

Concentración de mercurio y plaguicidas organoclorados (POC) en tejido comestible de jaiba café *Callinectes bellicosus* de las costas de Sonora y Sinaloa, México

Jaqueline García-Hernández*, María José Espinosa-Romero*, Miguel Ángel Cisneros-Mata**, Germán Leyva-García*, Daniela Aguilera-Márquez* y Jorge Torre-Cosío**

La pesquería de la jaiba en Sonora y Sinaloa equivale a 54% de la producción nacional, con un valor de 280 millones de pesos. Sin embargo, los ecosistemas costeros están expuestos a impactos antropogénicos, por lo que es importante evaluar si los organismos bentónicos de importancia comercial, bioacumulan algunos de estos contaminantes. El presente estudio tiene como objetivo evaluar las concentraciones de mercurio (Hg) y plaguicidas organoclorados (POC) en tejido comestible de jaiba y determinar si estos valores se encuentran dentro de los límites máximos permisibles. En agosto 2012 se recolectaron muestras de agua, sedimento y jaiba café *Callinectes bellicosus* en 13 lagunas costeras de Sonora y Sinaloa y se analizó la presencia de Hg y POC. Las concentraciones de Hg en agua variaron entre 0.7 y 6.3 $\mu\text{g/l}$, en sedimento de 0.08 a 1.23 $\mu\text{g/g}$ y en tejido comestible de jaiba entre 0.02 y 0.34 $\mu\text{g/g}$ base húmeda. Por otro lado, se detectaron POC en tejido de jaiba en cuatro de las 13 lagunas costeras muestreadas: Bahía de Lobos, Yavaros, Laguna Agiabampo y Bahía de Ohuira (0.1015, 0.1484, 0.3190 y 0.2360 $\mu\text{g/g}$ ΣPOC b. húm., respectivamente). Se concluye que ninguna de las concentraciones de Hg y POC en tejido comestible de jaiba café excedió los límites máximos permisibles de la Norma Oficial Mexicana (NOM-027-SSA1-1993) y de la FDA (Food and Drug Administration), para productos de la pesca, frescos, refrigerados, congelados y procesados para consumo humano.

Palabras clave: Bioacumulación, tejido comestible de jaiba, consumo humano, contaminantes persistentes.

Concentrations of mercury and Organochlorine Pesticides (OPs) in edible tissue of swimming crabs *Callinectes bellicosus* collected in the coast of Sonora and Sinaloa, Mexico

The swimming crab fishery in Sonora and Sinaloa represents 54% of the national crab production with a net value of 17 million dollars. However, coastal ecosystems are vulnerable to anthropogenic impacts, and is important to evaluate if benthonic organisms with commercial importance bioaccumulate some of these contaminants. The aim of this study is to evaluate mercury (Hg) and organochlorine pesticides (OPs) in edible tissue of crabs and determine if these levels are within maximum allowable limits. During August 2012, water, sediment and swimming crab samples *Callinectes bellicosus* were collected from 13 coastal lagoons of Sonora and Sinaloa, and analyzed for Hg and OPs. Mercury concentrations in water ranged from 0.7 to 6.3 $\mu\text{g/l}$, in sediments from 0.08 a 1.23 $\mu\text{g/g}$ and in crab edible tissue from 0.02 to 0.34 $\mu\text{g/g}$ wet weight. OPs were detected in crabs from four of the 13 surveyed lagoons: Bahía de Lobos, Yavaros, Agiabampo lagoon and Ohuira bay (0.1015, 0.1484, 0.3190 y 0.2360 $\mu\text{g/g}$ ΣOP wet wt., respectively). We concluded that Hg and POC concentrations in swimming crab edible tissue were below the maximum allowable limits set by the official Mexican regulation (NOM-027-SSA1-1993) and by the FDA, for fish and fishery products for human consumption.

Key words: Bioaccumulation, crab edible tissue, human consumption, persistent contaminants.

* Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. - Unidad Guaymas. Carretera al Varadero Nacional, km 6.6, Guaymas, Sonora, México, CP 85480. jaqueline@ciad.mx, gleyva@ciad.mx, daguilera@ciad.mx

** Comunidad y Biodiversidad, A.C. Calle Isla del Peruano 215, Colonia Lomas de Miramar, Guaymas, Sonora, México, CP 85448. maria.espinosa.romero@gmail.com y jtorre@cobi.org.mx

*** Centro Regional de Investigación Pesquera - Guaymas. Instituto Nacional de Pesca. SAGARPA. Calle 20 sur Núm. 605, Col. Cantera, Guaymas, Sonora, México, CP 85400. macisne@yahoo.com

Introducción

La pesquería de la jaiba inició a principios de la década de los ochenta en Sonora y Sinaloa (CONAPESCA 2009). Las capturas en Sonora han oscilado entre 4 000 y 6 000 toneladas (t) anuales a partir de la década de los noventa y en Sinaloa se incrementaron en 2010 hasta 12 000 t. En 2012 se registraron capturas de 3 557 y 8 139 t para Sonora y Sinaloa, respectivamente, que en conjunto equivalen a 54% de la producción nacional con un valor de 280 millones de pesos, o 1.5 % del valor total de la producción pesquera del país (CONAPESCA 2013). El producto capturado se traslada a plantas procesadoras en donde se exporta o se vende en el mercado nacional en diferentes presentaciones: como jaiba entera fresca, enlatada o cocida despulpada en bolsa (Huato-Soberanis *et al.* 2006). Un componente muy importante para determinar la calidad de este producto es la concentración de sustancias tóxicas en el tejido comestible de la jaiba. Estas sustancias están presentes en función de los grados de contaminación de bahías y esteros en donde viven y, a diferencia de la contaminación microbiológica, su disminución requiere procesos más complejos y costosos (FDA 2011), que harían poco factible su comercialización. Por tanto, para los pescadores y dueños de plantas procesadoras de la región es importante conocer si los niveles de contaminantes en jaiba, están dentro de la normativa nacional e internacional para consumo humano.

