2007), donde se pesaron 5 g de muestra de los tejidos blandos, y se llevaron a una estufa a 60°C durante 72 h o hasta alcanzar masa constante para eliminar toda la humedad, posteriormente fueron trituradas en un mortero de porcelana. A 0,5 g de tejido seco se le agregó una mezcla 3:1 de ácido nítrico y perclórico para extraer los contenidos totales de los metales trazas, colocado sobre una plancha de calefacción y baño de arena a 70°C durante 2 h; luego se dejó enfriar.

Posteriormente todas las muestras fueron filtradas en filtros de papel endurecidos sin cenizas, marca Whatman N° 542 de 11 cm de diámetro, con agua desionizada se llevaron a 25 ml en balones aforados. Se homogeneizaron, y posteriormente se trasladaron a un frasco de polietileno de 25 ml para su conservación y posterior análisis en el espectrofotómetro de absorción atómica por llama. Todo el material que se utilizó para trasladar, digerir o almacenar, estuvo previamente lavado con HNO<sub>3</sub> al 10%. Las concentraciones de los metales estudiados fueron determinados utilizando un espectrómetro de absorción atómica Perkin Elmer 3110, de doble haz y llama de aire, acetileno y corrector de fondo de deuterio, a las longitudes de onda específicas para cada metal.

El Hg y el As se determinaron utilizando el método Espectrometría de Absorción Atómica Vapor-Frío (CVAA - Cold Vapour Atomic Absorption Spectrometry), que consiste en reducir los compuestos de mercurio presentes en la muestra a metal libre y en una reducción del arsénico V a III. A 5 ml del filtrado obtenido de la digestión, se le agregaron 5 ml de ácido nítrico al 1,5%, en envases de reacción, estos fueron llevados a las celdas de lectura en el espectrómetro de absorción atómica, donde se les añadió un volumen de borohidruro de sodio al 3%, diluido en hidróxido de sodio al 1%. Para la determinación de las concentraciones de As se trataron 25 ml de la solución digestada con 5 ml de yoduro de potasio y se dejaron reposar durante 30 minutos para luego pasarlas por la cubeta de reacción y se determinaron por altura de pico, sin llama. Este método permite la medición de las concentraciones del metal a través del desprendimiento de vapor, manteniendo las celdas a temperatura ambiente (U. S. EPA 1999, Fermín 2002).

Se realizaron análisis por triplicado con un material de referencia certificado de pescado homogenizado (IAEA-407, Trace Elements and Methylmercury in Fish Tissue, International Atomic Energy Agency, Mónaco) con la finalidad de comprobar la eficiencia y precisión de la técnica empleada para la extracción de metales, en donde se compararon los resultados obtenidos con los presentados por la casa fabricante (Tabla 3).

Tabla 3. Comparación entre los resultados obtenidos con el estándar certificado en el presente estudio y los señalados por la casa fabricante.

Metal	Presente Estudio		Estándar		% Extracción
	Promedio	Rango	Promedio	Rango	
Pb	0,12(±0,01)	0,10 – 0,12	0,12	0,10 - 0,15	100
As	12,43(±0,08)	12,34 – 12,55	12,6	12,3 – 12,9	98,65
Hg	0,23 (±0,01)	0,22 – 0,25	0,22	0,22 – 0,29	104,55
Cd	0,14 (±0,01)	0,12 – 0,15	0,19	0,18 – 0,19	74,07

\*Todas las concentraciones se expresan en mg.kg<sup>1</sup>.

Se tomó una muestra de manera aleatoria a la que se le realizó la extracción total de los metales de manera triplicada para comprobar la eficiencia y precisión de la técnica de extracción de metales empleada en el presente estudio (Tabla 4).

Tabla 4. Resultado de los análisis de precisión realizados a una muestra por triplicado

Metal	Pb	As	Hg	Cd
M1	7,4	1,45	283,2	1,68
M2	7,0	1,44	286,8	1,70
M3	7,7	1,78	283,9	1,65
CV (%)	3,36	1,49	0,68	1,49

\*Todas las concentraciones se expresan en mg.kg<sup>-1</sup>

## Resultados y Discusión

Los resultados obtenidos indican el grado de extracción de metales usando el método de digestión propuesto en el presente estudio, los mismos muestran que la extracción osciló alrededor del 100%, excepto el cadmio que presentó un porcentaje bajo (74,07%), esto significa que el método analítico es aceptable (Tabla 4).

El coeficiente de variación experimental que presentó mayor porcentaje fue el plomo (3,36%). El resto de metales oscilan alrededor del 2 y 1%, por lo que puede afirmarse que el método utilizado en este estudio es eficiente y aceptable precisión.

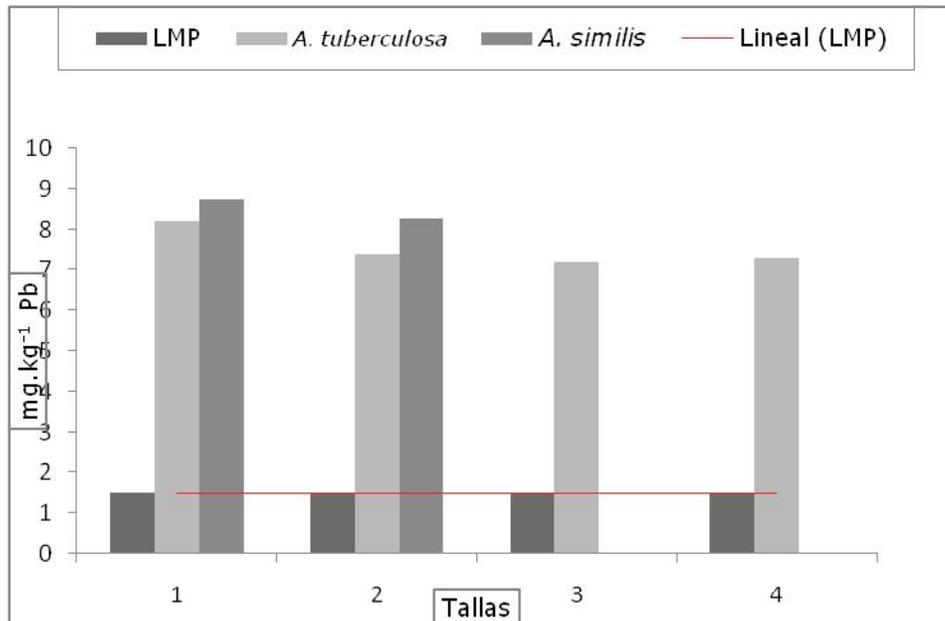
En la tabla 5 se presentan los resultados de las concentraciones obtenidas en el análisis de Pb, As, Hg, Cd en los moluscos bivalvos, *A. tuberculosa* (cuatro tallas) y *A. similis* (dos tallas), extraídos del estero Huaylá. Los resultados se expresan en mg/kg.

