

ARTICULO POR INVITACIÓN

**CADMIO Y PLOMO EN ORGANISMOS DE IMPORTANCIA
COMERCIAL DE LA ZONA COSTERA DE SINALOA,
MÉXICO: 20 AÑOS DE ESTUDIOS**

**Frías-Espericueta, M.G.¹, J.I. Osuna-López¹, G. Izaguirre-Fierro¹, M. Aguilar-Juárez²
& D. Voltolina³**

¹Universidad Autónoma de Sinaloa. Facultad de Ciencias del Mar, Laboratorio de Estudios Ambientales, Paseo Claussen S/N, Mazatlán, Sinaloa C.P. 82000, México. ²Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias Marinas, Posgrado en Biología Molecular y Biotecnología, Ensenada, B.C., México. ³Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, Laboratorio UAS-CIBNOR, A. P. 1132, Mazatlán, Sinaloa, C.P. 82000, México. email: voltolin04@cibnor.mx; voltolina41@hotmail.com

RESUMEN. El plomo y el cadmio pueden afectar la salud de los ecosistemas y de los consumidores de alimentos con alto contenido de estos metales, que son entre los más ampliamente utilizados en diferentes actividades humanas y que además son entre los principales productos mineros de México. La principal actividad de Sinaloa es la agricultura, por lo cual fertilizantes y plaguicidas son fuentes importantes de contaminación por estos metales. En este artículo, después de revisar las posibles fuentes naturales y las principales actividades humanas que aportan estos metales a las aguas marinas costeras del Estado de Sinaloa, se resumen los resultados de las investigaciones realizadas en las dos décadas más recientes sobre el contenido de cadmio y plomo en los tejidos comestibles de varios organismos acuáticos de los cuerpos de agua costeros del Estado. En el caso del cadmio, las mayores concentraciones se encontraron en el sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón, posiblemente a causa de las actividades agrícolas del valle de Culiacán. Las concentraciones de plomo en los tejidos blandos de bivalvos parecen indicar una tendencia a la disminución, posiblemente relacionado con el uso de gasolina sin plomo, aunque esto no coincide con los valores encontrados en el tejido comestible de camarones. Además, todos los valores de plomo son superiores a los valores que indican la presencia de impactos ambientales. En cuanto a posibles riesgos para los consumidores de pescados y mariscos, no se encontraron valores superiores a los niveles de riesgo en el músculo de crustáceos y peces, mientras que exceden los recomendados en el caso del contenido de cadmio de algunos bivalvos.

Palabras clave: Metales pesados, impacto ambiental, peces, mariscos, lagunas costeras, Estado de Sinaloa

Lead and cadmium in organisms of commercial importance in the coastal zone of Sinaloa, Mexico: 20 years of studies

ABSTRACT. Lead and cadmium may affect the health of ecosystems and of the consumers of food items contaminated with these metals, which are widely used in several human activities and are, in addition, among the most important products of Mexican mining activities. Agriculture is the main activity in the State of Sinaloa, and for this reason pesticides and fertilizers are important sources of contamination with both metals. In this article we revise the possible natural sources and the main human activities which may contribute these metals to the coastal waters of the Mexican State of Sinaloa, and summarize the results of the investigations of the latest two decades on the lead and cadmium contents of the edible tissues of several aquatic organisms of its coastal water bodies. The highest cadmium concentrations were those found in the Altata-Ensenada del Pabellón lagoonal system, possibly as a result of the agricultural activities of the Culiacán plains. Lead concentrations in bivalves seem to indicate a tendency to lower values, possibly due to the use of unleaded gasoline, although this does not coincide with the values found in shrimp muscles. In addition, all lead values are above the level indicating the presence of environmental impact. The cadmium content of some bivalve exceed the level of risk for human health, whereas the lead and cadmium contents of fish and crustacean edible tissues are below the level of concern.

Keywords: Heavy metals, environmental impact, fish, seafood, coastal lagoons, state of Sinaloa.

Frías-Espericueta, M.G., J.I. Osuna-López, G. Izaguirre-Fierro, M. Aguilar-Juárez & D. Voltolina. 2010. Cadmio y Plomo en organismos de importancia comercial de la zona costera de Sinaloa, México: 20 años de estudios. *CICIMAR Oceánides*, 25(2): 121-134.

INTRODUCCIÓN

I. Fuentes de cadmio y plomo al ambiente

En México existen normas cuyo objetivo es la conservación del medio ambiente. Sin embargo, varios estudios han demostrado la presencia de metales en aire, agua, sedimentos y biota y de su transferencia, así como de su

posible biomagnificación a través de la cadena alimenticia, que pudiera tener consecuencias derivadas de la exposición crónica de los organismos que habitan en zonas impactadas por esos contaminantes (Botello *et al.*, 2005).

En vista de los abundantes aportes naturales (principalmente por intemperismo geológico-

co) y del continuo incremento de los derivados de diferentes actividades humanas, el plomo y el cadmio, están considerados entre los metales de mayor prioridad ambiental en el ámbito internacional.

México no es la excepción, la inadecuada planeación y el escaso control sobre el uso de nuestros recursos naturales, así como la rápida industrialización y el crecimiento desordenado de sus principales ciudades, han sido los factores responsables del aumento de los niveles de concentración de estos metales en el ambiente (Villanueva & Botello, 1998; Flores & Albert, 2004).

La principal actividad del Estado de Sinaloa es la agricultura, con 763,000 Ha dedicadas a la agricultura de riego y 381,000 Ha a cultivos de temporal (OEIDRUS, 2009). La producción anual supera los 8 millones de toneladas, que lo ubican en los primeros lugares en hortalizas (pepino, tomate, calabaza, chile y berenjena), frutas (mango, melón y sandía) y varios tipos de granos, en especial: maíz, sorgo, trigo y frijol (Enciclopedia de los Municipios de México, 2005).

La mayor parte de estos cultivos es de tipo intensivo, por lo cual se utilizan cantidades importantes de plaguicidas y fertilizantes, varios de los cuales contienen metales que llegan a la zona costera mediante los efluentes de los sistemas de riego y las escorrentías superficiales (Soto-Jiménez *et al.*, 2003).

También pueden existir fuentes ajenas a la zona costera, ya que varios estudios han demostrado que el contenido de metales de ambientes ubicados en áreas remotas a las fuentes es el resultado del transporte atmosférico a gran escala de contaminantes generados por diferentes actividades humanas (Rosman *et al.*, 1998; Schwikowski *et al.*, 2004). Entre éstas, son importantes las industrias asociadas a la minería. Por ejemplo, en 1969 y 1971 la fundidora de plomo ubicada en El Paso, Texas, emitió a la atmósfera 1012 y 11 toneladas de Pb y Cd causando graves problemas sanitarios en la zona fronteriza de Chihuahua (Díaz-Barriga *et al.*, 1997), mientras que la fundidora Peñoles (Torreón, Coahuila), que llegó a ser considerada entre las diez más importantes del mundo, es la fuente más probable de los altos niveles de plomo encontrados en la sangre de la población local (Valdés-Perezgasga & Cabrera-Morelos, 1999).

Por este motivo, considerando los volúmenes de estas emisiones y que en Sinaloa los vientos dominantes durante los meses de invierno son del noroeste (Ayala-Castañares *et al.*, 1994), el transporte atmosférico puede ser

considerado como una fuente adicional de metales para la zona costera de Sinaloa.

