

Acumulación de metales pesados en bivalvos y sus efectos tóxicos en la salud humana: Perspectivas para el estudio en Costa Rica

Accumulation of heavy metals in bivalves and their toxic effects on human health: Prospects for study in Costa Rica

Manuel Corrales Venegas¹

Recibido: 17/08/2015 / Aprobado: 20/10/2015

Resumen

Esta es una revisión de trabajos publicados sobre moluscos bivalvos y contenido de metales pesados. Existe una creciente preocupación por el impacto en la salud humana que pueda tener el consumo de moluscos. Estos animales, debido a su forma de alimentación, pueden contener grandes cantidades de contaminantes, incluyendo metales pesados como el Cd, Hg y Pb. Tres de los contaminantes metálicos más comunes producidos por las industrias. Debido a su naturaleza tóxica estos contaminantes deben ser monitoreados en los alimentos de consumo humano, su uso y eliminación está ahora regulada por los países industrializados. Los artículos revisados consideran la importancia de caracterizar el contenido de metales pesados, y el impacto como una fuente importante en la dieta. Se muestra cómo otros han calculado la ingesta alimentaria estimada (EDI) para cuantificar el riesgo para la salud humana y recomendar niveles máximos de ingesta de moluscos. También hay estudios que tratan la manera adecuada de realizar y optimizar el análisis de metales pesados por Absorción Atómica (AA), método que podría ser utilizado para caracterizar el contenido de metales de los moluscos cultivados en Costa Rica, y así realizar recomendaciones de consumo al igual que se ha hecho a nivel internacional.

Palabras clave: Metales pesados, moluscos bivalvos, salud humana, Ingesta alimentaria estimada (EDI), Absorción Atómica

Abstract

This is a literature review of Bivalve mollusks and their heavy metal content. There is a growing concern about the impact consuming mollusks can have in human health. These animals, due to their filtering feeding way, may retain big amounts of contaminants, including heavy metals such as Cd, Hg and Pb, three of the most common metal contaminants produced by industries. Due to their toxic nature, these contaminants must be monitored; their use and disposal is now regulated by all industrialized countries. Based on the articles reviewed, it is important to consider heavy metal content characteristics, and their impact as an important food source. These studies show how estimated daily intake (EDI) has been calculated to quantify the risk they pose to human health and provide maximum levels of mollusks intake recommendations. There are also studies that adequately try to perform and optimize heavy metal analysis using Atomic Absorption--method that could be used to characterize cultivated mollusks in Costa Rica.

Key words: Heavy metals, bivalve mollusks, estimated dietary intake (EDI), total dose intake (TDI), risk to human health estimated dietary intake (EDI), Atomic Absorption.

Introducción

Los moluscos bivalvos (ostras, mejillones, almejas y vieiras) constituyen una parte importante de la producción pesquera mundial. Durante el decenio 1991-2000 se observó un aumento constante de la producción de bivalvos, pasando de 6,3 millones de toneladas desembarcadas en 1991 a más del doble en el año 2000, con 14,2 millones de toneladas métricas de bivalvos procedentes de la pesca y de la acuicultura (Helm & Bourne, 2006).

Las ostra japonesa (*Crassostrea gigas*) es el molusco más cultivado a nivel mundial, más que

cualquier otro pez, molusco o crustáceo; con una producción cercana a 4,3 millones toneladas en el año 2003 (FAO, 2005).

Los moluscos bivalvos, como organismos filtradores, son capaces de concentrar en sus tejidos distintos contaminantes del ambiente que los rodea debido al proceso de bioacumulación (Zuykov, Pelletier, & Harper, 2013).

Entre estos contaminantes se puede mencionar los metales pesados. Dichos contaminantes son adquiridos a través de la cadena alimenticia, son

¹ Estudiante de Licenciatura en Laboratorista Químico, Sede de Occidente, Universidad de Costa Rica. Correo electrónico: jose.corralesvenegas@ucr.ac.cr

potencialmente peligrosos para el ser humano. Es por esto que aquellos que representan un peligro comprobado para el consumidor, como el Plomo, Cadmio y Mercurio; están estrictamente regulados por la Unión Europea y los Estados Unidos (Abdallah, 2013).

Origen y acumulación de Pb, Cd y Hg en organismos vivos y sus efectos en la salud.