Tabla 5. Concentraciones de Pb, As, Hg y Cd en *A. similis* y *A. tuberculosa*, del estero Huaylá.

Especies	Medidas	Pb	As	Hg	Cd
		*	**	*	*
	LMP	1,5	1	0,5	1
		3-4			
	Talla 1	8,2	1,43	495	2,05
		4-5			
<i>A. tuberculosa</i>	Talla 2	7,4	1,45	285	1,68
	Talla 3	7,2	1,72	352,5	1,38
		6-1,3			
	Talla 4	7,3	1,59	325	1,6
<i>A. similis</i>	Talla 1	8,75	1,38	367,5	1,05
	Talla 2	8,28	1,46	870	1,38

Las medidas están expresadas en cm y las concentraciones en mg.kg<sup>-1</sup>  
\* Normas de la Unión Europea \*\* Legislación Australiana y Neozelandesa

el límite máximo permisible establecido por la Norma Europea (2014) de 1.5 mg/kg, la talla 1 excede 5,8 veces más, y la talla 2 se encuentra 5.5 por encima del límite establecido (Fig.1).



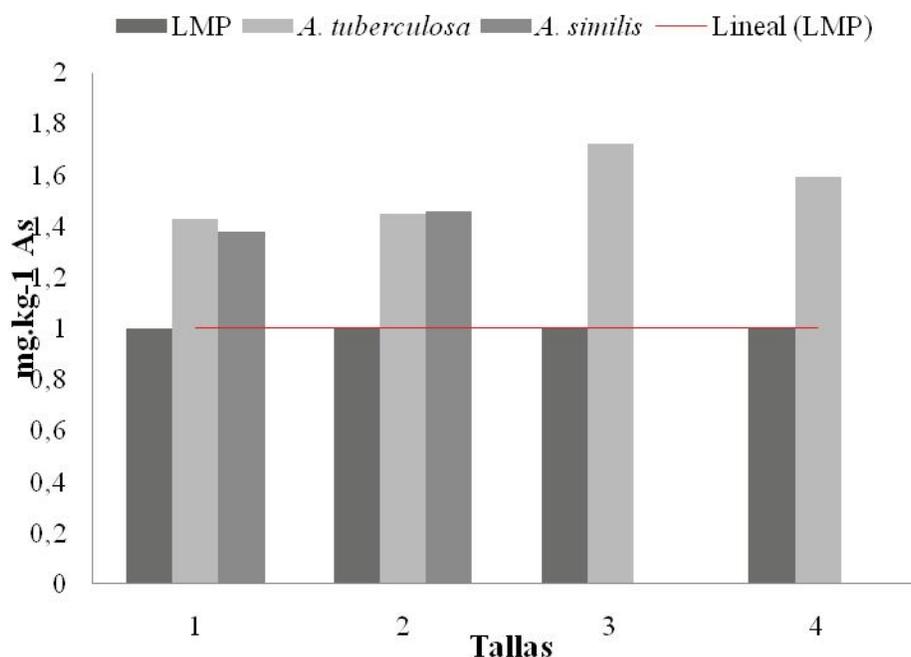
**Figura 1.** Concentración de Pb en cuatro tallas de *A. tuberculosa* y en dos tallas de *A. similis*. La línea roja vertical indica el valor máximo permitido para consumo humano.

La concentración promedio de Pb en los moluscos de la especie *A. tuberculosa* del estero Huaylá fue de 7,7 ( $\pm$  0,46) mg/kg, siendo 7,2 ( $\pm$  0,46) mg/kg el valor mínimo y 8,2 ( $\pm$  0,46) mg/kg el valor máximo, corresponde a la talla 3 y a la talla 1 respectivamente. Las cuatro tallas superan el límite máximo permisible establecido por la Norma de la Unión Europea (2014), la talla 3 se observa 4,8 veces más de concentración, la talla 2 y 4 se encuentra 4,9 veces más, y en la talla 1 presenta 5.5 veces por encima del límite establecido (Fig. 1).

Las concentraciones de Pb y la talla estuvieron relacionadas inversamente, el metal presentó mayor concentración en su talla más pequeña (4-5 cm), suscitándose el fenómeno conocido como "dilución biológica", en el que el crecimiento del tejido del bivalvo es más rápido que la incorporación del metal (Geffard et al. 2002), donde los moluscos más jóvenes retienen mayor cantidad de los metales (Toledo et al. 2000), mientras que los mayores (5-6 cm) al entrar en la fase de la maduración sexual (Lucero et al. 2012) liberan los metales.