1.1. Cadmio (Cd)

La actividad volcánica es la mayor fuente natural de Cd a la atmósfera, con un aporte de 100-500 ton/año (WHO, 1992), mientras que en el ambiente marino los volcanes submarinos y las fuentes hidrotermales de las cordilleras mesoocéánicas contribuyen con emisiones significativas (Nriagu & Pacyna, 1988; Clark, 1992).

Otra fuente natural importante de Cd a la zona costera son las surgencias, las cuales transportan metales disueltos y particulados de las aguas más profundas hacia las aguas costeras superficiales. Esto fue observado por Segovia-Zavala *et al.* (2004), quienes relacionaron los altos valores de Cd en el bivalvo *Mytilus californianus* con la presencia de surgencias.

Por su parte, las actividades antropogénicas aportan al ambiente 7300 ton/año de Cd a nivel mundial, y la principal ruta de entrada al ambiente son las emisiones atmosféricas derivadas de la actividad minera, y de la refinación y fundición de minerales, el uso de combustibles fósiles y las escorrentías de zonas agrícolas (Martelli *et al.*, 2006).

De acuerdo con la Cámara Minera de México (CAMIMEX), el cadmio se obtiene como subproducto del proceso de purificación de los concentrados de zinc, aunque en la actualidad el Cd reciclado (principalmente recuperado de baterías desechadas de níquel-cadmio) representa cerca del 20% de la producción mundial, que varió de 17,800 a 20,300 ton entre 2000 y 2008 (US Geological Survey, 2009a). Más del 60% de la producción mundial se obtiene en el continente asiático; los mayores productores son China, Japón y Corea del Sur (CAMIMEX, 2010).

Hasta años recientes, el uso principal de este metal era el recubrimiento de objetos metálicos para protegerlos de la corrosión, mientras que en la actualidad se estima que más del 80-85% de la producción mundial es usado para la fabricación de baterías recargables. Otras aplicaciones incluyen pigmentos, recubrimientos y electroplateado, estabilizadores para plásticos y aleaciones no ferrosas en la industria aeronáutica y automotriz, entre otras (Landis & Yu, 1999).

México es el quinto productor mundial de Cd, cuyos minerales se encuentran generalmente asociados con minerales de Zn, a tal punto que el nivel de producción de Cd está re-

lacionado con la demanda de Zn en los mercados internacionales. Aunque Sinaloa no es uno de los estados Mexicanos productores importantes de Cd, su producción de Zn se acerca o supera las 4000 ton/año (CAMIMEX, 2010), por lo cual es probable que los desechos de la actividad minera puedan aportar Cd al ambiente costero de Sinaloa.

Las principales fuentes de Cd para los suelos agrícolas son los fertilizantes fosforados (McLaughlin & Singh, 1999), ya que la materia prima para su producción son rocas fosfóricas, principalmente apatita, que contiene Cd en cantidades que varían entre 8 y 500 mg/kg (Laegreid *et al.*, 1999). En vista de la importancia de la agricultura en el Estado de Sinaloa, los efluentes agrícolas se deben considerar como una de las más importantes fuentes de Cd para las aguas costeras del Estado.

I.2. Plomo (Pb)

El plomo es un metal resistente a la corrosión, denso, dúctil y maleable y con un bajo punto de fusión, por lo cual ha sido utilizado desde la antigüedad y ha acompañado al hombre en su crecimiento económico. La producción mundial de plomo en el 2008 fue de 3 840,000 ton (US Geological Survey, 2009b).

La CAMIMEX, en su informe 2010, reporta a México como el quinto productor mundial de plomo con una producción de 100,361 ton en 2009, de las cuales 2,333 ton se produjeron en Sinaloa.

De acuerdo con la Agencia para el Registro de Sustancias Tóxicas de Estados Unidos, existe una amplia variedad de productos que contienen plomo, por lo que este metal se califica como el contaminante químico más común en el ambiente (ATSDR, 2007).

Levin *et al.* (2008) enlistan las fuentes más comunes de plomo a las cuales está expuesta la población, como son los alimentos (ya que se pueden contaminar al contacto con metales, con los pigmentos del envase, con vidrio o por falta de control de calidad durante el proceso de empaquetado), la leche materna, el agua potable (debido a corrosión de tuberías), chocolates, dulces y suplementos alimenticios, platos y recipientes de vidrio (algunos tipos de cristal pueden contener hasta 24-32% de óxido de plomo), loncheras de vinil, juguetes, PVC (ya que para estabilizar este polímero se usan sales de plomo), césped sintético, cerámicas y pinturas.

Los usos más importantes del Pb son la fabricación de baterías, y pinturas; entre las industrias que usan Pb en sus procesos, Levin

et al. (2008) señalan a las que se dedican a la fabricación de cables, plásticos, metales, varios tipos de vidrio y cerámicas, productos químicos y equipo electrónico, entre otras.

Probablemente la fuente más conocida de problemas sanitarios causados por plomo son las pinturas residenciales que se utilizaron hasta la década de los 1970s, cuyo residuos se consideran todavía como fuentes importantes de riesgo tanto para la salud humana como para el ambiente (Jacobs & Nevin, 2006).

El transporte atmosférico es la fuente más importante de Pb tanto para el ambiente terrestre como para el acuático (UNEP-GESAMP, 1985), pero otras actividades humanas pueden causar graves impactos a nivel regional o local, entre las cuales cabe mencionar la reutilización del plomo de baterías automotrices.

Uno de los ejemplos más impactantes fueron los numerosos decesos entre los habitantes de Haina (República Dominicana) que vivían cerca de una fundidora abandonada de baterías, en los cuales Haefliger *et al.* (2009) encontraron en la sangre concentraciones de Pb de hasta 71 µg/dL, en comparación con el límite máximo aceptable por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, que es 10 µg/dL (EPA, 2000). Fuller (2009) amplió la investigación sobre este caso, encontrando que esta actividad es un serio problema sanitario en varias áreas con poblaciones de escasos recursos, entre las cuales menciona a cuatro países Latinoamericanos.

En México, las baterías de automóviles se cambian en promedio cada dos o tres años y en vista de que varias ciudades de Sinaloa tienen una alta proporción de automóviles con respecto al número de habitantes, sería adecuado realizar un estudio sobre el destino de las baterías desechadas, que son una fuente potencial de impacto ambiental.

De igual manera, sería necesario indagar los aportes de los diferentes contaminantes contenidos en la chatarra electrónica (computadoras, televisores, teléfonos celulares y fijos, entre otros) la cual contiene, entre otros, cantidades elevadas de Cd y Pb (Benítez *et al.*, 2010). Esta investigación debería ser prioritaria ya que, según la evaluación del Instituto Nacional de Ecología (Gavilán-García, 2009), la cantidad de esta chatarra aumentó a nivel nacional desde 130,000 toneladas en el año 2000 hasta las 257,000 toneladas desechadas en 2006.

Otra fuente de Pb que puede ser importante, por lo menos a nivel local, son los perdigones de caza y las plomadas de pesca los cuales, aunque no son fácilmente solubles,

pueden ser ingeridos por peces o aves acuáticas o integrarse por intemperismo al ambiente en forma de partículas, causando problemas locales de toxicidad y de impacto ambiental (Scheuhammer & Norris, 1996; Goddard *et al.*, 2008).

II. Niveles de concentración

En su estudio sobre las tendencias históricas de la concentración por metales en sedimentos del estuario del Río Culiacán, Ruiz-Fernández *et al.* (2003) observaron un aumento considerable entre 1970 y 1980, que relacionaron con el desarrollo agrícola del valle de Culiacán. Este desarrollo originó un crecimiento de la población, el cual a su vez causó un aumento de aguas residuales y de otros materiales de desecho en la cuenca del Río Culiacán.