Los metales pesados existen naturalmente en el ambiente en concentraciones a niveles trazas. Sin embargo, como resultado de las actividades humanas las concentraciones de estos aumentan convirtiéndose en contaminantes peligrosos (Rodríguez-Santiago, 2004).

El plomo es el metal tóxico más omnipresente, y es detectable en prácticamente todos los medios (Klaassen, Casarett, Watkins, & Doull, 2001). Los niveles de plomo presentes en los alimentos, agua, aire, suelos y polvo a lo largo del planeta son dependientes del grado de industrialización de cada país, siendo durante décadas, el uso de gasolina con plomo; la fuente antropogénica principal en ciudades industrializadas (Scoullou, Vonkeman, Thornton, & Makuch, 2001).

Además de las gasolinas con plomo, que han sido gradualmente sustituidas en casi todo el mundo, las principales fuentes de exposición incluyen la minería de metales y la fundición, industria manufacturera, la incorrecta disposición de las baterías y el uso histórico de las tuberías de plomo y pinturas (Eisler, 2000; Klaassen et al., 2001; Scoullou et al., 2001).

Este metal no tiene necesidad o beneficio biológico demostrado y toda investigación al respecto ha demostrado sus efectos metabólicos adversos (Eisler, 2000).

Los adultos absorben entre el 5% al 15% del plomo ingerido, y por lo general retienen en su cuerpo menos de 5% de lo que se absorbe, el porcentaje mayoritario del plomo retenido se encuentra en la sangre, específicamente en los eritrocitos, desde donde es distribuido a los distintos

órganos que se ven afectados. Este metal además de acumularse en los huesos, luego puede ser liberado nuevamente durante periodos de desmineralización como el embarazo o la lactancia (Eisler, 2000; Klaassen et al., 2001).

Entre los graves efectos que tiene el plomo sobre la salud humana cabe destacar los trastornos del sistema nervioso, anemia, problemas renales, hipertensión arterial y su acción carcinógena (Scoullou et al., 2001).

Por tanto, los niveles máximos permitidos en alimentos suelen ser, en general bastante bajos, por ejemplo en carnes de animales terrestres, se acepta un límite máximo de 0,10 mg*kg⁻¹ y en pescado un máximo de 0,30 mg*kg⁻¹, existiendo estas diferencias en los límites debido a la exposición esperada del producto a dicho contaminante (La comisión de las Comunidades Europeas, 2006).

El cadmio por otra parte es un metal que se encuentra en baja proporción sobre la corteza terrestre, por lo que su presencia en el medio ambiente se debe básicamente a la contaminación antropogénica (Eisler, 2000). Se genera como subproducto de la fundición de otros metales como plomo o zinc y es mayormente usado por sus propiedades de resistencia a la corrosión y en dispositivos electrónicos (Alay, Lomas, Mallafré, & Roig, 2012; Klaassen et al., 2001).

Los mecanismos de absorción del cadmio incluyen la vía gastrointestinal y la respiratoria, la absorción aumenta por deficiencias de calcio y hierro en la dieta, y por dietas con bajo contenido de proteína. Se transporta en la sangre por la unión a eritrocitos y proteínas de alto peso molecular en el plasma, en particular la albúmina (Eisler, 2000; Klaassen et al., 2001).

Alrededor de 50 a 75% de la carga corporal de cadmio se encuentra en el hígado y los riñones. Aunque se desconoce con exactitud la vida media en el organismo, esta puede ser de hasta 30 años (Scoullou et al., 2001).

Este contaminante es fácilmente acumulado por organismos como peces y moluscos bivalvos,

por lo que sus niveles máximos permitidos varían dependiendo de la especie entre los 0,050 mg*kg⁻¹ y los 0,25 mg*kg⁻¹ para los productos pesqueros (La comisión de las Comunidades Europeas, 2006).

Entre los principales efectos a largo plazo de la exposición baja a cadmio están la enfermedad pulmonar obstructiva crónica y enfisema, así como enfermedad crónica de los túbulos renales. También puede haber efectos sobre los sistemas cardiovascular y esquelético (Klaassen et al., 2001).