En las costas de Sonora y Sinaloa se distribuyen tres especies de jaibas del género *Callinectes*: *C. arcuatus* Ordway 1863, *C. bellicosus* (Stimpson 1859) y *C. toxotes* Ordway 1863 (Paul 1982). La especie de mayor importancia comercial para Sonora es *C. bellicosus* y para Sinaloa son *C. bellicosus* y *C. arcuatus* (Molina-Ocampo 2009¹). Las tres especies se encuentran a profundidades (0 a 40 m) y temperaturas de agua similares (17–34 °C); sin embargo, *C. arcuatus* y *C. toxotes* toleran un mayor intervalo de salinidad, carac-

terístico de sistemas eurihalinos (1–65 y 0–58 ups, respectivamente), en comparación con *C. bellicosus* que se localiza en ambientes completamente marinos (31–38 ups) (Paul 1982). *Callinectes arcuatus* y *C. toxotes* generalmente se encuentran sobre o entre fondos lodosos o arenas finas y no en sustratos de arenas gruesas.

Las tres especies de jaibas se desplazan de las lagunas y esteros hacia la zona marina para desovar y eclosionar durante la primavera, el otoño y el invierno, ya que es posible que las larvas sean menos eurihalinas que los adultos (Paul 1982). Debido a este contacto directo que tienen los organismos con el sedimento marino durante su ciclo de vida, es importante conocer los posibles contaminantes del medio y su grado de exposición.

Se consideran contaminantes persistentes a las sustancias químicas que son tóxicas y que permanecen intactas en el ambiente por un largo periodo de tiempo o se acumulan en el tejido de seres humanos, peces, vida silvestre o plantas (Hope *et al.* 2010). Dentro de esta definición se encuentran los plaguicidas organoclorados (POC) de uso histórico y que están incluidos en el Convenio de Estocolmo (SEMARNAT 2007), como el DDT; otros plaguicidas persistentes de uso actual, como el Clorpirifos, productos de uso humano como Triclosan; retardantes de fuego; químicos industriales; hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP); metales y metaloides como el arsénico, el cadmio, el plomo, el selenio y el mercurio; surfactantes perfluorinados, naftalenos policlorados (NPC) y bifenilos policlorados (BPC) (Hope *et al.* 2010).

En la región de Sonora y Sinaloa, las actividades agrícolas e industriales son las más comunes en la zona costera y se desarrollaron a partir de la revolución verde, iniciando en el Valle del Yaqui en 1940 (Dil 1997). Como consecuencia, algunos de estos contaminantes persistentes, como son los plaguicidas de uso histórico y reciente, metales y químicos industriales posiblemente estén presentes en los ecosistemas costeros y en las cadenas alimenticias de peces e invertebrados de importancia comercial.

En la Bahía de Guaymas, que tiene influencia urbana e industrial, se ha encontrado cobre en grados que van de moderados a altos (295 µg/g), cadmio (5.1 µg/g), zinc (476 µg/g) y plomo (81 µg/g)

1. Molina-Ocampo RE. 2009. Monitoreo sistemático de la pesca ribereña de Sonora, con fines de manejo: Jaiba, *Callinectes* spp. Informe final (Documento interno). Centro Regional de Investigación Pesquera - Guaymas, INAPESCA. 13p.

en sedimento, en función de materiales de referencia e índices de enriquecimiento (Méndez *et al.* 2004). También en esta bahía se detectaron concentraciones de metales en isópodos del género *Ligia* que habitan en costas rocosas, en el siguiente orden: Cu>Zn>As>Cd>Hg. Las concentraciones de cobre más altas (1 258 µg/g) se detectaron en organismos de un sitio con intensa actividad industrial (astilleros) (Güido-Moreno *et al.* 2014). En ostiones como *Crassostrea corteziensis* (Hertlein 1951), recolectados en Altata-Ensenada El Pabellón, las concentraciones de plomo (7.6 µg/g) fueron mayores que las reportadas para ostiones de Asia (Páez-Osuna *et al.* 2002). En algunas especies de peces (*Seriola lalandi* Valenciennes 1833 y *Myliobatis californica* Gill 1865) del centro y el sur de Sonora se detectaron niveles de mercurio (0.70 y 0.78 µg/g base húmeda, respectivamente) por encima de la norma oficial (NOM-242-SSA1) (García-Hernández 2013²). Estudios en la Bahía El Tóbari, al sur de Sonora, mencionan concentraciones altas de Cd (6.5 µg/g), Cu (82 µg/g) y Hg (1.3 µg/g) en sedimento provenientes de efluentes acuícolas y agrícolas, por lo que este sitio se considera de moderado a fuertemente contaminado (de acuerdo con el índice de geoacumulación) (Jaramarini *et al.* 2013).

Por otro lado, se han detectado concentraciones de plaguicidas organoclorados (POC) en invertebrados filtradores (Crustacea: Balanidae) de la zona de descarga de drenes agrícolas del Valle del Yaqui y hasta la isla San Pedro Mártir en la parte central del Golfo de California (Murrieta-Ruiz 2014). El grupo de POC detectado con mayor frecuencia fue el de los hexaclorociclohexanos (HCB), seguido de Endosulfan y finalmente Heptacloro. Las mayores concentraciones de POC fueron de Endosulfan (1.2 µg/g), detectado en Bahía El Tobarí (Murrieta-Ruiz 2014).