También observaron que Co, Cu, Ni y Zn presentaron las más altas concentraciones en los sedimentos superficiales, que consideraron como una indicación de un aumento progresivo de los flujos de estos metales, probablemente relacionado con el crecimiento de las actividades agrícolas. Por el contrario, Cd y Pb presentaron máximos sub-superficiales, que indicaron un decremento de la entrada de Pb al ambiente, lo cual fue relacionada con la reducción del contenido de Pb en la gasolina.

En la laguna de Chiricahueto, aledaña a la laguna de Altata-Ensenada del Pabellón, Soto-Jiménez *et al.* (2003) reportaron aportaciones antropogénicas significativas de Cd y Pb, e identificaron a la agricultura (3-10 g de Cd/Ha/año) y los efluentes domésticos (< 350 kg de Cd/año) como las fuentes más significativas de Cd. Aunque no reportaron flujos para Pb, identificaron como fuentes de este metal las aportaciones atmosféricas y las aguas residuales.

Es de esperar que los metales contenidos en los tejidos de los organismos aumenten en paralelo con el incremento de la concentración en el ambiente. A continuación se resumen los resultados de los estudios realizados en las lagunas costeras de Sinaloa, en los cuales se utilizaron diferentes organismos para cuantificar el nivel de contaminación por metales en esos ecosistemas.

Por sus características de organismos filtradores, cosmopolitas, abundantes, sedentarios y por tanto disponibles todo el año, además de tener la capacidad de acumular en sus tejidos diferentes tipos de contaminantes que pueden tolerar en concentraciones relativamente altas, los moluscos bivalvos (ostiones y mejillones) se han utilizado desde hace varias décadas en los programas de monitoreo ambiental.

En efecto, es por estas características que los bivalvos son conocidos como biomonitores, y el número de estudios sobre el contenido de metales en moluscos bivalvos es mayor de los estudios dirigidos a investigar el contenido en otros organismos.

II.1. Cadmio

En Sinaloa, la mayoría de los estudios se han realizado en las lagunas de Altata-Ensenada del Pabellón y en el Estero de Urías, en el cual en 1990 el ostión *Crassostrea corteziensis* presentó un intervalo de concentraciones de 0.8-1.0 µg/g (Osuna-López *et al.*, 1990), que aumentó a 0.5-2.5 µg/g para el año 2000 (Ruelas-Inzunza & Páez-Osuna, 2000).

Valores similares fueron encontrados en la misma laguna y en años más recientes por Frías-Espéricueta *et al.* (2005a; 2009a) y una tendencia similar puede ser observada en la misma laguna para el mejillón *Mytella strigata* (Tabla 1).

Aunque no se deben descartar las aportaciones marinas causadas por el ingreso de aguas con concentraciones relativamente elevadas de metales a causa de las surgencias costeras, los niveles más altos de Cd son los reportados en *C. corteziensis* de la laguna de Altata-Ensenada del Pabellón. Esto pudiera indicar un mayor impacto antropogénico en este sistema lagunar, probablemente debido a los aportes de los efluentes agrícolas del valle de Culiacán.

Al igual que para ostiones y mejillones de la laguna de Altata-Ensenada del Pabellón, en esta misma laguna se encontraron los valores más altos de Cd en dos de las tres especies de camarón estudiadas en 2004. Estos valores superaron todos los reportados para otras lagunas costeras, incluyendo los registrados durante 2009 en siete lagunas, una de las cuales fue el sistema Altata-Ensenada del Pabellón (Tabla 2).

Por otra parte, los valores reportados en las últimas dos décadas en el músculo comestible de peces son muy similares en todas las lagunas y zonas costeras de Sinaloa, aunque es importante comentar que los estudios realizados en peces son insuficientes para detectar una tendencia del contenido de Cd en los tejidos de estos organismos (Tabla 3).

Las Normas Oficiales Mexicanas (Secretaría de Salud, 1993 a, b y c) reportan como límite máximo permisible para el consumo humano de peces, crustáceos y moluscos un contenido de 0.5 mg/kg de peso fresco (aproximadamente 2 µg/g de peso seco). De acuerdo

Tabla 1. Niveles de concentración de cadmio (Cd en µg/g de peso seco del tejido blando) en bivalvos de importancia comercial de diversas zonas costeras de Sinaloa.**Table 1.** Cadmium concentrations (Cd in µg/g, dry weight of soft tissues) in bivalve species of commercial importance from different coastal areas of Sinaloa.

Zona	Especie	Cd (µg/g)	Referencia
Estero de Urías	<i>Mytella strigata</i>	0.5-0.6	Marmolejo-Rivas & Páez-Osuna (1990)
Estero de Urías	<i>Crassostrea corteziensis</i>	0.8-1.0	Osuna-López <i>et al.</i> (1990)
Playa Cerritos	<i>C. iridescens</i>	1.9-4.7	Páez-Osuna & Marmolejo-Rivas (1990)
Navachiste	<i>Chione</i> sp.	1.5	Páez-Osuna <i>et al.</i> (1991)
Navachiste	<i>C. corteziensis</i>	5.6-18.2	Páez-Osuna <i>et al.</i> (1991)
Altata-Ensenada del Pabellón	<i>Chione subrugosa</i>	1.7-3.5	Páez-Osuna <i>et al.</i> (1993)
Altata-Ensenada del Pabellón	<i>Tellina</i> sp.	2.9-8.7	Páez-Osuna <i>et al.</i> (1993)
4 lagunas costeras	<i>M. strigata</i>	0.7-1.9	Osuna-López <i>et al.</i> (2009) (datos de 1996)
Estero de Urías	<i>M. strigata</i>	0.40-0.75	Szefer <i>et al.</i> (1998)
Playa Cerritos	<i>C. iridescens</i>	2.4	Frías-Espericueta <i>et al.</i> (1999a)
Ensenada del Pabellón	<i>C. corteziensis</i>	1.40-5.9	Osuna-López <i>et al.</i> (1999)
Bahía de Mazatlán	<i>C. iridescens</i>	2.7-3.1	Frías-Espericueta <i>et al.</i> (1999b)
Estero de Urías	<i>C. corteziensis</i>	0.5-2.5	Ruelas-Inzunza & Páez-Osuna (2000)
Estero de Urías	<i>M. strigata</i>	0.5-1.0	Ruelas-Inzunza & Páez-Osuna (2000)
Estero de Urías	<i>C. corteziensis</i>	1.1-6	Frías-Espericueta <i>et al.</i> (2005a)
Laguna de Altata	<i>C. corteziensis</i>	5.96-7.25	Frías-Espericueta <i>et al.</i> (2008)
Laguna de Altata	<i>M. strigata</i>	5.11-7.09	Frías-Espericueta <i>et al.</i> (2008)
Laguna de Altata	<i>M. squalida</i>	2.59-4.13	Frías-Espericueta <i>et al.</i> (2008)
7 lagunas costeras	<i>C. corteziensis</i>	5.34	Frías-Espericueta <i>et al.</i> (2009a)

con los datos que se reportaron para los cuerpos de agua costeros de Sinaloa, todos los valores de Cd en el músculo comestible de peces se encuentran por debajo de este límite. no obstante, Ruelas-Inzunza y Páez-Osuna (2004) reportaron valores más altos en algunas muestras del tejido comestible de camarones de Altata-Ensenada del Pabellón.

II.2. Plomo

El Pb, como se mencionó, es muy utilizado por el hombre, por lo cual los niveles de su concentración en los tejidos de los organismos que se estudiaron en los varios sistemas lagunares de Sinaloa son notablemente mayores de los

registrados para Cd.