La incorporación del mercurio en el medio ambiente se da tanto por procesos naturales como antropogénicos. Entre los primeros, cabe destacar la erosión de rocas y suelo por parte de agentes como la lluvia y el viento, y las erupciones volcánicas. A pesar de ello, la aportación humana de mercurio ha ido aumentando en las últimas décadas, de modo que la concentración ha aumentado entre 3 y 6 veces (Risher & DeWoskin, 1999). Las fuentes más importantes de emisión de este elemento al aire son la combustión de combustibles fósiles, la minería y la fundición. Por el contrario, los productos que contribuyen mayoritariamente a la contaminación por mercurio al suelo son fertilizantes, fungicidas y residuos sólidos urbanos (Alay et al., 2012).

Ningún otro metal ilustra mejor la diversidad de efectos causados por diferentes especies químicas como lo hace el mercurio. Con base en la especiación química, hay tres formas de mercurio: compuestos elementales, compuestos inorgánicos y compuestos orgánicos, cada uno de los cuales tiene toxicocinética y efectos sobre la salud característicos (Klaassen et al., 2001).

El metilmercurio es la forma orgánica principal del mercurio, y resulta de la unión del metal con el carbono. Algunos microorganismos acuáticos como bacterias, hongos y fitoplancton son capaces de metilar el mercurio elemental e inorgánico, pasándolo a su forma orgánica (Eisler, 2000). Por sus características fisicoquímicas y la capacidad de bioacumulación en los organismos vivos, los compuestos orgánicos de mercurio –y en especial, el metilmercurio– son los más tóxicos y

pueden provocar graves daños en la salud de las personas expuestas (Alay et al., 2012; Risher & DeWoskin, 1999).

El ingreso de mercurio puede darse por múltiples vías; por inhalación, ingestión gastrointestinal al consumir agua o alimentos contaminados o por contacto directo con la piel, sin embargo; no todas las formas de mercurio aun cuando entren en contacto con el cuerpo, son fácilmente asimiladas por este (Risher & DeWoskin, 1999).

El metilmercurio es la forma de mercurio más fácilmente absorbido por el tracto gastrointestinal (cerca del 95% es absorbido). Después de comer pescado u otros alimentos que están contaminados con este compuesto orgánico, éste entra en el torrente sanguíneo y se desplaza rápidamente a otras partes del cuerpo, siendo el cerebro el órgano que se ve más afectado (Eisler, 2000; Klaassen et al., 2001; Risher & DeWoskin, 1999; Scoullous et al., 2001).

Los principales efectos sobre la salud humana por exposición a metilmercurio son efectos neurotóxicos (parestias, ataxia, neurastenia, pérdida de visión y audición) en adultos y toxicidad para los fetos de mujeres expuestas durante el embarazo. También se ha demostrado un efecto genotóxico que da por resultado aberraciones cromosómicas en poblaciones expuestas a metilmercurio (Alay et al., 2012; Klaassen et al., 2001).

Estudios en el nivel internacional

A continuación se describen algunos de los estudios que a nivel internacional se han realizado en la última década.

La gran mayoría de los estudios utilizan una metodología de muestreo que consiste en la obtención de los moluscos, e incluyen algunas veces el estudio de los sedimentos que les rodean.

Hamed y Emara (2006), en su estudio realizado en el golfo de Suez, Egipto, muestrearon en siete sitios a lo largo del golfo y analizaron

las especies del gasterópodo *Patella caerulea*, y el bivalvo *Barbatus barbatus*. La evaluación se realizó por estacionalidad. Comparando los valores obtenidos en verano contra los obtenidos en invierno. Los resultados promedio durante el año de estudio se ubican entre 0,64 y 2,16 $\mu\text{g}^*\text{g}^{-1}$ para el cadmio; y 6,23 y 70, 91 $\mu\text{g}^*\text{g}^{-1}$ para el plomo. El valor mayor en ambos casos procede del punto de muestreo más próximo a la Ciudad de Suez, en el caso de *P.caerulea*.

Para *B.barbatus* los resultados promedio anuales se encuentran entre de 0,69 y 2,37 $\mu\text{g}^*\text{g}^{-1}$ para el cadmio y los 6,92 y 37,81 $\mu\text{g}^*\text{g}^{-1}$ para el plomo. También se repite la tendencia de una mayor presencia de metales cerca de la ciudad, lo que sin duda demuestra la influencia antropogénica en la presencia de estos contaminantes en el medio ambiente y en los moluscos.