En los moluscos de la especie *A. similis* el As se encuentra concentrado entre 1,38 y 1,46 ( $\pm$  0,06) mg/kg, el valor mínimo corresponde a la talla 1 y el valor máximo

a la talla 2, siendo su valor promedio  $1,42 (\pm 0,06)$  mg/kg. Los resultados obtenidos no muestran diferencias significativas entre las dos tallas, sus concentraciones fueron similares, mostrando una ligera acumulación de este metal. Las dos tallas superan el límite máximo permisible establecido por la Legislación Australiana y Neozelandesa (Food Standards Australia New Zealand (FSANZ) 2014) de 1 mg/kg, la talla 1 y 2 presentan una concentración de 1,4 veces superior al valor establecido por la Normativa Internacional para consumo humano (Fig. 2).



**Figura 2.** Concentración de As en cuatro tallas de *A. tuberculosa* y en dos tallas de *A. similis*. La línea roja vertical indica el valor máximo permitido para consumo humano.

La concentración promedio de As en los moluscos de la especie *A. tuberculosa* fue de  $1,55 (\pm 0,14)$  mg/kg, siendo el valor mínimo  $1,43 (\pm 0,06)$  mg/kg que corresponde a la talla 1 y el valor máximo  $1,72 (\pm 0,14)$  mg/kg a la talla 3. Las concentraciones de As en las 4 tallas de *A. similis* fueron relativamente similares mostrando bioacumulación, algo muy común debido a que el As experimenta bioconcentración en organismos acuáticos (Moreno 2003). Las 4 tallas superan el límite máximo permisible establecido por la Food Standards Australia New Zealand (FSANZ) 2014., de Metales Pesados destinados al consumo humano (1 mg/kg). En las tallas 1 y 2 se observa que se encuentran en una concentración 1,4 veces por encima del límite establecido, la talla 4 presenta una concentración superior de 1,6 y la talla 3 en 1,7 a la concentración máxima permitida (Fig.2).

Al comparar las concentraciones de As entre *A. tuberculosa* y *A. similis* se observa que son similares, ligeramente superior en *A. tuberculosa*, pudiendo ser utilizados como monitores de contaminación por As.

El Hg en los moluscos de la especie *A. similis* se encuentra concentrado entre 367,5 y 870 ( $\pm 355.32$ ) mg/kg, el valor mínimo corresponde a la talla 1 y el valor máximo a la talla 2, siendo su valor promedio 618,75 ( $\pm 355.32$ ) mg/kg. Las 2 tallas superan el límite máximo permisible establecido por la Norma Europea (2014) de 0.5 mg/kg, la talla 1 excede el límite máximo permisible en 765 veces, y la talla 2 en 1740 veces (Fig. 3).

La concentración promedio de Hg en los moluscos de la especie *A. tuberculosa* fue de 364,38 ( $\pm 91.39$ ) mg/kg, el valor mínimo de 285 ( $\pm 91.39$ ) mg/kg corresponde a la talla 2 y el valor máximo de 495 ( $\pm 91.39$ ) mg/kg<sup>1</sup> a la talla 1. Las 4 tallas superan significativamente el límite máximo permisible establecido por las Normas de la Unión Europea (2014). En la talla 2 se observa que el Hg se encuentra 570 veces más, en la talla 4 presenta 650 veces, en las tallas 3 y 1 se encuentra superando el LMP 750 y 990 veces respectivamente (Fig. 3).

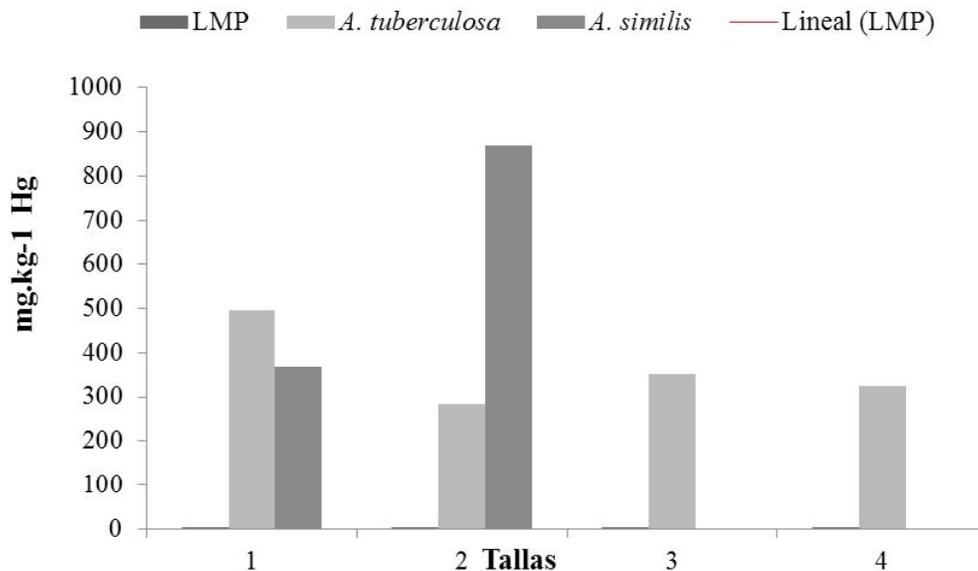
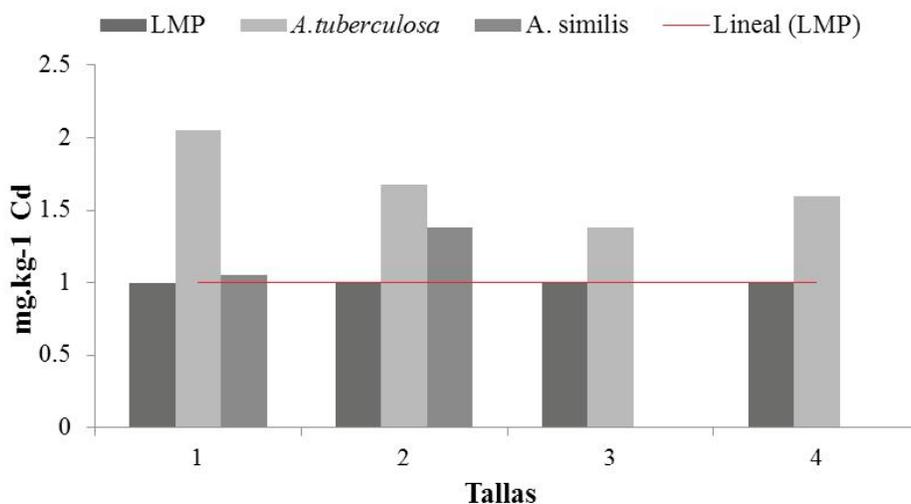