Osuna-López *et al.* (1990) registraron valores de entre 0.32 y 1.8 µg/g de Pb en los tejidos del ostión *C. corteziensis* del Estero de Urías (Tabla 4). Para el año 2000, Ruelas-Inzunza y Páez-Osuna (2004) reportaron un intervalo de 1-25 µg/g, que implica un aumento en el contenido de Pb de un orden de magnitud en 10 años. Recientemente, Frías-Espericueta *et al.* (2009a) reportaron un promedio anual de 6.51 µg/g, y mencionaron que esta aparente disminución pudiera estar relacionada con el uso de gasolina libre de Pb, aunque es probable que este se encuentre inmovilizado en varias formas en los sedimentos, que son con-

Tabla 2. Niveles de concentración de cadmio (Cd en µg/g de peso seco del tejido comestible) en crustáceos de importancia comercial de diversas zonas costeras de Sinaloa.**Table 2.** Cadmium concentrations (Cd in µg/g, dry weight of edible tissue) in crustacean species of commercial importance from different coastal areas of Sinaloa..

Zona	Especie	Cd (µg/g)	Referencia
Huizache-Caimanero	<i>Litopenaeus vannamei</i>	0.05-1.32	Páez-Osuna & Ruiz-Fernández (1995a)
Teacapán	<i>L. stylirostris</i>	0.2-0.6	Páez-Osuna & Ruiz-Fernández (1995b)
Huizache-Caimanero	<i>L. vannamei</i>	<0.05	Páez-Osuna & Tron-Mayen (1996)
Mazatlán	<i>Panulirus gracilis</i>	0.4-0.70	Morales-Hernández <i>et al.</i> (2004)
Altata-Ensenada del Pabellón	<i>L. stylirostris</i>	0.3-0.6	Ruelas-Inzunza & Páez-Osuna (2004)
Altata-Ensenada del Pabellón	<i>L. vannamei</i>	1-5	Ruelas-Inzunza & Páez-Osuna (2004)
Altata-Ensenada del Pabellón	<i>Farfantepenaeus californiensis</i>	2-8	Ruelas-Inzunza & Páez-Osuna (2004)
3 lagunas costeras	<i>L. vannamei</i>	0.66-0.89	Frías-Espericueta <i>et al.</i> (2005b)
Mazatlán Sinaloa	<i>L. stylirostris</i>	0.25	Frías-Espericueta <i>et al.</i> (2005c)
Mazatlán Sinaloa	<i>L. stylirostris</i>	0.6-0.8	Frías-Espericueta <i>et al.</i> (2007)
7 lagunas costeras	<i>L. vannamei</i>	0.36-0.76	Frías-Espericueta <i>et al.</i> (2009b)

Tabla 3. Niveles de concentración de cadmio (Cd en µg/g de peso seco del tejido comestible) en peces de importancia comercial de diversas zonas costeras de Sinaloa.

Table 3. Cadmium concentrations (Cd in µg/g, dry weight of edible tissue) in fish species of commercial importance from different coastal areas of Sinaloa.

Zona	Especie	Cd (µg/g)	Referencia
Valle de Culiacán	<i>Mugil curema</i>	0.4	Izaguirre-Fierro <i>et al.</i> (1992)
Valle de Culiacán	<i>Oreochromis mossambicus</i>	0.4-0.6	Izaguirre-Fierro <i>et al.</i> (1992)
Altata	<i>Mugil cephalus</i>	0.3	Ruelas-Inzunza & Páez-Osuna (2008)
Topolobampo	<i>Scomberomorus sierra</i>	<0.5	Ruelas-Inzunza <i>et al.</i> (2010)
Altata	<i>M. cephalus</i>	<0.5	Ruelas-Inzunza <i>et al.</i> (2010)
Estero de Urías	<i>M. cephalus</i>	0.27-0.33	Frías-Espericueta <i>et al.</i> (2010)
Mazatlán	<i>S. sierra</i>	0.02-0.47	Frías-Espericueta <i>et al.</i> (2010)

siderados como el destino final de los metales.

De acuerdo con Cantillo (1998), las lagunas costeras o cuerpos de agua en general se consideran como zonas impactadas cuando sus ostiones o mejillones tienen un contenido de Pb superior a 3.2 µg/g. Debido a que todos los estudios realizados en Sinaloa a partir de 1999 reportan un contenido de Pb mayor de este valor, todos los cuerpos de agua estudiados deberían ser considerados como zonas de riesgo.

Contrariamente a estudios con moluscos, los resultados de los estudios más recientes sobre crustáceos indican que su contenido ac-

tual de plomo es mayor que los valores que se reportaron en los estudios realizados al inicio de la década (Tabla 5).

La información sobre peces es reciente, por lo cual no es posible describir una tendencia del contenido de Pb en los tejidos de estos organismos. La única excepción son los datos obtenidos por Izaguirre-Fierro *et al.* (1992) en cuerpos de agua interiores, aledaños a la Ensenada del Pabellón, que soportan una fuerte actividad cinegética y que reciben cantidades importantes de aguas residuales de la agricultura y agroindustria. La información disponible indica que el tejido comestible de *Mugil*

Tabla 4. Niveles de concentración de plomo (Pb en µg/g de peso seco del tejido blando) en bivalvos de importancia comercial de diversas zonas costeras de Sinaloa.

Table 4. Lead concentrations (Pb in µg/g, dry weight of soft tissues) in bivalve species of commercial importance from different coastal areas of Sinaloa.

Zona	Especie	Pb (µg/g)	Referencia
Estero de Urías	<i>Mytella strigata</i>	5-12	Marmolejo-Rivas & Páez-Osuna (1990)
Estero de Urías	<i>Crassostrea corteziensis</i>	0.32-1.8	Osuna-López <i>et al.</i> (1990)
Playa Cerritos	<i>C. iridescens</i>	5-10	Páez-Osuna & Marmolejo-Rivas (1990)
Navachiste	<i>Chione sp.</i>	<0.2	Páez-Osuna <i>et al.</i> (1991)
Navachiste	<i>C. corteziensis</i>	0.2-1.7	Páez-Osuna <i>et al.</i> (1991)
4 lagunas costeras	<i>M. strigata</i>	9-17.1	Osuna-López <i>et al.</i> (2009) (datos de 1996)
Estero de Urías	<i>M. strigata</i>	0.8-1.8	Szefer <i>et al.</i> (1998)
Playa Cerritos	<i>C. iridescens</i>	3.1	Frías-Espericueta <i>et al.</i> (1999a)
Ensenada del Pabellón	<i>C. corteziensis</i>	4.7-11	Osuna-López <i>et al.</i> (1999)
Estero de Urías	<i>C. corteziensis</i>	1-25	Ruelas-Inzunza & Páez-Osuna (2000)
Estero de Urías	<i>M. strigata</i>	5-20	Ruelas-Inzunza & Páez-Osuna (2000)
7 lagunas costeras	<i>C. corteziensis</i>	2.3-7.6	Páez-Osuna <i>et al.</i> (2002)
Estero de Urías	<i>C. corteziensis</i>	6.4-19.4	Frías-Espericueta <i>et al.</i> (2005a)
Laguna de Altata	<i>C. corteziensis</i>	7.70-8.79	Frías-Espericueta <i>et al.</i> (2008)
Laguna de Altata	<i>M. strigata</i>	4.50-6.31	Frías-Espericueta <i>et al.</i> (2008)
Laguna de Altata	<i>Megapitaria squalida</i>	6.59-8.43	Frías-Espericueta <i>et al.</i> (2008)
7 lagunas costeras	<i>C. corteziensis</i>	6.30	Frías-Espericueta <i>et al.</i> (2009a)

Tabla 5. Niveles de concentración de plomo (Pb en $\mu\text{g/g}$ de peso seco del tejido comestible) en crustáceos de importancia comercial de diversas zonas costeras de Sinaloa.