El estudio muestra además, que en invierno se registraron los mayores valores de contaminantes para ambas especies, afirmando que esta variación se debe a la disminución en la tasa de descomposición de la materia orgánica, patrón relacionado con una disminución de la temperatura del agua. Y concluye que en el punto de muestro más cercano a la Ciudad de Suez las concentraciones de estos contaminantes exceden los límites máximos permitidos, por lo

que no sería recomendable su consumo (Hamed & Emara, 2006).

En otro estudio realizado en el estado de Sinaloa, México por Frías-Espericueta et al. (2008), Se determinó el contenido de los metales pesados Cd, Cu, Pb y Zn durante un periodo de 8 meses que incluye la estación seca y la estación lluviosa, utilizando dos puntos de muestreo dentro del sistema de lagunas Altata-Ensenada del Pabellón y dando seguimiento a tres especies de bivalvos: *Crassostrea corteziensis*, *Mytella strigata*, *Megapitaria squalida*, los resultados de este estudio se resumen en el Cuadro 1. Se observa que el bivalvo *C.corteziensis* es el que presenta la mayor acumulación de contaminantes, sin embargo cabe destacar que para todos los moluscos se aprecia una concentración considerable de metales; resultado de la posible contaminación a la que es sometida el sistema de lagunas ya que recogen los afluentes de una población cercana al millón de personas (Frías-Espericueta et al., 2008).

Las variaciones estacionales en el caso de cadmio, se asocian con el arrastre pluvial del metal procedente del uso de fertilizantes y pesticidas. En el caso del plomo, el aumento puede deberse al arrastre de sedimentos por los vientos y el cambio en las mareas propias de la época seca.

Cuadro 1. Contenido de metales* ($\mu\text{g}/\text{g}$ peso seco) de tres bivalvos del sistema de lagunas Altata-Ensenada del Pabellón

Metal	Estación	C.corteziensis	M.strigata	M.squalida
Cd	Lluviosa	7,25 ± 1,92	7,09 ± 1,96	4,13 ± 2,12
	Seca	5,96 ± 1,82	5,11 ± 2,52	2,59 ± 0,44
Pb	Lluviosa	7,70 ± 3,25	4,50 ± 1,33	6,59 ± 2,06
	Seca	8,79 ± 2,62	6,31 ± 1,15	8,43 ± 0,83

* Media y desviación estándar

Fuente: Frías-Espericueta et al., (2008)

A nivel internacional la preocupación por la relación del contenido de metales en moluscos y como estos pueden ser causa de ingesta peligrosa de contaminantes, no es nueva. En el 2008 Widmeyer y Bendell-Young desarrollaron un estudio en Columbia Británica, Canadá; donde determinaron los valores de plomo, cadmio, cobre y zinc para la especie *C. gigas*.

Encontraron niveles importantes de contaminación por cadmio, con valores que entre 2,38 y 3,02 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Demostraron que los valores de cadmio presentes en los moluscos pueden considerarse una fuente importante del contaminante dentro de la dieta. En el Cuadro 2; se comparan los valores de Cd a los que se expone una persona que consume ostras, otra que no lo hace y luego, estos datos se compararon con los valores a los que puede exponerse un fumador y un no fumador (Widmeyer & Bendell-Young, 2008). Ya que los fumadores son las personas que presentan mayor exposición al Cd, porque este elemento se suele encontrar presente en el tabaco. (Klaassen et al., 2001; Ramírez, 2002)

En estudios más recientes como el de Li, Huang, Hu, y Yang Pb, Cd, and Cr in 240 shellfish

including oyster, short-necked clam, razor clam, and mud clam collected from six administrative regions in Xiamen of China were measured. The daily intakes of heavy metals through the consumption of shellfish were estimated based on both of the metal concentrations in shellfish and the consuming amounts of shellfish. In addition, the target hazard quotients (THQ; publicado en 2013 se realizó de la cuantificación del contenido de metales (Hg, Pb, Cd, Cr) y el cálculo de los valores de ingesta alimentaria estimada (EDI) para cada uno de estos metales. Los valores se utilizaron para caracterizar el riesgo potencial que la ingesta de cada metal puede representar para la salud humana (Cuadro 3).