En otro estudio se recolectaron muestras de bivalvos (*C. corteziensis*, *C. gigas* (Thunberg 1793) y *Saccostrea palmula* (Carpenter 1857))

en 18 sitios del noroeste de México. La Bahía de Yavaros y la Laguna Navachiste presentaron las mayores detecciones de POC (20 y 19 plaguicidas, respectivamente), los POC más comunes fueron el DDE y el BPC (Arocloro 42) y las concentraciones más altas de δ-HCB (2.9 µg/g), Metoxicloro (1.4 µg/g), Endosulfan II (0.906 µg/g) y BPC (Arocloro 54) (1.3 µg/g) se detectaron en organismos del estero San Cristóbal (Nayarit) (Osuna-López *et al.* 2014).

La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (U.S. EPA, por sus siglas en inglés) (U.S. EPA 2000a) ha seleccionado 25 analitos³ como contaminantes prioritarios de pescados y mariscos. Esta lista fue conformada con base en su presencia en tejido de organismos acuáticos (derivado de programas de monitoreo nacionales), su persistencia en ambiente (vida media mayor a 30 días), su potencial de bioacumulación (Factor de Bioacumulación, FBC>300) y su toxicidad oral en humanos. En esta lista aparecen metales y metaloides (arsénico, cadmio, mercurio, selenio y tributil-estaño), POC, plaguicidas organofosforados (Clorpirifos, Diazinon, Disulfoton, Etion y Terbufos), herbicidas (Oxyfluorfen), HAP, BPC, Dioxinas y Furanos (U.S. EPA 2000a).

En el presente estudio se reportan resultados de concentraciones de dos analitos tóxicos considerados como prioritarios para pescados y mariscos incluidos en la lista de la U.S. EPA (2000a), que son Hg y POC. El objetivo del trabajo fue evaluar si las concentraciones de estos contaminantes detectados en agua, sedimento y tejido de jaiba (*C. bellicosus*) provenientes de lagunas costeras de Sonora y Sinaloa están dentro de los límites establecidos tanto por la normatividad nacional como por la internacional.

Materiales y métodos

Recolecta de muestras. Durante agosto de 2012 se visitaron campos pesqueros ubicados dentro de 13 lagunas costeras de Sonora y Sinaloa

2. García-Hernández J. 2013. Community-based monitoring of pollutants in the Gulf of California. Reporte final a North American Partnership for Environmental Community Action (NAPECA). CIAD. México. 56p.

3. Analito es un componente (elemento, compuesto o ion) de interés analítico de una muestra.

(Fig. 1). En cada estación se tomaron parámetros fisicoquímicos (temperatura, oxígeno y salinidad) utilizando un Sistema Multi-Sonda YSI 556 previamente calibrada para oxígeno y salinidad de acuerdo con el manual de instrucciones (YSI 2003). Para la calibración de oxígeno se utilizó agua 100% saturada de aire, que se preparó en una botella de plástico de un litro con tapa, la botella se llenó a $\frac{3}{4}$ con agua limpia, se dejó reposar cinco minutos para alcanzar equilibrio y posteriormente se agitó vigorosamente por 30 segundos; se tomó la lectura de oxígeno disuelto en porcentaje. Para medir salinidad, se calibró la sonda utilizando un estándar para agua marina de 50 mS/cm. También se midió la transparencia y color del agua con el disco de Secchi y la escala de Forel, respectivamente.

Una vez tomadas las características fisicoquímicas, se recolectó una muestra de agua. La muestra se tomó a 10 cm de la superficie con una botella de plástico, se le añadió un mililitro de ácido nítrico (HNO_3) concentrado para su conservación. También se recolectó una muestra de sedimento superficial con una draga Eckman y se colocó el material de los primeros 3 cm en una botella de plástico de boca ancha lavada con ácido nítrico y enjuagada con agua destilada. Las muestras de jaibas se solicitaron a los pescadores ribereños de cada sitio de muestreo. Se obtuvieron cinco hembras, cinco machos y cinco juveniles de *C. bellicosus*, la especie más abundante durante la temporada de recolecta en todos los sitios. Las muestras (agua, sedimento y jaibas) se transportaron en hieleras a 4 °C aproximadamente,