Table 5. Lead concentrations (Pb in $\mu\text{g/g}$, dry weight of soft tissue) in crustacean species of commercial importance from different coastal areas of Sinaloa.

Zona	Especie	Pb ($\mu\text{g/g}$)	Referencia
Mazatlán	<i>Panulirus gracilis</i>	0.1.2-1.9	Morales-Hernández <i>et al.</i> (2004)
Altata-Ensenada del Pabellón	<i>Litopenaeus stylirostris</i>	0.25-0.75	Ruelas-Inzunza & Páez-Osuna (2004)
Altata-Ensenada del Pabellón	<i>L. vannamei</i>	0.5	Ruelas-Inzunza & Páez-Osuna (2004)
Altata-Ensenada del Pabellón	<i>Farfantepenaeus californiensis</i>	0.5	Ruelas-Inzunza & Páez-Osuna (2004)
3 lagunas costeras	<i>L. vannamei</i>	2.3-4.5	Frías-Espericueta <i>et al.</i> (2005b)
Mazatlán Sinaloa	<i>L. stylirostris</i>	7.81	Frías-Espericueta <i>et al.</i> (2005c)
Mazatlán Sinaloa	<i>L. stylirostris</i>	5-8.8	Frías-Espericueta <i>et al.</i> (2007)
7 lagunas costeras	<i>L. vannamei</i>	4.21-6.93	Frías-Espericueta <i>et al.</i> (2009b)

cephalus del Estero de Urías presenta el mayor contenido de Pb (Tabla 6).

Las Normas Oficiales Mexicanas (1993) establecen como límite máximo para el consumo humano 1 mg/kg de peso fresco (aproximadamente 4 $\mu\text{g/g}$ de peso seco) de Pb en crustáceos y peces. Aunque los niveles reportados en peces son inferiores a este valor, se han reportado valores mayores en algunos estudios realizados en camarones (Tabla 5), cuyo consumo puede representar un riesgo para la salud si se consumieran frecuentemente y en cantidades considerables.

La concentración de Pb determinada en estos organismos representa la suma de las cantidades aportadas por las actividades antropogénicas y por las fuentes naturales, que se acumulan en la cadena alimenticia. Aunque varios estudios indican que el hombre moviliza más metales que la naturaleza, sería importante realizar estudios con isótopos para diferenciar los tipos de aportes al ambiente.

III. Efectos en humanos

El consumo de productos alimenticios con un elevado contenido de metales, en especial cuando estos productos se incorporan en

la dieta en forma regular o frecuente, puede representar un peligro para los consumidores. Aunque en la mayoría de los casos las concentraciones reportadas hasta la fecha son inferiores a los límites de seguridad, existen algunos ejemplos que es necesario considerar para evitar problemas potenciales para los consumidores.

Así, por ejemplo, Frías-Espericueta *et al.* (2009a) reportaron que el consumo de más de 40 a 75 g (peso fresco) diarios del ostión *C. corteziensis* es suficiente para alcanzar el límite máximo de ingestión diaria de Cd recomendado por las agencias internacionales encargadas del cuidado de la salud pública (USFDA, 1993), que para una persona adulta es de 55 $\mu\text{g/día}$ de Cd; mientras que se pueden consumir diariamente aproximadamente 500 g de músculo de camarón sin alcanzar el nivel recomendado (Frías-Espericueta *et al.*, 2009b).

Sin embargo, los productos del mar no son la única fuente de estos metales, por lo cual es necesario considerar el contenido de todos los ingredientes de la dieta diaria, para evitar el riesgo de una exposición crónica, la cual puede tener los efectos que se resumen en los apartados siguientes

Tabla 6. Niveles de concentración de plomo (Pb en $\mu\text{g/g}$ de peso seco del tejido comestible) en peces de importancia comercial de diversas zonas costeras de Sinaloa.

Table 6. Lead concentrations (Pb in $\mu\text{g/g}$, dry weight of soft tissue) in fish species of commercial importance from different coastal areas of Sinaloa.

Zona	Especie	Pb ($\mu\text{g/g}$)	Referencia
Valle de Culiacán	<i>Mugil curema</i>	2.8	Izaguirre-Fierro <i>et al.</i> (1992)
Valle de Culiacán	<i>Oreochromis mossambicus</i>	0.1-1.0	Izaguirre-Fierro <i>et al.</i> (1992)
Altata	<i>Mugil cephalus</i>	1.0	Ruelas-Inzunza & Páez-Osuna (2008)
Topolobampo	<i>Scomberomorus sierra</i>	0.8	Ruelas-Inzunza <i>et al.</i> (2010)
Altata	<i>M. cephalus</i>	1.25	Ruelas-Inzunza <i>et al.</i> (2010)
Estero de Urías	<i>M. cephalus</i>	2.07-3.05	Frías-Espericueta <i>et al.</i> (2010)
Mazatlán	<i>S. sierra</i>	0.10-3.95	Frías-Espericueta <i>et al.</i> (2010)

III.1 Cadmio

A nivel bioquímico, el cadmio puede unirse a los grupos SH de proteínas, enzimas y otros componentes celulares, alterando su estructura y sus funciones. Este metal puede afectar el metabolismo energético de la célula, desacoplando la fosforilación oxidativa mitocondrial (Landis & Yu, 1999).

Entre sus efectos, el Cd causa disfunciones renales relacionadas con su alta exposición ambiental y/o laboral. Incluso provocó severos daños renales y en el esqueleto de mujeres que consumieron arroz contaminado con este metal (Fowler, 1996).

Akesson *et al.* (2006) observaron un efecto de este metal durante la reabsorción del hueso de mujeres suecas de 53 a 64 años de edad y recomendaron más estudios sobre el papel del Cd en la etiología de la osteoporosis.

Según la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer existe suficiente evidencia para considerar al cadmio como un metal carcinogénico (IARC, 1993), principalmente debido a la exposición laboral. En efecto, existen estudios que relacionan a este metal con cáncer de pulmón, próstata, riñón, hígado, sistema hematopoyético y estómago, aunque existen controversias sobre la relación entre el Cd y el cáncer de próstata (Waalkes & Misra, 1996).

Aunque fetos y recién nacidos no están expuestos a este metal ya que la placenta actúa como una barrera para el cadmio (no así para el plomo y mercurio) y además porque el contenido de Cd de la leche materna es muy bajo (Osman *et al.*, 2000), su exposición empieza a temprana edad debido al contenido de Cd en alimentos, humo de cigarro (como fumadores pasivos) y en el polvo de los hogares (Cao *et al.*, 2009). Además, los niños incorporan metales más rápidamente que los adultos, y son más sensibles desde el punto de vista biológico y de desarrollo, por lo cual se han observado efectos negativos en el riñón de niños expuestos a niveles ambientales de Cd (Fels *et al.*, 1998).

III.2 Plomo

El envenenamiento por Pb es denominado plumbosis o saturnismo, debido a que los alquimistas llamaban Saturno a este metal. Uno de sus efectos más conocidos es la anemia causada por inhibición de las enzimas ALA-D y ferrocatalasa, que intervienen en la síntesis del grupo heme de la hemoglobina (Landis & Yu, 1999).