Figura 3. Concentración de Hg en cuatro tallas de *A. tuberculosa* y en dos tallas de *A. similis*. La línea roja vertical indica el valor máximo permitido para consumo humano.

La concentración promedio del Cd en los moluscos de la especie *A. similis* fue de  $1.21 (\pm 0.23)$  mg/kg, el valor mínimo  $1,05 (\pm 0.23)$  mg/kg corresponde a la talla 1 y el valor máximo  $1,38 (\pm 0.23)$  mg/kg corresponde a la talla 2. Las dos tallas superan ligeramente el límite máximo permisible establecido por las Normas de la Unión Europea (2014) de 1 mg/kg, la talla 1 excede el límite máximo permisible en 1,1 veces, y la talla 2 en 1,4 veces (Fig. 4).

En los moluscos de la especie *A. tuberculosa* el Cd se encuentra concentrado entre  $1,38 (\pm 0.28)$  y  $2,05 (\pm 0.28)$  mg/kg, el valor mínimo corresponde a la talla 3 y el valor máximo a la talla 1, siendo su valor promedio  $1,68 (\pm 0.28)$  mg/kg. Las cuatro tallas superaron ligeramente el límite máximo permisible establecido por las Normas de la Unión Europea (2014). En la talla 3 se observa que el Cd se encuentra 1,4 veces por encima del límite establecido, en las tallas 2 y 4 su concentración es de 1,7 y 1,6 superior, respectivamente, y en la talla 1 hay una variación significativa de 2,1 veces el máximo permitido para consumo humano (Fig. 4).



**Figura 4.** Concentración de Cd en cuatro tallas de *A. tuberculosa* y en dos tallas de *A. similis*. La línea roja vertical indica el valor máximo permitido para consume humano.

La relación entre la talla y la concentración de metales fue negativa para Pb en *A. similis*, y Pb, Hg y Cd en *A. tuberculosa*, esto quiere decir que los de menor tamaño acumularon mayor cantidad de metal.

El Pb tiene la capacidad de bioacumularse con facilidad en los tejidos de los organismos *A. tuberculosa* y *A. similis*. Alvarado (2012) reportó 23,8 mg/kg como un valor promedio de plomo en moluscos de la especie *A. tuberculosa* en el estero Huaylá, a la altura del Yatch Club, donde se encuentran atracadas muchas embarcaciones, por lo que sugieren una contaminación de los moluscos por este

metal. Por otro lado, Pardo (2012) determinó la contaminación por plomo del Sitio El Coco, donde las muestras de moluscos bivalvos *A. tuberculosa* presentaron un valor promedio de 21,46 mg/kg, las mismas que superan los límites permitidos para consumo humano.

Por su parte Mero et al. (2012) reportaron en su estudio de moluscos bivalvos de interés comercial de la especie *A. tuberculosa* un valor promedio de 3,37 mg/kg de Pb, donde sugieren que este tipo de especie es ideal para ser utilizado como indicador de contaminación, ya que poseen la capacidad de acumular este metal. Mero (2010) reportó en su estudio de 4 esteros del Golfo de Guayaquil en 2 especies de bivalvos, siendo el Estero Las Cruces donde se presentó el valor más elevado de Pb en *Ostrea columbiensis* 5,03 mg/kg, y en el Estero Chupadores Grande la *Mytella strigata* presentó un valor promedio de 1,98 mg/kg.

En el Estero Salado, en Guayaquil, Jiménez (2012) y Rodríguez (2013) a la altura del puente Portete, reportaron en *Crassostrea columbiensis* 0,71 mg/kg y en *Mytella guyanensis* 1,37 mg/kg, respectivamente, valores que se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles de la Unión Europea (2014), no así en los sedimentos que presentaron valores de 51,2 mg/kg y 6,44 mg/kg.

Estos resultados indican que existe un claro aporte antrópico de Pb hacia el estero, este podría estar relacionado al refinamiento de productos mineros o por la liberación al ambiente de efluentes industriales; así como, el manejo inadecuado de desechos metálicos contaminando otros compartimientos ambientales como agua superficial, agua subterránea, biota, sedimentos. Las principales fuentes de emisión de Plomo en Ecuador son: fundición de metales (placas de baterías y residuos de plomo), cerámica vidriada, fabricación de pinturas, Industria electrónica y de cómputo, Cristal, Plásticos y Pilas (Información Plomo y Cadmio Ecuador; [http://www.unep.org/chemicals\\_and\\_waste/Portals/9/Lead\\_Cadmium/docs/submissions/SubmisGOVECUADOR.pdf](http://www.unep.org/chemicals_and_waste/Portals/9/Lead_Cadmium/docs/submissions/SubmisGOVECUADOR.pdf)).

Alvarado (2012) en su estudio en el estero Huaylá registró un valor promedio de 48,6 mg/kg de As en moluscos bivalvos de la especie *A. tuberculosa* a la altura del Yatch Club, valores que son 28,5 veces superiores a los encontrados en el presente estudio, el cual es un indicador elevado de contaminación, e imposibilita el consumo de esta especie por las personas. Por su parte Pardo (2012) en su estudio del Sitio El Coco, determinó que los moluscos bivalvos *A. tuberculosa* presentaron valores por debajo del límite de detección de 2 mg/kg (< 2 mg/kg).