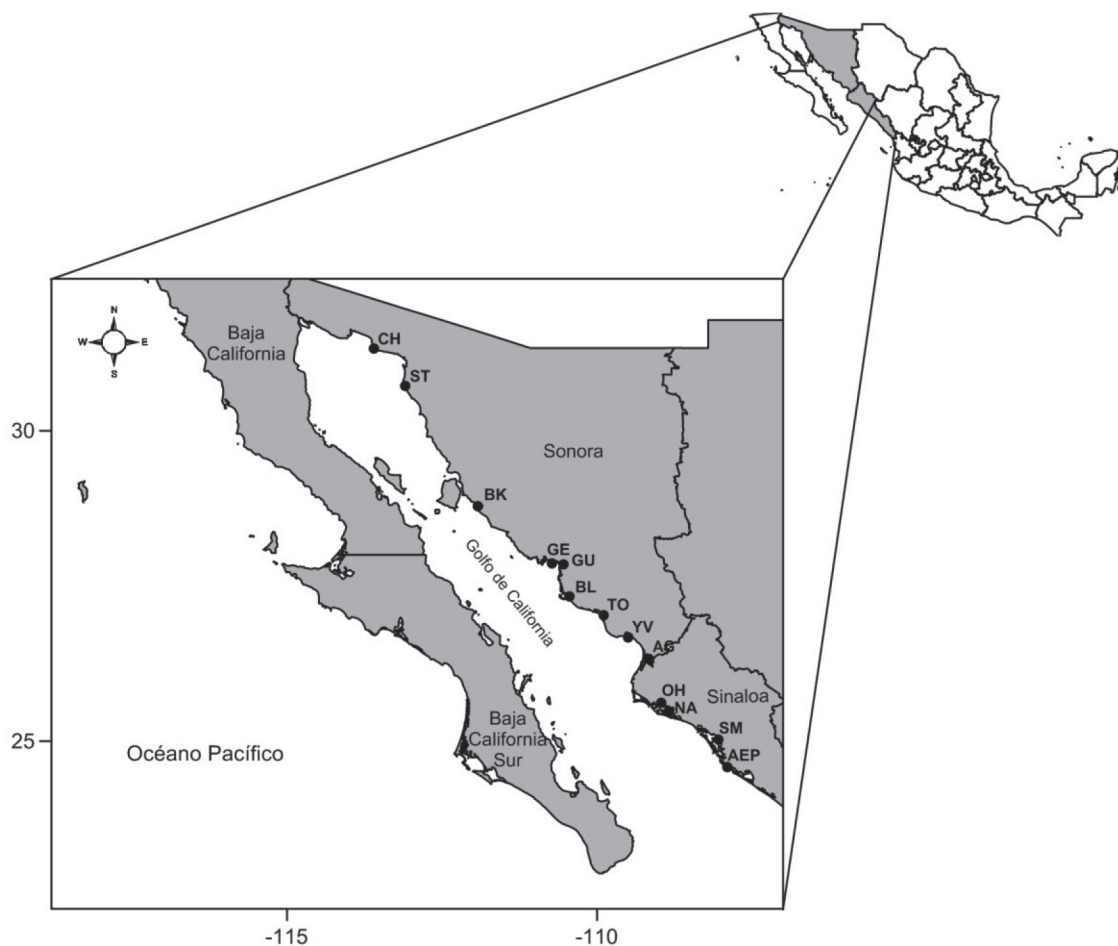


Fig. 1. Ubicación de las estaciones de muestreo de agua, sedimento y jaiba café *Callinectes bellicosus* en Sonora y Sinaloa en agosto de 2012. Los nombres completos de las bahías y lagunas costeras localizadas en el mapa son: Bahía La Choya (CH), Bahía Santo Tomás (ST), Bahía de Kino (BK), Bahía de Guaymas-Empalme (GE), Bahía Las Guásimas (LG), Bahía de Lobos (BL), Bahía El Tóbari (ET), Laguna Yavaros (YV), Laguna Agiabampo (AG), Bahía de Ohuira (OH), Laguna Navachiste (NA), Bahía Santa María (SM), Altata-Ensenada El Pabellón (AEP).

hasta su arribo al laboratorio de Ciencias Ambientales en el Centro de Investigación Alimentación y Desarrollo (CIAD) - Unidad Guaymas, para su análisis.

Preparación de muestras. Las jaibas de cada sitio se separaron por sexo y edad. Cada individuo se pesó con una balanza comercial (± 1 g) y el ancho y el largo del caparazón se midieron con un vernier (± 1 mm). Se agruparon las cinco hembras adultas, los cinco machos adultos y los cinco juveniles (hembras y machos) por cada sitio. A cada grupo de jaibas se les extrajo el tejido comestible de las quelas y se homogeneizó en una sola muestra. Estas muestras se utilizaron para análisis de mercurio. Para análisis de POC se analizó una muestra por localidad (se homogeneizó una alícuota del mismo peso de tejido de las cinco hembras, cinco machos y cinco juveniles en una sola muestra para tener mayor representatividad).

Análisis químico. Para los análisis de mercurio, las muestras de sedimento, agua y tejido de jaiba (base húmeda) se digirieron en un horno de microondas modelo Mars x. El programa de digestión se realizó en tres etapas que iniciaron con 100 °C (65 PSI, libra fuerza por pulgada cuadrada) y se incrementaron a 120 °C (100 PSI) y finalmente a 140 °C (140 PSI) la primera y segunda etapa con una duración de cinco minutos, en tanto que la tercera fue de 15 minutos. Se realizó una primera digestión con ácido nítrico (HNO₃) concentrado y una segunda con peróxido (H₂O₂) al 30%, para lograr la desintegración total de la materia orgánica de las matrices; para la digestión se siguió el método núm. 3052 (U.S. EPA 1996a). Una vez digeridas las muestras, se aforaron a 50 ml con agua destilada. Las concentraciones de mercurio se reportan en base húmeda, ya que la literatura y las normativas nacional e internacional reportan valores en peso húmedo para este metal.

Las muestras digeridas de agua, sedimento y tejido se analizaron en un espectrofotómetro de absorción atómica (Perkin-Elmer, 1100B). Para detección de mercurio se utilizó la técnica de vapor frío con una celda Perkin-Elmer MHS-20 y el método núm. 7471 (U.S. EPA 1986).