El Pb puede afectar a varios órganos, causando patologías diferentes, y los niños son más sensibles que los adultos. Aunque una sola dosis puede causar problemas de toxicidad, es mucho más común que el envenenamiento por plomo sea causado por una exposición continua a bajas concentraciones.

En la Ciudad de México, Schnaas *et al.* (2006) analizaron el nivel de Pb en la sangre de mujeres embarazadas que estuvieron expuestas al Pb presente en el aire y en artículos de cerámica y observaron un bajo coeficiente intelectual (IQ) en los niños cuyas madres tenían los mayores niveles de Pb durante la gestación, que afectó al sistema nervioso central del feto.

De igual manera, Lanphear *et al.* (2005) relacionaron el contenido de Pb en la sangre de 1,333 niños (de 5 a 10 años) con su IQ, concluyendo que la exposición ambiental al Pb está asociada con déficits intelectuales.

En adultos, Shih *et al.* (2007) analizaron los resultados de una década de estudios (1996-2006) sobre la relación entre síntomas del neuro-comportamiento y exposición reciente (en sangre) y crónica (en huesos) al Pb y concluyeron que existe suficiente evidencia para afirmar que existe una relación entre la dosis de plomo y la disminución de las funciones cognitivas (memoria, atención, razonamiento, lenguaje) en adultos expuestos laboralmente al Pb.

Este efecto ha sido relacionado con la sustitución del Ca por Pb, que interfiere con algunos procesos regulados por el Ca y permite que el Pb pueda afectar algunas partes del cerebro como el hipocampo, que es una región crítica para la memoria y el aprendizaje (Eichenbaum, 2001).

CONCLUSIÓN

Los estudios realizados en la zona costera de Sinaloa indican que, probablemente debido a los efluentes agrícolas y al transporte de productos de la minería, algunos organismos acuáticos de importancia comercial como el ostión *C. corteziensis* de varias lagunas de Sinaloa y el camarón *L. vannamei* de la laguna de Altata-Ensenada del Pabellón, presentan concentraciones de cadmio y plomo relativamente altas, por lo cual es posible concluir que, aunque sin todavía alcanzar niveles críticos, existe un problema ambiental en esta zona del país, a pesar de los esfuerzos por parte de los gobiernos federal y estatal.

Por lo tanto, se requieren programas permanentes de monitoreo ambiental que incluya agua, aire y sedimentos, así como el monitoreo

del contenido de cadmio y plomo en sangre y otros tejidos de grupos representativos de la población expuesta a estos metales.

REFERENCIAS

- Akesson, A., P. Bjellerup, T. Lundh, J. Lidfeldt, C. Nerbrand, G. Samsioe, S. Skerfving & M. Vahter. 2006. Cadmium-induced effects on bone in a population-based study of women. *Environ. Health Persp.*, 114: 830-834.
- ATSDR. 2007. *ToxFAQs for lead*. Agency for Toxic Substances and Diseases Registry. <http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts13.html>
- Ayala-Castañares, A., M. Gutiérrez-Estrada, A. Galaviz-Solís & V.M. Malpica-Cruz. 1994. Geología marina del sistema lagunar Alta-ta-Pabellones, Sinaloa, México. *An. Inst. Cien. Mar Limnol. Universidad Nacional Autónoma de México*, 21 (1-2): 129-147.
- Benítez, G., A. Risques & M.S. Lara. 2010. La basura electrónica: computadoras, teléfonos celulares, televisores. *La Ciencia y el Hombre*, 23. <http://www.uv.mx/cienciahombre/revistae/vol23num1/articulos/basuras/index.html>
- Botello, A.V., J. Rendón von Osten, G. Gold-Bouchot & C. Arnaz-Hernández. (Eds.). 2005. *Golfo de México: contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias* (2ª ed.). Univ. Autónoma de Campeche, Campeche. 695 p.
- CAMIMEX. 2010. Cámara Minera de México. Estadísticas. Informe anual 2010. <http://camimex.org.mx/publicaciones/info2010.pdf>
- Cantillo, A.Y. 1998. Comparison of results of mussel watch programs of the United States and France with worldwide mussel watch studies. *Mar. Pollut. Bull.*, 36: 712-717.
- Cao, Y., A. Chen, J. Radcliffe, K.N. Dietrich, R.L. Jones, K. Caldwell & W.J. Rogan. 2009. Postnatal cadmium exposure, neurodevelopment, and blood pressure in children at 2, 5, and 7 years of age. *Environ. Health Persp.*, 117: 1580-1586.
- Clark, R.B. 1992. *Marine pollution*. Clarendon Press, Oxford. 172 p.
- Díaz-Barriga, F., L. Batres, J. Calderón, A. Lugo, L. Galvao, I. Lara, P. Rizo, M.E. Arroyave & R. McConnell. 1997. The El Paso smelter 20 years later: residual impact Mexican children. *Environ. Res.*, 74: 11-16.
- Eichenbaum, H. 2001. The hippocampus and declarative memory: cognitive mechanisms and neural codes. *Behav. Brain Res.*, 127: 199-207.
- Enciclopedia de los Municipios de México. 2005. Sinaloa. <http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/sinaloa/econ.htm>
- EPA. 2000. *Concentrations of Lead in Blood*. U. S. Environmental Protection Agency. http://yosemite.epa.gov/OCHP/OCHPWEB.nsf/content/blood_lead_levels.html.
- Fels, L.M., M. Wunsch, J. Baranowski, I. Norska-Borowka & R.G. Price. 1998. Adverse effects of chronic low level lead exposure on kidney function- a risk group study in children. *Nephrol. Dial. Transpl.*, 13: 2248-2256.
- Flores, J. & L.A. Albert. 2004. Environmental lead in Mexico, 1990-2002. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.*, 181: 37-109.
- Fowler B.A. 1996. The Nephropathology of Metals, 721-729. En: Chang, L.W. (Ed.) *Toxicology of metals*. CRC Lewis, Boca Raton.
- Frías-Espéricueta, M.G., J.I. Osuna-López, G. Sandoval-Salazar & G. López-López. 1999a. Distribution of trace metals in different tissues in the rock oyster *Crassostrea iridescens*: seasonal variation. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 63: 73-79.
- Frías-Espéricueta, M.G., M.A. Ortiz-Arellano, J.I. Osuna-López & A. Ronson-Paulin. 1999b. Heavy metals in the rock oyster *Crassostrea iridescens* (Filibranchia: Ostreidae) from Mazatlan city, Mexico. *Rev. Biol. Trop.*, 47: 843-849.
- Frías-Espéricueta, M.G., J.I. Osuna-López, S. Flores-Reyes, G. López-López & G. Izaguirre-Fierro. 2005a. Heavy metals in oyster *Crassostrea corteziensis* from Urias lagoon, Mazatlán, Mexico; associated to different anthropogenic discharges. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 74: 996-1002.
- Frías-Espéricueta, M.G., J.I. Osuna-López, F.J. Estrada-Toledo, G. López-López & G. Izaguirre-Fierro. 2005b. Heavy metals in the edible muscle of shrimps from several coastal lagoons located in the NW of Mexico. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 74: 1098-1104.
- Frías-Espéricueta, M.G., J.I. Osuna-López, F. Valenzuela-Quñones, B.F. Bocardo-Ve-