Con estos datos se llega a la conclusión de que el metal al cual se le debe prestar atención es el cadmio, ya que los resultados obtenidos sugieren que el consumo de bivalvos si puede considerarse una fuente relevante de ingesta de este metal, y de otros como el cromo, al menos para las especies *O. plicatula* y *T. granosa* en las cuales se observan los valores más elevados.

Cuadro 2. Exposición total a Cadmio ($\mu\text{g}/\text{persona}/\text{día}$), Dosis de consumo total TDI ($\mu\text{g}/\text{persona}/\text{día}$), Nivel de riesgo mínimo de consumo oral crónico para cadmio en humanos (ASTDR-MRL), calculado usando los valores del estudio.

	No fumador / No consume ostras	Fumador / No consume ostras	No fumador / Consume ostras	Fumador / Consume Ostras
Exposición a Cd ($\mu\text{g}/\text{persona}/\text{día}$)	14	17,7	70	73,7
Cd TDI ($\mu\text{g}/\text{kg}/\text{día}$)	0,2	0,25	1,0	1,05
Cd MRL ($\mu\text{g}/\text{kg}/\text{día}$)	0,2	0,2	0,2	0,2

Fuente: Widmeyer y Bendell-Young, (2008)

Cuadro 3. Ingesta alimentaria estimada (EDI) de metales pesados por consumo de moluscos en Xiamen, China de Marzo a Agosto de 2011

Metal	O. plicatula		R. philippinarum		S.constricta		T.granosa	
	Concentración (mg/kg) ^a	EDI (ug/kg/día)	Concentración (mg/kg) ^a	EDI (ug/kg/día)	Concentración (mg/kg) ^a	EDI (ug/kg/día)	Concentración (mg/kg) ^a	EDI (ug/kg/día)
Hg	0,008	0,005	0,008	0,005	0,007	0,005	0,008	0,005
Pb	0,211	0,130	0,151	0,093	0,215	0,133	0,210	0,130
Cd	0,334	0,206	0,133	0,082	0,054	0,033	0,369	0,228
Cr	1,11	0,688	2,41	1,47	1,44	0,900	2,85	1,76

^aValores promedio, peso húmedo.

Fuente: Li, Huang, Hu, y Yang, (2013)

El estudio de Ochoa, Barata, y Riva, publicado en 2013 se hace una caracterización del contenido de metales en la especie *C.gigas*, misma que se cultiva actualmente en Costa Rica. La mayor particularidad

del estudio es que resume para el género *Crassostrea* los estudios que se han hecho con anterioridad y los valores que se obtuvieron (Cuadro 4).

Cuadro 4. Comparacion de la concentracion de metales (ug/g peso seco) en C.gigas del Delta del Ebro, España con concentraciones en ostras del genero Crassostrea de otros lugares.

Sitio	Referencia	Especie	Hg	Pb	Cd
Delta del Ebro	Ochoa, Barata, & Riva. 2013	<i>C. gigas</i>	0,12 – 0,27	0,26–0,78	0,50 – 1,32
Shantou, China ^a	Sun et al. 2004	<i>C. ribularis</i>	-	2,5	10
Bahía Ussuriyskiy, Rusia ^a	Shulkin et al. 2003	<i>C. gigas</i>	-	4,1 – 36,0	4,7 – 27,2
Carolina del sur, USA ^a	Riedel and Valette-Silver 2002	<i>C. gigas</i>	-	-	-
Costa de España	Schuhmacher and Domingo 1996	<i>C. angulata</i>	0,04 – 0,34	0,02 – 41,4	0,4 – 3,2
Rio Hawkesbury, Australia	Hardiman and Pearson 1995	<i>C. commercialis</i>	-	0,1 – 0,5	0,8 - 2,1
Nayarit, México	Paez-Osuna et al. 1995	<i>C. iridescens</i>	-	-	1,0 – 2,2
Campeche, México	Vazquez et al. 1993	<i>C. virginica</i>	-	2,9 – 24,2	1,2 - 7,8
Taiwán, China ^a	Han and Hung 1990	<i>C. gigas</i>	-	-	-
Costa de Estados Unidos ^a	Lauenstein et al. 1990	<i>C. virginica</i>	-	0,18 – 1,8	1,2 – 9,1
Golfo de México, USA ^a	Presley et al. 1990	<i>C. virginica</i>	-	0,02 – 12,5	0,54 – 16,8
Bahía Minamata, Japón ^a	Eisler 1987	<i>C. gigas</i>	10	-	-