Para control y el aseguramiento de calidad analítica (QC/QA) de las muestras de sedimento marino se utilizó el material de referencia PACS-

2 (Marine Sediment Reference Materials for Trace Metals and Other Constituents, National Research Council Canada(NRCC)) y para las muestras de tejido se utilizó el material DOLT-4, que corresponde a hígado de tiburón cazón (Dogfish Liver Certified Reference Material for Trace Metals, del NRCC). Para la determinación de concentraciones se realizó una curva de calibración al inicio de cada día de lectura utilizando estándar de mercurio certificado marca Perkin-Elmer (cumple con ISO 34, ISO 17025, certificado por la Asociación Americana de Certificación de Laboratorios A2LA). Las curvas de calibración utilizadas tuvieron una R² entre 0.95 y 1.0. El porcentaje de recuperación en sedimento varió entre 83% y 89% y en jaiba varió entre 92% y 105%. La diferencia relativa para las muestras de agua, sedimento y organismos fue <20%. El límite de detección para mercurio en agua, sedimento y tejido fue de 0.0002 µg/g.

Los POC únicamente se analizaron en tejido de jaiba, ya que el estudio está orientado a la determinación de niveles en tejido comestible de esta especie y por la afinidad de estos compuestos con el tejido lipídico (Connell *et al.* 1999). De la muestra previamente preparada, homogeneizada y separada para el análisis de plaguicidas, se pesó 1 g (tejido húmedo) en un vaso de extracción (Green-Chem); cada muestra se fortificó con 10 µl de Decaclorobifenil (DCB) usado como estándar interno, a una concentración de 5 mg/l, y posteriormente se agregaron 20 ml de Diclorometano: Éter de petróleo (1:1). Los vasos se montaron en la tornamesa y se inició el proceso de extracción con el equipo Mars x. Se llevó a cabo una extracción en dos etapas con el método núm. 3546 (U.S. EPA 2007), que se inició con 100 °C, 50 PSI por 10 min, y posteriormente se incrementaron valores a 115 °C y 150 PSI por 10 min más. La muestra extraída se filtró, se purificó con florisil y se reconstituyó con 1 ml de Iso-octano de acuerdo con el método 3620c (U.S. EPA 2014). La cuantificación se realizó en un cromatógrafo de gases marca Varian Modelo 3800 con un detector de captura de electrones (ECD) de acuerdo con el método núm. 8081 (U.S. EPA 1996b). Se analizaron los siguientes POC: 4,4'-DDE, 4,4'-DDD y 4,4'-DDT, Aldrin, α -BHC, β -BHC, γ -BHC, δ -BHC, Dieldrin, Endrin, Endrin aldehído, Endosulfán I, Endosulfán II, Endosulfán

sulfato, Heptacloro, Heptacloro epóxido. Como resultado del control de calidad (QA/QC), se obtuvo un porcentaje de recuperación de DCB entre 85% y 125% y un límite de detección de 0.002 $\mu\text{g/g}$ para todos los analitos.

Análisis estadísticos. Para los análisis estadísticos de mercurio se realizaron pruebas de normalidad de los datos de las concentraciones de metales (prueba de Shapiro-Wilk). Se compararon las concentraciones de mercurio entre los distintos sitios de recolecta utilizando la prueba de ANDEVA de dos vías y se realizaron pruebas Tukey-Kramer HSD con $\alpha = 0.05$ para identificar los sitios con mayores o menores concentraciones. Posteriormente, se trabajó con los sitios que no presentaron diferencias estadísticas en las concentraciones de mercurio, para identificar variaciones entre machos y hembras y entre juveniles y adultos, utilizando la prueba *t-Student*. Los análisis estadísticos se realizaron con el programa JMP® 8.0 (SAS Institute) (Sall *et al.* 2007).

Para los resultados de POC se determinó la frecuencia de detección (%) para cada plaguicida y para cada sitio de recolecta. También se realizaron sumatorias de las concentraciones por sitio y por grupos principales de POC: ΣDDT , ΣDrines , ΣBHC , $\Sigma\text{Endosulfan}$ y $\Sigma\text{Heptacloro}$.

Resultados

Condiciones ambientales en las lagunas costeras

Los 13 sitios muestreados presentan condiciones adecuadas de temperatura, oxígeno y salinidad (Tabla 1) para la vida acuática según la U.S. EPA (2000b). La saturación de oxígeno (OD) tuvo un promedio de todos los sitios de 93%; el sitio que presentó los valores de saturación más bajos fue Laguna Agiabampo al sur de Sonora (67%); sin embargo, la concentración en mg/l fue de 4.6, que es adecuada para la vida acuática. Los sitios presentaron salinidades entre 36 y 39 ups con los valores más bajos en Bahía de Ohuira (OH), Sinaloa, y los más altos en la Bahía de Guaymas-Empalme (GE), Sonora (Tabla 1).

Tabla 1
Condiciones fisicoquímicas en lagunas costeras muestreadas en agosto de 2012

Sitio	Temperatura (°C)	Salinidad (ups)	OD (%)	OD (mg/l)	Transparencia (m)
<i>Sonora</i>					
Bahía La Choya	31.8	36.9	86.4	5.2	1.0
Bahía Santo Tomás	31.3	36.6	91.1	5.5	0.5
Bahía de Kino	32.5	36.7	89.5	5.3	2.0
Bahía de Guaymas-Empalme	30.3	39.5	91.4	5.5	4.0
Bahía Las Guásimas	30.1	38.5	97.0	5.9	2.0
Bahía de Lobos	30.8	36.6	82.0	5.0	0.6
Bahía El Tóbari	32.0	36.8	101.3	6.0	1.0
Laguna Yavaros	32.0	37.8	99.3	5.8	1.0
Laguna Agiabampo	31.6	39.1	67.2	4.6	1.5
<i>Sinaloa</i>					
Laguna Navachiste	32.3	37.8	152.2	9.0	1.5
Bahía de Ohuira	31.4	36.0	77.7	4.5	1.0
Bahía Santa María	30.9	38.2	91.5	5.5	0.5
Altata-Ensenada El Pabellón	30.5	36.9	79.5	4.0	1.1

OD = oxígeno disuelto.