Son pocos los estudios sobre niveles de arsénico en bivalvos en el Ecuador, sobre todo en la especie *A. tuberculosa*. En análisis realizados en otros países, Díaz et al. (2008) en su estudio en el molusco bivalvo *Mesodesma donacium* presentaron resultados similares, siendo su valor promedio de 1,29 mg/kg, no así en el estudio presentado por Lango-Reynoso et al. (2010) en el ostión *Crassostrea virginica* de las lagunas del Golfo de México donde presentaron un valor de 4.02 mg/kg.

Tanto *A. tuberculosa* y *A. similis* reportaron concentraciones similares. En futuros estudios en esta especie se debería registrar factores externos como el pH, salinidad, temperatura, materia orgánica (Zorrilla 2011) para determinar si son idóneos para monitorear contaminación por As.

Es importante mencionar que el As podría estar evidenciando cierto grado de intervención antrópica, posiblemente relacionada con los pesticidas arsenicales que se suelen utilizar en las plantaciones de banano (Rosas 2001) y a través de las escorrentías que se depositan en los sedimentos del estero.

Algunos investigadores (Bebianno 1993, Lobo 2009) indican que algunos bivalvos producen la inducción de metalotioneínas de cadmio en diversos tejidos blandos (Rodríguez, 2010), las branquias, glándulas digestivas, así como en el resto de tejidos. Marie et al. (2006) indicaron que presentó variaciones en las concentraciones de metalotioneínas fuertemente correlacionados con progresiva bioacumulación de Cd en *Corbicula fluminea* y *Dreissena polymorpha* (Rodríguez, 2010).

La relación entre talla y concentración de Cd en *A. similis* presentó una correlación positiva, donde los organismos de mayor talla (5-6 cm) acumularon mayor cantidad de Cd, algo similar a lo ocurrido con el mercurio. Olavarría (2007) indicó que las ostras de tallas grandes y medianas alcanzaron concentraciones máximas en el muestreo de invierno, en tanto, las ostras pequeñas registraron el máximo nivel del metal en el muestreo de primavera.

Nuestros resultados arrojan una analogía señalada por otros autores. *A. tuberculosa* presentó una correlación negativa entre la talla y la concentración de Cd, algo similar reportaron Toledo et al. (2000) quienes manifestaron que los organismos en la medida que incrementan su talla disminuyen las concentraciones de Cd, es decir que los organismos más jóvenes retienen mayor cantidad del metal, mientras que los mayores posiblemente estén liberando el metal por diferentes mecanismos fisiológicos al medio acuático, a medida que el crecimiento aumenta. Rojas et al. (2009) reportaron en *Perna viridis* concentraciones de cadmio mayores en sus tallas más pequeñas.

Al comparar las dos especies en estudio, se puede decir que *A. tuberculosa* es ideal para bioacumular Cd debido a que presentó una mayor concentración de este metal. Algo similar manifestaron Mero et al. (2012). Alvarado (2012) es su estudio de cadmio en moluscos de la especie *A. tuberculosa* en el estero Huaylá, mostró valores muy elevados en la parte inicial del estero, siendo el valor promedio 44,5 mg/kg, a la altura del Yatch Club decreció este valor llegando a ser de 13,3 mg/kg, y en la desembocadura señaló un valor promedio de 0,04 mg/kg. Este autor indicó que el lugar donde se encontró la mayor presencia de cadmio corresponde a una zona donde existen viviendas que no cuentan con servicios de alcantarillado y vierten todos los desechos al estero.

Los valores que Pardo (2012) presentó en su estudio del sitio El Coco fueron elevados, las muestras de moluscos bivalvos *A. tuberculosa* presentaron un valor promedio de 78,11 mg/kg, siendo estas 78,1 veces superior a los límites permitidos (2 mg/kg).

Mero (2010) estudió dos especies de bivalvos en cuatro esteros del Golfo de Guayaquil, en donde la especie *Ostrea columbiensis* presentó elevados niveles de Cd, siendo el más elevado 8,24 mg/kg en Las Loras, en Chupadores Chico se encontró 8,02 mg/kg, en Las Cruces 7,49 mg/kg y en Chupadores Grande se reportó 6,25 mg/kg; en *Mytella strigata* los valores fueron un poco similares a los presentados por este estudio donde en Chupadores Grande se reportó 1,96 mg/kg, en Las Cruces 1,92 mg/kg, en Chupadores Chico 1,85 mg/kg y en Las Loras 1,70 mg/kg.

El Cd es un componente natural del agua de los esteros, además su presencia en el medio se incrementa por las viviendas aledañas a esta zona del estero que vierten sus desechos, sin previo tratamiento de las aguas residuales, podría tomarse como un claro indicio de que existe contaminación por Cd (Fermín 2002).

Se ha demostrado que los moluscos bivalvos por ser organismos filtradores acumulan altos niveles de contaminantes como metales pesados. La contaminación está asociada con la materia en suspensión en la columna de agua, y el plancton ingerido durante el proceso de filtración. Ya que los metales pesados no son biodegradables ellos se acumulan en los tejidos de los organismos. La forma como se acumulan no está muy clara y se ha especulado sobre su fuerte enlazamiento con proteínas de bajo peso molecular como las metalotioneinas (Sadiq 1992, Lemus et al. 2016). Los metales pesados inducen la síntesis de las metalotioneinas, considerado esto como el evento más importante en la homeostasis y regulación intracelular de metales esenciales como el Zn y Cu, y en la detoxificación de cationes xenobióticos divalentes como el Cd, Pb y Hg (Fuentes y Gómez 2000). El alto contenido de metales registrados en los organismos estudiados seguramente es debido a sus hábitats, ya que ellos viven enterrados en el sedimento lodoso y son grandes filtradores de agua.