Tailandia	Phillips and Muttarasin 1985	C. commercialis	-	-	3,2
Baia Chesapeake, USA ^a	Wright et al. 1985	C. virginica	-	-	23,2
Connecticut, USA ^a	Greig et al. 1975	C. virginica	-	7,1	15,6 – 28,1

^a Áreas influenciadas por contaminación con metales pesados

Fuente: Ochoa, Barata, y Riva, (2013)

Los investigadores lograron concluir que la contaminación en dicha zona de España no representa un problema para el consumo de bivalvos, ya que ninguno de los valores regulados por la Comisión Europea, como límite máximo de tolerancia (MTL por sus siglas en inglés) recomendado para Hg, Pb, y Cd (3,3; 10; y 6,6 $\mu\text{g}^*\text{g}^{-1}$ en peso seco respectivamente), fue superado (Ochoa et al., 2013).

Además de las publicaciones ya mencionadas, se encontraron dos tesis que pueden ser de utilidad para desarrollar el estudio en Costa Rica. Estos son específicamente las tesis de Laboy-Rodríguez, realizada en el año 2000 y Rodríguez-Santiago, realizada en el año 2004. En ambos trabajos realizados en Puerto Rico se hace la caracterización del contenido de plomo y cadmio en muestras de consumo local de la especie *C. rhizophorae*, obteniendo resultados entre 0,08 y 2,40 $\mu\text{g}^*\text{g}^{-1}$ para el plomo y de 0,22 y 1,80 $\mu\text{g}^*\text{g}^{-1}$ para el cadmio.

Estas tesis son de gran utilidad en el desarrollo de un estudio similar en Costa Rica, ya que en ellas se observa la optimización del método de análisis en el equipo de Absorción Atómica (AA) con horno de grafito, y sobre todo el estudio de Rodríguez-Santiago, permite un desarrollo del método en óptimas condiciones, ya que indica claramente cuales deberían de ser los parámetros a controlar y verificar para obtener las mejores condiciones de análisis y por ende los mejores resultados.

Conclusiones

Las publicaciones consultadas permiten evidenciar que actualmente la preocupación por la presencia de contaminantes en moluscos es

una realidad en distintas partes del mundo, es indispensable que Costa Rica también se sume a realizar investigación en este producto para garantizar la seguridad de su consumo.

Si bien queda claro que en ciudades industrializadas con costas cercanas suelen encontrarse mayor presencia de contaminantes metálicos en los bivalvos, en Costa Rica el no contar con una industria tan especializada en el uso de metales pesados así como la falta de información al respecto, no permite asegurar que hay o no contenidos elevados de contaminantes. Únicamente el estudio analítico de las muestras tanto de los cultivos del golfo de Nicoya, como las extraídas en otras zonas costeras, podrá generar un verdadero reflejo de en qué posición nos encontramos respecto al tema.

Para el desarrollo del estudio se recomienda evaluar la metodología que mayor se ajuste a nuestra realidad, en varios de los estudios citados antes se prefiere realizar el estudio en peso seco de molusco, esto posiblemente por una cuestión de practicidad a la hora de trabajar en la extracción de la muestra, sin embargo; el trabajar con muestras en peso húmedo puede proporcionar una medida más realista de las concentraciones de metales que están siendo introducidas en la dieta de los costarricenses.

Es además de gran importancia que con los valores que se obtengan en un futuro estudio del contenido de metales pesados se realicen los cálculos de Estimado de Consumo en la Dieta (EDI) y por ende las recomendaciones de consumo para los moluscos bivalvos.

De igual forma y como se realizó en la mayoría de las publicaciones consultadas, es recomendable

realizar un estudio por un periodo no menor de un año, o en su defecto que incluya toma de muestras durante la estación seca y durante la estación lluviosa, esto con el afán de determinar si existe una estacionalidad en los contenidos obtenidos, y analizar la influencia que tengan las lluvias en las concentraciones de contaminantes que puedan depositarse en el golfo de Nicoya.