Mercurio en agua y sedimento

Las concentraciones de mercurio en muestras de agua de las 13 lagunas costeras estudiadas, muestran valores por debajo de los límites máximos permisibles para mercurio en aguas costeras según la NOM-001-SEMARNAT-1996 publicada en el Diario Oficial de la Federación (DOF 1997) (Tabla 2). Sin embargo, si se consideran las tablas de referencia compiladas por la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), en donde se muestran los resultados de pruebas ecotoxicológicas con organismos acuáticos y bentónicos realizadas por la U.S. EPA, USGS (U.S. Geological Survey), o los límites canadienses –denominadas SQUIRT (Screening Quick Reference Tables) (Buchman 2008)–, las concentraciones de Hg excedieron los límites agudos de toxicidad para invertebrados marinos de la columna de agua en la mayoría de los sitios, con excepción de Laguna Agiabampo (Buchman 2008). La concentración más alta de mercurio en

agua se detectó en la Bahía Guaymas-Empalme (6.3 µg/l).

Para sedimento no se cuenta con una normatividad nacional, por lo que las concentraciones se compararon con recomendaciones de las tablas SQUIRT, que indican los niveles que pueden causar efectos tóxicos en invertebrados bentónicos (Buchman 2008). Las concentraciones de Hg en sedimento excedieron el valor recomendado de estas tablas en Bahía Las Guásimas, Bahía de Lobos, Laguna Agiabampo, Laguna Navachiste, bahía de Ohuira y Altata-Ensenada El Pabellón. Los valores más altos se detectaron en bahía Las Guásimas. No se encontraron concentraciones de Hg en Bahía La Choya, Bahía Santo Tomás, Bahía de Kino, Bahía El Tóbari y Laguna Yavaros (Tabla 2).

Tabla 2
Concentraciones de Hg en agua (µg/l) y sedimento (µg/g peso seco) de las diferentes lagunas costeras muestreadas en agosto de 2012

Sitio	Hg (µg/l) en muestras de agua	Hg (µg/g) en muestras de sedimento
NOM-001-SEMARNAT-1996*	20.0	
Buchman (2008)**	1.8	0.15
<i>Sonora</i>		
Bahía La Choya	3.0	—
Bahía Santo Tomás	5.2	—
Bahía de Kino	4.8	—
Bahía de Guaymas-Empalme	6.3	0.08
Bahía Las Guásimas	2.1	1.23
Bahía de Lobos	4.6	0.76
Bahía El Tóbari	0.9	—
Laguna Yavaros	1.8	—
Laguna Agiabampo	0.7	0.28
<i>Sinaloa</i>		
Laguna Navachiste	2.6	0.27
Bahía de Ohuira	1.8	0.42
Bahía Santa María	4.4	0.08
Altata-Ensenada El Pabellón	2.3	0.33

Hg = mercurio.

*Límite máximo permisible para contaminantes en aguas costeras (estuarios), promedio diario (DOF 2003).

**Límite de referencia que puede causar efectos agudos en invertebrados marinos de la columna de agua y valor de referencia (PEL, nivel de efecto probable) para invertebrados bentónicos.

— por debajo del límite de detección (<LD).

Mercurio en tejido comestible de jaiba

El Hg se detectó en todas las muestras analizadas de jaiba café (Tabla 3). Las concentraciones variaron entre 0.02 y 0.34 µg/g, con una media de 0.14 µg/g y una desviación estándar (DE) de 0.08 µg/g. Se encontraron diferencias significativas entre los sitios de recolecta (ANDEVA, *valor-p* = 0.01), siendo las del sitio de Bahía Santo Tomás, significativamente mayores que en el resto de las estaciones (prueba Tukey-Kramer HSD, α = 0.05) (Fig. 2). No se detectaron diferencias significativas en las concentraciones de mercurio entre machos y hembras (*valor-p* = 0.56), ni entre juveniles y adultos (*valor-p* = 0.83).

Tabla 3
Concentraciones de Hg en jaibas machos, hembras, adultos y juveniles (N) (µg/g base húmeda) en las lagunas costeras de Sonora y Sinaloa muestreadas en agosto de 2012

Sitio	Hembras		Machos	
	Adultos	Juveniles	Adultos	Juveniles
NOM-242-SSA1*	0.5	0.5	0.5	0.5
FDA (2011)**	1	1	1	1
U.S. EPA (2000)***	0.049	0.049	0.049	0.049
<i>Sonora</i>				
Bahía La Choya	0.2136	0.1295(2)	0.2022	N.M.
Bahía Santo Tomás	0.2926	0.3318(5)	0.2386	N.M.
Bahía de Kino	0.1933	0.1388(5)	0.1134	N.M.
Bahía de Guaymas-Empalme	0.1243	0.3466(2)	0.0497	0.3466(3)
Bahía Las Guásimas	0.0518	0.0611(2)	0.1377	0.0611(3)
Bahía de Lobos	0.0787	0.0429(5)	0.0238	N.M.
Bahía El Tóbari	N.M.	0.1427(5)	0.1086	N.M.
Laguna Yavaros	0.1091	N.M.	0.1360	0.0720(1)
Laguna Agiabampo	0.1989	0.1784	0.1813	0.1784(1)
<i>Sinaloa</i>				
Laguna Navachiste	0.2685	N.M.	0.1466	N.M.
Bahía de Ohuira	0.1796	N.M.	0.1013	0.0587(5)
Bahía Santa María	0.1119	0.0687(2)	0.0794	0.0687(3)
Altata-Ensenada El Pabellón	0.0575	0.1181(5)	0.2166	N.M.