- lázquez, G. Izaguirre-Fierro & G. López-López. 2005c. Metales pesados en el camarón azul *Litopenaeus stylirostris* capturado en la zona costera aledaña a Mazatlán Sinaloa. *Ciencia y Tecnología*, 1(3): 9-16.
- Frías-Espericueta, M.G., G. Izaguirre-Fierro, F. Valenzuela-Quiñonez, J.I. Osuna-López, D. Voltolina, G. López-López, M.D. Muy-Rangel & W. Rubio-Castro. 2007. Metal content of the Gulf of California blue shrimp *Litopenaeus stylirostris*. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 79: 214-217.
- Frías-Espericueta, M.G., J.I. Osuna-López, D. Voltolina, G. López-López, G. Izaguirre-Fierro & M.D. Muy-Rangel. 2008. The metal content of bivalve molluscs of a coastal lagoon of NW Mexico. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 80: 90-92.
- Frías-Espericueta, M.G., J.I. Osuna-López, I. Bañuelos-Vargas, G. López-López, M.D. Muy-Rangel, G. Izaguirre-Fierro, W. Rubio-Carrasco, P.C. Meza-Guerrero & D. Voltolina. 2009a. Cadmium, copper, lead and zinc content of the mangrove oyster *Crassostrea corteziensis* of seven coastal lagoons of NW Mexico. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 83: 595-599.
- Frías-Espericueta, M.G., J.I. Osuna-López, D. Voltolina, M.A. Beltrán-Velarde, G. Izaguirre-Fierro, G. López-López, M.D. Muy-Rangel & W. Rubio-Carrasco. 2009b. The content of Cd, Cu, Pb and Zn of the white shrimp *Litopenaeus vannamei* of six coastal lagoons of Sinaloa, NW Mexico. *Rev. Biol. Mar. Oceanogr.*, 44: 197-201.
- Frías-Espericueta, M.G., J.M. Quintero-Álvarez, J.I. Osuna-López, C.M. Sánchez-Gaxiola, G. López-López, G. Izaguirre-Fierro & D. Voltolina. 2010. The metal contents of four commercial fish species of NW Mexico. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, DOI 10.1007/s00128-010-0092-z.
- Fuller, R. 2009. Lead exposures from car batteries - a global problem. *Environ. Health Persp.*, 117: A535. DOI: 10.1289/ehp.0901163.
- Gavilán-García, A. 2009. *Diagnóstico de la generación de residuos electrónicos en México: Inventario nacional*. http://www.ine.gob.mx/descargas/sqre/2009_foro_res_electronicos_01_gavilan.pdf
- Goddard, C.I., N.J. Leonard, D.L. Stang, P.J. Wingate, B.A. Rattner, J. Franson & S.R. Sheffield. 2008. Management concerns about known and potential impacts of lead use in shooting and in fishing activities. *Fisheries*, 35: 228-236.
- Haefliger, P., M. Mathieu-Nolf, S. Locicero, C. Ndiaye, M. Coly, A. Diouf, A.L. Faye, A. Sow, J. Tempowski, J. Pronczuk, A.P. Filipe Junior, R. Bertollini, & M. Neira. 2009. Mass lead intoxication from informal used lead acid battery recycling in Dakar, Senegal. *Environ. Health Persp.*, 117: 1535-1540.
- IARC. 1993. Beryllium, cadmium, mercury, and exposures in the glass manufacturing industry. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Volume 58. World Health Organization. International Agency for Research on Cancer. Lyon, 444 p.
- Izaguirre-Fierro, G., F. Páez-Osuna, & I. Osuna-López. 1992. Heavy metals in fish from Culiacan Valley, Sinaloa, Mexico. *Ciencias Marinas*, 18: 143-151.
- Jacobs, D.E. & R. Nevin. 2006. Validation of a 20-year forecast of US childhood lead poisoning: updated prospects for 2010. *Environ. Res.*, 102: 352-364.
- Laegreid, M., O.C. Bockman, & E.O. Kaarstad. 1999. *Agriculture fertilizers and the environment*. CABI Publishing, Wallingford. 320 p.
- Landis, W.G. & M.H. Yu. 1999. *Introduction to environmental toxicology*. Lewis Publishers, New York. 390 p.
- Lanphear, B.P., R. Hornung, J. Khoury, K. Yolton, P. Baghurst, D.C. Bellinger, R.L. Canfield, K.N. Dietrich, R. Bornschein, T. Greene, S.J. Rothenberg, H.L. Needleman, L. Schnaas, G. Wasserman, J. Graziano & R. Roberts. 2005. Low-level environmental lead exposure and children's intellectual function: An international pooled analysis. *Environ. Health Persp.*, 113: 894-899.
- Levin, R., M.J. Brown, M.E. Kashtock, D.E. Jacobs, E.A. Whelan, J. Rodman, M.R. Schock, A. Padilla & T. Sinks. 2008. Lead exposures in U.S. children, 2008: Implications for prevention. *Environ. Health Persp.*, 116: 1285-1293.

- Marmolejo-Rivas, C. & F. Páez-Osuna. 1990. Trace metals in tropical coastal lagoon bivalves, *Mytella strigata*. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 45: 545-551.
- Martelli, A., E. Rousselet, C. Dycke, A. Bouron, & J.M. Moulis. 2006. Cadmium toxicity in animal cells by interference with essential metals. *Biochimie*, 88: 1807-1814.
- Mclaughlin, M. & B.R. Singh. 1999. Cadmium in Soils and Plants: a Global Perspective, 1-19. En: Mclaughlin, M. & B.R. Singh (Eds.), *Cadmium in soils and plants*. Kluwer Academic, Dordrecht.
- Morales-Hernández, F., M.F. Soto-Jiménez & F. Páez-Osuna. 2004. Heavy metals in sediments and lobster (*Panulirus gracilis*) from the discharge area of the submarine sewage outfall in Mazatlan Bay (SE Gulf of California). *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 46: 485-491.
- Nriagu, J.O. & J.M. Pacyna. 1988. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals. *Nature*, 333: 134-139.
- OEIDRUS. 2009. Estadísticas agrícolas. Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, Gobierno del Estado de Sinaloa. Culiacán. <http://www.oeidrus-sinaloa.gob.mx/>
- Osman, K., A. Akesson, M. Berglund, K. Bremer, A. Schutz & K. Ask. 2000. Toxic and essential elements in placentas of Swedish women. *Clin. Biochem.*, 33: 131-138.
- Osuna-López, J.I., H.M. Zazueta-Padilla, A. Rodríguez-Higuera & F. Páez-Osuna. 1990. Trace metal concentrations in mangrove oyster (*Crassostrea corteziensis*) from tropical lagoon environments, Mexico. *Mar. Pollut. Bull.*, 21: 486-488.
- Osuna-López, J.I., M.G. Frías-Espericueta, H.M. Zazueta-Padilla & G. López-López. 1999. Metales pesados en el "osti6n ahogado" *Crassostrea corteziensis* del sistema lagunar Ensenada del Pabell6n, Sinaloa, M6xico. *Oceánides*, 14: 113-119.
- Osuna-López, J.I., M.G. Frías-Espericueta, G. López-López, H.M. Zazueta-Padilla, G. Izaguirre-Fierro, F. Páez-Osuna, A.C. Ruiz-Fernández & D. Voltolina. 2009. Cd, Pb and organochlorine pesticides of *Mytella strigata* (Pelecypoda: Mitylidae) of six coastal lagoons of NW Mexico. *Bol. Invest. Mar. Cost.*, 38: 233-239.
- Páez-Osuna, F. & C. Marmolejo-Rivas. 1990. Occurrence and seasonal variation of heavy metals in the oyster *Crassostrea iridescens*. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 44: 129-134.
- Páez-Osuna, F., H.M. Zazueta-Padilla & G. Izaguirre-Fierro. 1991. Trace metals in bivalves from Navachiste lagoon, Mexico. *Mar. Pollut. Bull.*, 22: 305-307.
- Páez-Osuna, F., J.I. Osuna-López, G. Izaguirre-Fierro & H.M. Zazueta-Padilla. 1993. Heavy metals in clams from a subtropical coastal lagoon associated with an agricultural drainage basin. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 50: 915-921.
- Páez-Osuna, F. & A.C. Ruiz-Fernández. 1995a. Trace metals in the mexican shrimp *Penaeus vannamei* from estuarine and marine environments. *Environ. Pollut.*, 87: 243-247.
- Páez-Osuna, F. & A.C. Ruiz-Fernández. 1995b. Comparative bioaccumulation of trace metals in *Penaeus stylirostris* in estuarine and coastal environments. *Est. Coast. Shelf Sci.*, 40: 35-44.
- Páez-Osuna, F. & L. Tron-Mayen. 1996. Concentration and distribution of heavy metals in tissues of wild and farmed shrimp *Penaeus vannamei* from the Northwest coast of Mexico. *Environ. Internat.*, 22: 443-450.
- Páez-Osuna, F., A.C. Ruiz-Fernández, A.V. Botello, G. Ponce-Vélez, J.I. Osuna-López, M.G. Frías-Espericueta, G. López-López & H.M. Zazueta-Padilla. 2002. Concentrations of selected trace metals (Cu, Pb, Zn), organochlorines (PCBs, HCB) and total PAHs in mangrove oysters from the Pacific coast of Mexico: an overview. *Mar. Pollut. Bull.*, 44: 1303-1308.
- Rosman, K.J.R., W. Chisholm, C.F. Boutron, J. P. Candelone, J. L. Jaffrezo & C.I. Davidson. 1998. Seasonal variations in the origin of lead in snow at Dye 3, Greenland. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 160: 383-389.
- Ruelas-Inzunza J.R. & F. Páez-Osuna. 2000. Comparative bioavailability of trace metals using three filter-feeder organisms in a subtropical coastal environment (Southeast Gulf of California). *Environ. Pollut.*, 107: 437-444.