Por último es importante evaluar en el caso del mercurio cual será la metodología más adecuada, pocos estudios realizaron la determinación de este contaminante, posiblemente porque suele ser menos propenso a acumularse en los bivalvos que otros como el cadmio. Sin embargo, su determinación es un argumento a favor de realizar la extracción a partir de peso húmedo, ya que durante el secado las pérdidas de este metal serían considerables.

Referencias

- Abdallah, M. A. M. (2013). Bioaccumulation of heavy metals in mollusca species and assessment of potential risks to human health. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 90(5), 552–557. <http://doi.org/10.1007/s00128-013-0959-x>
- Alay, G. F., Lomas, M. N., Mallafré, J. M. L., & Roig, J. L. D. (2012). *Riesgo tóxico por metales presentes en los alimentos: Toxicología alimentaria*. Editorial Díaz de Santos, S.A. Retrieved from <https://books.google.co.cr/books?id=XjgaxZ6FY7QC>
- Eisler, R. (2000). *Handbook of chemical risk assessment. Health Hazards to Humans, Plants and animals* (Vol. 1). CRC Press.
- FAO. (2005). Programa de información de especies acuáticas - *Crassostrea gigas*. Retrieved May 13, 2015, from http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Crassostrea_gigas/es
- Frías-Espericueta, M. G., Osuna-López, J. I., Voltolina, D., López-López, G., Izaguirre-Fierro, G., & Muy-Rangel, M. D. (2008). The metal content of bivalve molluscs of a coastal lagoon of NW Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 80(1), 90–92. <http://doi.org/10.1007/s00128-007-9322-4>
- Hamed, M. a., & Emara, A. M. (2006). Marine molluscs as biomonitors for heavy metal levels in the Gulf of Suez, Red Sea. *Journal of Marine Systems*, 60(3-4), 220–234. <http://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2005.09.007>
- Helm, M. M., & Bourne, N. (2006). *Cultivo de bivalvos en criadero: un manual práctico*. Retrieved from <http://books.google.com/books?id=dLtgXJo3W3EC&pgis=1>
- Klaassen, C. D., Casarett, L. J., Watkins, J. B., & Doull, J. (2001). *Manual de toxicología: Casarett & Doull: la ciencia básica de los tóxicos*. McGraw-Hill Interamericana. Retrieved from <https://books.google.co.cr/books?id=oQJDAQAACAAJ>
- La comisión de las Comunidades Europeas. REGLAMENTO (CE) No 1881/2006 (2006). Diario Oficial de la Unión Europea. Retrieved from <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006R1881&from=ES>
- Laboy-Rodríguez, M. (2000). *Determinación de Cadmio, Cromo y Plomo en ostiones por espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito*. Universidad de Puerto Rico.
- Li, J., Huang, Z. Y., Hu, Y., & Yang, H. (2013). Potential risk assessment of heavy metals by consuming shellfish collected from Xiamen, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(5), 2937–2947. <http://doi.org/10.1007/s11356-012-1207-3>

- Ochoa, V., Barata, C., & Riva, M. C. (2013). Heavy metal content in oysters (*Crassostrea gigas*) cultured in the Ebro Delta in Catalonia, Spain. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185(8), 6783–6792. <http://doi.org/10.1007/s10661-013-3064-z>
- Ramírez, A. (2002). Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos, 63, N° 1 -(1025 - 5583), 51–64.
- Risher, J., & DeWoskin, R. (1999). Toxicological Profile for Mercury. *U.S Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry*, (March), 676. Retrieved from <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp46.pdf>
- Rodríguez-Santiago, M. (2004). *Determinación de cadmio y plomo en Crassostrea rhizophorae por espectrometría de absorción atómica con horno de grafito.*
- Scoullou, M. J., Vonkeman, G. H., Thornton, I., & Makuch, Z. (2001). *Handbook for sustainable heavy metals policy and regulation.* Springer science business media.
- Widmeyer, J. R., & Bendell-Young, L. I. (2008). Heavy metal levels in suspended sediments, *Crassostrea gigas*, and the risk to humans. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 55(3), 442–450. <http://doi.org/10.1007/s00244-007-9120-3>
- Zuykov, M., Pelletier, E., & Harper, D. a T. (2013). Bivalve mollusks in metal pollution studies: From bioaccumulation to biomonitoring. *Chemosphere*, 93(2), 201–208. <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.05.001>