## Conclusiones

Las concentraciones de Pb, Hg, Cd superan los límites establecidas por las Normas de la Unión Europea (2014), mientras que el As supera los valores máximos establecidos por la Food Standards Australia New Zealand (FSANZ), 2014. El As supera el valor máximo permitido para consumo (Legislación Australiana y Neozelandesa), y en *A. tuberculosa* también supera los límites máximos permisibles establecidos para el consumo humano. Se determinó que *A. similis* tiene mayor capacidad para acumular Pb y Hg, mientras que la especie *A. tuberculosa* la tiene con Cd.

Se recomienda a la población no consumir estas especies capturadas en el estero Huaylá ya que pueden acarrear problemas graves de salud.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a la SENESCYT y al Programa PROMETEO del Ecuador por permitir desarrollar el presente estudio. A los árbitros anónimos que colaboraron con la mejora del trabajo.

## Literatura Citada

- ALVARADO, T. 2012. Incidencia de la contaminación orgánica y de metales pesados sobre la biodiversidad marino costera del Estero Huaylá. Tesis de Grado, Escuela de Acuicultura Universidad Técnica de Machala, Machala, 61 p.
- ARGOTA G., Y. GONZÁLEZ, H. ARGOTA, R. FIMIA Y J. IANACONE. 2012. Desarrollo y bioacumulación de metales pesados en *Gambusia punctata* (Poeciliidae) ante los efectos de la contaminación acuática. Rev. Elec. Vet., 13(05B): 1-12 <http://www.redalyc.org/pdf/636/63624365020.pdf>
- ARROYO, R. 2013. Evaluación de la concentración de metales pesados en Bivalvos de las especies *Perna verna* y *Perna viridis* (mejillones) de El Morro de Puerto Santo estado Sucre, Venezuela. Tesis de grado, Departamento de Química, Universidad de Oriente, Sucre-Venezuela.99p. <http://ri.bib.uo.edu.ve/bitstream/123456789/3365/1/TESIS RA.pdf>
- BAQUEIRO-CÁRDENAS E., L. CAROLINA, C. GOLDARACENA-ISLAS Y J. RODRÍGUEZ-NAVARRO. 2007. Los moluscos y la contaminación. Una revisión. Rev. Mex. Biodiv. vol.78. supl.oct: 1S- 7S. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-34532007000300001](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-34532007000300001)
- BEBIANNI, M., J. NOTT Y W. LANGSTON. 1993. Cadmium metabolism in the clam *Ruditapes decussata*: the role of metallothioneins. *Aquatic Toxicology*, 27: 315-333.
- CANO-OTALVARO, J., O. MURRILLO-GARCIA., J. CANTERA-KINTZ Y D. GIL-AGUDELO. 2012. Diferenciación morfológica de las especies de piangua *Anadara Tuberculosa* y *Anadara similis* (ARCIDAE) en diferentes bosques de manglar a lo largo de la costa pacífica colombiana mediante morfometría geométrica. *Bol. Invemar [online]*. vol.41, n.1, pp. 47-60. ISSN 0122-9761. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S012297612012000100003](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S012297612012000100003)
- CASTAÑÉ, P., M. TOPALIÁN, R. CORDERO Y A. SALIBIÁN. 2003. Influencia de la especiación de los metales pesados en medio acuático como determinante de su toxicidad. *Revista Toxicológica*, 20(1): 13-18. <http://www.redalyc.org/pdf/919/91920103.pdf>
- CRUZ, R., C. FONSECA Y F. CHAVARRÍA-SOLERA. 2012. Comparación de la composición química proximal de la carne de *Anadara tuberculosa* y *A. similis* (Bivalvia: Arcidae) de Chomes, Puntarenas, Costa Rica. *Rev. Mar.* 4: 95-103. <http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/revmar/article/view/4801>