* Norma Oficial Mexicana. Productos y Servicios. Productos de la pesca frescos, refrigerados, congelados y procesados. Especificaciones sanitarias y métodos de prueba.

** Guía de control de riesgos para pescados y productos de la pesca.

*** Guía para evaluación de datos de contaminación química de uso en advertencias para consumo de pescado.

N.M. = No Muestreada.

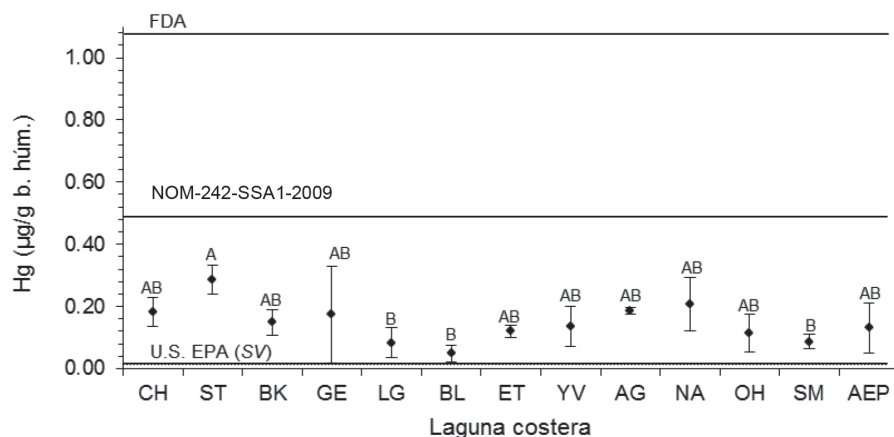


Fig. 2. Concentraciones medias de Hg (rombos) \pm 1 DE (líneas verticales positivas y negativas) en tejido comestible de jaiba *Callinectes bellicosus* de los sitios de muestreo en Sonora y Sinaloa ($\mu\text{g/g}$ b. húm.). Las letras iguales localizadas encima de las líneas de DE indican que no existe diferencia significativa entre los sitios, y las letras diferentes indican diferencia significativa entre sitios (Tukey-Kramer HSD, $\alpha = 0.05$). También se indican los límites establecidos por la U.S. EPA para comunidades que consumen más pescado ($0.049 \mu\text{g/g}$), por la NOM-242-SSA1-2009 ($0.5 \mu\text{g/g}$) y por la FDA ($1 \mu\text{g/g}$).

Asumiendo que el Hg encontrado estuviese presente como metil-mercurio, las concentraciones en tejido de jaiba no excedieron los límites máximos en productos de la pesca especificados en la NOM-242-SSA1-2009 de $0.5 \mu\text{g/g}$ publicada en el Diario Oficial de la Federación (DOF 2011) (Fig. 2). Tampoco excedieron la normativa de la FDA (Food and Drug Administration) y la U.S. EPA ($1 \mu\text{g/g}$ de metilmercurio) para cualquier especie de pescado (FDA 2011). Sin embargo, las concentraciones de mercurio en jaiba excedieron el nivel de selección (screening value, *SV*) de $0.049 \mu\text{g/g}$ de mercurio total, calculadas por la U.S. EPA para el sector de la población de los pescadores de subsistencia (U.S. EPA 2000a) (Fig. 2). Se recomiendan límites de mercurio menores a los de la FDA para este grupo de la población, ya que, en general, las comunidades pesqueras consumen mayores cantidades de pescados y mariscos en comparación con el resto de la población por tener mayor disponibilidad del producto.

Plaguicidas organoclorados en el tejido de jaiba

Únicamente se detectaron POC en cuatro lagunas costeras de Sonora y Sinaloa (Bahía de Lobos, Laguna Yavaros, Laguna Agiabampo y Bahía de Ohuira), con una frecuencia que varió entre 19% y 38% de los 16 POC analizados; el resto de los

sitios no presentó concentraciones detectables (Fig. 3). Se observaron mayores concentraciones de ΣDDT y ΣDrines en Laguna Agiabampo; en la Laguna de Yavaros se detectaron las concentraciones más altas de ΣBHC , en Bahía de Lobos las concentraciones más altas de $\Sigma\text{Heptacloro}$ y en Bahía de Ohuira las concentraciones más altas de $\Sigma\text{Endosulfán}$. Las concentraciones totales de POC (ΣPOC) estuvieron más altas en Laguna Agiabampo ($0.3190 \mu\text{g/g}$), seguida de Bahía de Ohuira ($0.2360 \mu\text{g/g}$), Laguna Yavaros ($0.1484 \mu\text{g/g}$) y Bahía de Lobos ($0.1015 \mu\text{g/g}$). El plaguicida con mayores concentraciones fue el Endosulfán I en Bahía de Ohuira (Tabla 4).

Las concentraciones de POC estuvieron por debajo de los límites establecidos para plaguicidas selectos por la FDA (2011) en productos de la pesca (Tabla 4). Sin embargo, si se consideran los valores de selección (*SV*) para la población de pescadores de subsistencia calculados por la U.S. EPA (2000a), las concentraciones de Heptacloro epóxido y 4,4'-DDT excedieron los límites recomendados en las muestras recolectadas en Laguna Agiabampo (Tabla 4).