- Ruelas-Inzunza J.R. & F. Páez-Osuna 2004. Distribution and concentration of trace metals in tissues of three penaeid shrimp species from Altata-Ensenada del Pabellón lagoon (S.E. Gulf of California). *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 72: 452-459.
- Ruelas-Inzunza J.R. & F. Páez-Osuna. 2008. Trophic distribution of Cd, Pb and Zn in a food web from Altata-Ensenada del Pabellón subtropical lagoon, SE Gulf of California. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 54: 584-596.
- Ruelas-Inzunza J.R., F. Páez-Osuna & D. García-Flores. 2010. Essential (Cu) and non essential (Cd and Pb) metals in ichthyofauna from the coast of Sinaloa state (SE Gulf of California). *Environ. Monit. Assess.*, 162: 251-263.
- Ruiz-Fernández, A.C., C. Hillaire-Marcel, F. Páez-Osuna, B. Ghaleb & M.F. Soto-Jiménez. 2003. Historical trends of metal pollution recorded in the sediments of the Culiacan river estuary, Northwestern Mexico. *Appl. Geochem.*, 18: 577-588.
- Scheuhammer, A.M. & S.L. Norris. 1996. The ecotoxicology of lead fishing weights. *Ecotoxicology*, 5: 279-295.
- Schnaas, L., S.J. Rothenberg, M.F. Flores, S. Martínez, C. Hernández, E. Osorio, S. Ruiz-Velazco & E. Perroni. 2006. Reduced intellectual development in children with prenatal lead exposure. *Environ. Health Persp.*, 114: 791-797.
- Schwikowski, M., C. Barbante, T. Doering, H. Gaeggeler, C. Boutron, U. Schotter, L. Toblerer, K. Vandavelde, C. Ferrari, G. Cozzi, K. Rosman, & P. Cescon. 2004. Post-17th-century changes of european lead emissions recorded in high-altitude alpine snow and ice. *Environ. Sci. Technol.*, 38: 957-964.
- Secretaría de Salud. 1993a. Norma Oficial Mexicana NOM-027-SSA1-1993. Bienes y Servicios. Productos de la Pesca. Pescados frescos, refrigerados y congelados. Especificaciones Sanitarias. <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/027ssa13.html>
- Secretaría de Salud. 1993b. Norma Oficial Mexicana NOM-029-SSA1-1993. Bienes y Servicios. Productos de la Pesca. Crustáceos frescos, refrigerados y congelados. Especificaciones Sanitarias. <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/029ssa13.html>
- Secretaría de Salud. 1993c. Norma Oficial Mexicana. NOM-031-SSA1-1993. Bienes y Servicios. Productos de la Pesca. Moluscos bivalvos frescos, refrigerados y congelados. Especificaciones Sanitarias. <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/031ssa13.html>
- Segovia-Zavala, J. A., F. Delgadillo-Hinojosa, A. Muñoz-Barbosa, E. A. Gutiérrez-Galindo & R. Vidal-Talamantes. 2004. Cadmium and silver in *Mytilus californianus* transplanted to an anthropogenic influenced and coastal upwelling areas in the Mexican Northeastern Pacific. *Mar. Pollut. Bull.*, 48: 458-464.
- Shih, R.A., H. Hu, M.G. Weisskopf & B.S. Schwartz. 2007. Cumulative lead dose and cognitive function in adults: A review of studies that measured both blood lead and bone lead. *Environ. Health Persp.*, 115: 483-492.
- Soto-Jiménez, M.F., F. Páez-Osuna & A.C. Ruiz-Fernández. 2003. Geochemical evidences of the anthropogenic alteration of trace metal composition of the sediments of Chiricahueto marsh (SE Gulf of California). *Environ. Pollut.*, 125: 423-432.
- Szefer, P., J. Geldon, A.A. Ali, F. Páez-Osuna, A.C. Ruiz-Fernández & S.R. Guerrero-Galván. 1998. Distribution and association of trace metals in soft tissue and byssus of *Mytella strigata* and other benthic organisms from Mazatlan harbor, mangrove lagoon of the Northwest coast of Mexico. *Environ. Int.*, 24: 359-374.
- UNEP-GESAMP. 1985. *Cadmium, lead and tin in the marine environment*. UNEP Regional Seas Report and Studies No. 56. GESAMP Report and Studies, 22: 1-62.
- US Geological Survey, 2009a. *Cadmium statistics*. United States Geological Survey. www.minerals.usgs.gov/ds/2005/140/cadmium.pdf

- US Geological Survey, 2009b. *Lead statistics*. United States Geological Survey. www.minerals.usgs.gov/ds/2005/140/lead.pdf
- USFDA. 1993. *Guidance document for cadmium in shellfish*. FDA Centre for Food Safety and Applied Nutrition, Washington, D. C. 49 p. <http://www.vm.cfsan.fda.gov/~frf/guidcd.html>
- Valdés-Perezgasga, F. & V.M. Cabrera-Morelos. 1999. *La contaminación por metales pesados en Torreón, Coahuila, México*. En Defensa del Ambiente, A.C., Torreón y Texas Center for Policy Studies, Austin. 46 p.
- Villanueva, S.F. & A.V. Botello. 1998. Metal pollution in coastal areas of Mexico. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.*, 157: 53-94.
- Waalkes, M. & R.R. Misra. 1996. Cadmium Carcinogenicity and Genotoxicity, 231-244. En: Chang, L.W. (Ed), *Toxicology of metals*. CRC Press, Boca Raton.
- WHO. 1992. *Environmental health criteria 134, Cadmium*. World Health Organization, Geneva. 280 pp. <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc134.htm>