- DÍAZ, O., F. ENCINA, E. RECABARREN, S. DEL VALLE, R. PASTENE, S. MONTES Y A. FIGUEROA. 2008. Estudio de la concentración de arsénico, mercurio, plomo y fenantreno en la macha (*Mesodesma donacium*). Implicancias alimentarias y toxicológicas. Rev. Chil. Nutr. 35(1):53-60. [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0717-75182008000100007](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-75182008000100007)
- ESPINOSA, R. 2012. Determinación de la contaminación orgánica por el índice de saprobiidad en el estero Huaylá. Tesis de grado, Escuela de Acuicultura, Universidad Técnica de Machala, Machala, Ecuador. 71 p.
- FERMÍN, I. 2002. Estudio geoquímico de los sedimentos superficiales de la Laguna de Unare, Edo. Anzoátegui, Venezuela. Tesis de Maestría, Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, Sucre, 106 p.
- Food Standards Australia New Zealand (FSANZ). 2014. <HTTP://WWW.FOODSTANDARDS.GOV.AU/PAGES/DEFAULT.ASPX>
- FUENTES, M. V. Y J. A. GÓMEZ. 2000. Metales trazas en *Ascidia nigra* (Savigny, 1816) colectadas en zonas costeras del Estado Sucre, Venezuela. Scientia (Panamá), 15(2):45-59.
- GEFFARD A, J. C. AMIARD Y C. AMIARD-TRIQUET. 2002: Use of metallothionein in gills from oysters (*Crassostrea gigas*) as a biomarker: Seasonal and inter-site fluctuations. Biomarkers 7: 123-137.
- JIMÉNEZ, D. 2012. Cuantificación de metales pesados (cadmio, cromo, níquel y plomo) en agua superficial, sedimentos y organismos (*Crassostrea columbiensis*), ostión de mangle en el puente Portete del estero Salado. Tesis de grado, Escuela de Biología, Universidad de Guayaquil, Guayaquil, 44 p. [http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/re-dug/1683/1/Cuantificaci%C3%B3n de metales pesados \(Cadmio, cromo, n%C3%ADquel y plomo\) en agua superficial, sedimentos y organismos...20Jim%C3%A9nez, David.pdf](http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/re-dug/1683/1/Cuantificaci%C3%B3n%20de%20metales%20pesados%20(Cadmio,%20cromo,%20n%C3%ADquel%20y%20plomo)%20en%20agua%20superficial,%20sedimentos%20y%20organismos...%20Jim%C3%A9nez,%20David.pdf)
- KIELY, G. 1999. Ingeniería ambiental. Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión, 1331 pp. McGraw Hill, Madrid. [http://virtual.urbe.edu/librotexto/REF\\_628\\_52\\_KIE\\_1/indice.pdf](http://virtual.urbe.edu/librotexto/REF_628_52_KIE_1/indice.pdf)
- LANGO-REYNOSO, F., C. LANDEROS-SÁNCHEZ Y M. CASTAÑEDA-CHÁVEZ. 2010. Bioaccumulation of cadmium (Cd), lead (Pb) y arsénico (AS) en *Crassostrea Virginica* (GMELIN, 1791), from tamiahua Lagoon System, Veracruz, México. Rev. Int. Cont. Amb., 26(3): 201-210. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-49992010000300003](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992010000300003)
- LEMUS, M., R. SALAZAR., B. LAPO Y K. CHUNG. 2016. Metalotioneínas en bivalvos marinos. Lat. Am. J. Aquat. Res., 44(2): 202-215. <http://www.scielo.cl/pdf/lajar/v44n2/art02.pdf>
- LOBO, J. 2009. Evaluation of the potential of translocated common cockle for ecological risk assessment studies: Bioaccumulation and biomarkers test. Tesis de Maestría, Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 55 p.

- LUCERO, C., J. CANTERA y R. NEIRA. 2012. Pesquería y crecimiento de la piangua (Arcoidea: Arcidae) *Anadara tuberculosa* en la Bahía de Málaga del Pacífico Colombiano, 2005-2007. *Rev. Biol. Trop.* 60(1): 203-217. <http://revistas.ucr.ac.cr/index.php/rbt/article/viewFile/2754/2695>
- MARIE, V., M. BAUDRIMONT y A. BOUDOU. 2006. Cadmium and zinc bioaccumulation and metallothionein response in two freshwater bivalves (*Corbicula fluminea* and *Dreissena polymorpha*) transplanted along a polymetallic gradient. *Chemosphere*, 65(4): 609-617. <http://euopepmc.org/abstract/med/16545425> DOI: 10.1016 / j.chemosphere.2006.01.074
- MÁRQUEZ, A., W. SENIOR, I. FERMÍN, G. MARTÍNEZ, J. CASTAÑEDA y A. GONZÁLEZ. 2008. Cuantificación de las concentraciones de metales pesados en tejidos de peces y crustáceos de la Laguna de Unare, estado Anzoátegui, Venezuela. *Rev. Cient.* 18(1):73-86. [http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0798-22592008000100012](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-22592008000100012)
- MERO, M. 2010. Determinación de metales pesados (Cd y Pb) en moluscos bivalvos de interés comercial de cuatro esteros del golfo de Guayaquil. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Estatal de Guayaquil, Guayaquil, 61 p. [http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/776/1/Determinaci%C3%B3n de metales pesados en moluscos bivalvos de inter%C3%A9s coemrcial de.pdf](http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/776/1/Determinaci%C3%B3n%20de%20metales%20pesados%20en%20moluscos%20bivalvos%20de%20inter%C3%A9s%20comercial%20de.pdf)
- MERO, M., V. ARCOS, F. EGAS, R. SIAVICHAY y G. LINDAO. 2012. Determinación de metales pesados (Cd y Pb) en moluscos bivalvos de interés comercial (*Anadara tuberculosa* y *A. grandis*) de Puerto El Morro, Ecuador. *Inv. Tec. Inv. Univ. Guay.*, 4(4): 19-32. [http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/776/1/Determinaci%C3%B3n de metales pesados en moluscos bivalvos de inter%C3%A9s coemrcial de.pdf](http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/776/1/Determinaci%C3%B3n%20de%20metales%20pesados%20en%20moluscos%20bivalvos%20de%20inter%C3%A9s%20comercial%20de.pdf)
- MORENO, M. 2003. Toxicología ambiental. Evaluación de riesgo para la salud humana. McGraw-Hill/interamericana, Madrid. 384 p.
- NORMAS DE LA UNIÓN EUROPEA. 2014. Unión Europea. Contenidos máximos en metales pesados en productos alimenticios. 25 pp. <http://plaguicidas.comercio.es/MetalPesa.pdf>
- OLAVARRÍA, Y. 2007. Determinación de trazas de cadmio en Cholga (*Aulacomya ater*), Chorrito (*Mytilus chilensis*) y Ostra chilena (*Ostrae chilensis*) en la zona de Chiloé (Hueihue). Tesis de Grado, Escuela de Química y Farmacia, Universidad Austral de Chile, Valdivia. 117 p. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2007/fco.42d/doc/fco.42d.pdf>
- PARDO, F. 2012. Incidencia de la contaminación orgánica y de metales pesados sobre la biodiversidad marino costera del sitio El Coco, Cantón Machala, Provincia de El Oro. Tesis de grado, Escuela de Acuicultura, Universidad Técnica de Machala, Machala 57 p.
- PÉREZ, M., G. MARTÍNEZ, I. FERMIN y F. BRITO. 2007. Metales trazas en tejidos blandos de *Callinectes ornatus* procedentes de las lagunas costeras de Bocaripo y Chacopata (Península de Araya, Estado Sucre). *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 46(2): 175-187.

- RODRÍGUEZ, W. 2010. Metalotioneínas y metales pesados en el guacuco *Tivela mactroides* (Born, 1778) (Bivalvia), colectado en Playa Caicarea, Estado Anzoátegui, Venezuela. Tesis de Grado, Departamento de Biología, Universidad de Oriente, Sucre, 54 p. [http://ri.biblioteca.udo.edu.ve/bitstream/123456789/3855/1/TESIS\\_WR.pdf](http://ri.biblioteca.udo.edu.ve/bitstream/123456789/3855/1/TESIS_WR.pdf)
- RODRÍGUEZ, F. 2013. Cuantificación de plomo, cadmio y níquel en agua superficial, sedimentos y organismos (*Mytella guyanensis*) en los puentes Portete y 5 de Junio del Estero Salado. Tesis de Grado, Escuela de Biología, Universidad de Guayaquil, Guayaquil, 57 p. [http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/1682/1/Cuantificaci%C3%B3n de cadmio, plomo y n%C3%ADquel en agua superficial, sedimento y organismo..Rodr%C3 ADguez, Florencia.pdf](http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/1682/1/Cuantificaci%C3%B3n%20de%20cadmio,%20plomo%20y%20n%C3%ADquel%20en%20agua%20superficial,%20sedimento%20y%20organismo..Rodr%C3%ADguez,%20Florencia.pdf)
- ROJAS, N., M. LEMUS, L. ROJAS DE ASTUDILLO, G. MARTÍNEZ, Y. RAMOS Y K. CHUNG. 2009. Mercury levels in *Perna viridis* from the north coast of Sucre State, Venezuela. *Ciencias Marinas*. 35(1): 91-99. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_text&pid=S0185-38802009000100007](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_text&pid=S0185-38802009000100007)
- ROSAS, H. 2001. Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en la Cuenca del Llobregat. Tesis Doctoral, Instituto de Ingeniería minera y Recursos Naturales, Universidad Politécnica de Cataluña, Cataluña, 330 p.
- ROVIRA, J. 1993. Contaminación por metales pesados en los sedimentos del río Jarama y su asimilación en tubificidos. Tesis Doctoral, Universidad Complutense, Madrid, 360 p.
- SADIQ, M. 1992. Toxic Metal Chemistry in Marine environments. Marcel Dekker Inc. New York. 390pp.
- SILVA A. Y R. BONILLA. 2001. Abundancia y morfometría de *Anadara tuberculosa* y *A. similis* (Mollusca: Bivalvia) en el Manglar de Purruja, Golfo Dulce, Costa Rica. *Revista Biológica Tropical*, 49(2): 315-320. [https://www.academia.edu/8418927/PESQUER%C3%8DA\\_ARTESANAL\\_DE\\_ANADARA\\_TUBERCULOSA\\_Y\\_ANADARA\\_SIMILIS\\_EN\\_EL\\_MARCO\\_DE\\_UNA ESTRATEGIA\\_DE\\_GESTION\\_COMUNITARIA\\_EN\\_EL\\_MANGLAR\\_DE\\_PURRUJA\\_PACIFICO\\_SUR\\_COSTA\\_RICA](https://www.academia.edu/8418927/PESQUER%C3%8DA_ARTESANAL_DE_ANADARA_TUBERCULOSA_Y_ANADARA_SIMILIS_EN_EL_MARCO_DE_UNA ESTRATEGIA_DE_GESTION_COMUNITARIA_EN_EL_MANGLAR_DE_PURRUJA_PACIFICO_SUR_COSTA_RICA)
- TOLEDO, J., M. LEMUS Y K. CHUNG. 2000. Cobre, cadmio y plomo en el pez *Cyprinodon dearborni*, sedimentos y agua en dos lagunas de Venezuela. *Rev. Biol. Trop.*, 48(1): 225-231.
- TULSMA. 2013. Revisión del anexo 1 del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: norma de Calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua. 40p. <http://www.industrias.ec/archivos/CIG/file/CARTELE-RA/Reforma Anexo 28 feb 2014 FINAL.pdf>
- U.S. EPA (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY), 1999. Mercury Update: Impact on Fish Advisories. <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/2000407H.txt?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=1995%20Thru1999&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&UseQField=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&Xml>

Query=&File=D:/ZYFILES/CINDEXDATA/95THRU99/TXT/C00000015/2000407H.txt&User=ANONYMOUS&Password=anonymous&SortMethod=h&MaximumDocuments=1&FuzzyDegree=0&ImageQuality=r75g8/r75g8/x150y150g16/i425&Display=hpfr&DefSeekPage=x&SearchBack=ZyActionL&Back=ZyActionS&BackDesc=Results/page&MaximumPages=4&ZyEntry=8

- VILLANUEVA, S., A. BOTELLO Y F. PAÉZ-OSUNA. 1988. Evaluación de algunos metales pesados en organismos del Río Coatzacoalcos y de la Laguna del ostión. Rev. Int. Contam. Ambient. 8 (1): 47-61. 1992. <http://www.redalyc.org/pdf/370/37040102.pdf>
- ZAMBRANO, M., J. PRADA, G. ARENCIBIA y A. VIDAL. 2012. Bioacumulación de naftaleno y fluoranteno en el molusco bivalvo *Anadara tuberculosa* (Sowerby, 1833). Rev. Udca. Actual. Divulg. Cient. vol.15 no.2:283-290. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0123-42262012000200005](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262012000200005)
- ZORRILLA, M.F. 2011. Estado del arte sobre la presencia de metales pesados en tejidos y agallas de peces. Tesis de grado. Departamento de Ciencias