En México no existe mención de límites para plaguicidas en la normatividad vigente (NOM-242-SSA1-2009). Sin embargo, en la normativa anterior, NOM-027-SSA1-1993 (DOF 1995), sí se especificaba que “los productos objeto de esta

Tabla 4

Concentraciones de plaguicidas organoclorados ($\mu\text{g/g}$, base húmeda) en tejido de jaiba de los cuatro sitios de recolecta que presentaron niveles detectables

Plaguicida	Sitio de recolecta				FDA (2011)*	U.S. EPA (2000a)**
	Bahía de Lobos	Laguna Yavaros	Laguna Agiabampo	Bahía de Ohuira		
4.4'- DDE	—	—	—	—	5.0	
4.4'- DDD	—	—	—	—	5.0	
4.4'- DDT	—	—	0.0360	—	5.0	0.014
Σ DDT			0.0360			
Aldrin	—	0.0081	0.0254	—	0.3	
Dieldrin	—	—	—	—	0.3	$3.1 \cdot 10^{-4}$
Endrin	—	—	—	—		
Endrin aldehído	—	—	0.0600	—		
Σ Drines		0.0081	0.0854			
α - BHC	0.0117	—	—	—		
β - BHC	—	0.0719	—	—		
γ - BHC	0.0281	—	—	0.0083		
δ - BHC	—	—	—	—		
Σ BHC	0.0390	0.0719		0.0083		
Endosulfán I	—	—	0.1284	0.2077		
Endosulfán II	—	0.0463	—	—		
Endosulfán sulfato	—	0.0221	0.0426	—		
Σ Endosulfan		0.0684	0.1710	0.2077		
Heptacloro	0.0625	—	—	0.0200	0.3	
Heptacloro epóxido	—	—	0.0266	—	0.3	$5.4 \cdot 10^{-4}$
Σ Heptacloro	0.0625		0.0266	0.0200		
Σ POC	0.1015	0.1484	0.3190	0.2360		

* Guía de control de riesgos para pescados y productos de la pesca.

** Guía para evaluación de datos de contaminación química de uso en advertencias para consumo de pescado.

Concentraciones < límite de detección se indicaron con un guión (—).

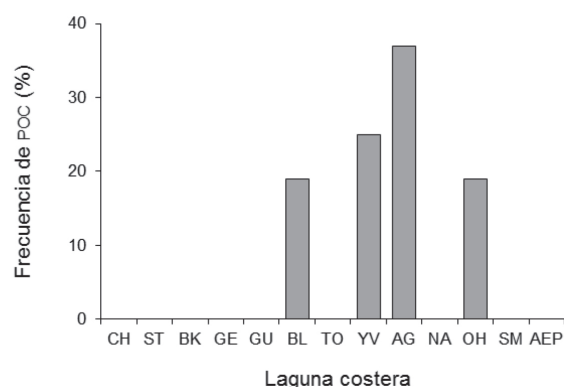


Fig. 3. Frecuencia de detección (%) de los diferentes POC (de un total de 16 compuestos) analizados en tejido de jaiba *Callinectes bellicosus* de las diferentes lagunas costeras de Sonora y Sinaloa.

norma no deben contener residuos de plaguicidas como Aldrin, Dieldrin, Endrin, Heptacloro,

Kapone u otros prohibidos en el catálogo de plaguicidas publicado en el Diario Oficial de la Federación”, se desconoce por qué se eliminó este párrafo en la nueva normativa y se recomienda que se considere la inclusión de los límites máximos permitidos de plaguicidas organoclorados en productos de la pesca en próximas revisiones.

Discusión

El mercurio es uno de los elementos que se encuentran en el sedimento en forma orgánica e inorgánica, y al ser consumido por los organismos, éste se bioacumula por medio de la cadena alimenticia (Boening 2000). En este estudio se observó que las mayores concentraciones de mercurio en jaiba se detectaron en organismos

juveniles de la bahía de Guaymas-Empalme, seguido por jaibas hembras de Bahía Santo Tomás y Laguna Navachiste. Las concentraciones de mercurio en agua de Guaymas-Empalme fueron las más altas (Tabla 2) y en sedimento se observaron también concentraciones altas a 10 km al sur del sitio de recolecta, en Las Guásimas (Tabla 2). De acuerdo con Rodríguez-Rojero (2004), las jaibas juveniles de *C. bellicosus* consumen una mayor proporción de sedimento (casi 60%), comparadas con las jaibas adultas, por lo que es posible que, en el caso de las bahías de Guaymas-Empalme y Las Guásimas, la exposición a mercurio se esté dando vía agua (por branquias) y sedimento (consumo directo). Una fuente potencial de Hg en esta zona podría ser la termoeléctrica Guaymas II, que genera aproximadamente 9.8 kg de Hg al año, que, aunque es una generación baja comparada con la de las plantas carboeléctricas (700 kg de Hg al año) (CEC 2011), pudiera estarse acumulando en los sedimentos de las zonas adyacentes y en los tejidos de los organismos.

En el caso de las jaibas hembras de Bahía Santo Tomás, se muestran concentraciones de mercurio altas en agua, pero no en sedimento (Tablas 2 y 3). En el Golfo de California existen emanaciones termales activas, las más estudiadas son Punta Banda, Bahía Concepción y Punta Mita, además se han localizados varias emanaciones poco profundas en el Alto Golfo (San Felipe y Puertecitos) y en Baja California Sur (Agua Verde, La Ventana y Los Barriles) (Forrest y Ledesma-Vázquez 2009). El análisis del agua termal indica enriquecimiento de sales, bicarbonatos y metales como Zn, As, Hg, Sb y Tl, en comparación con el agua de mar circundante (Forrest y Ledesma-Vázquez 2009). Por tanto, es posible que en el caso de la región del Golfo Norte haya un enriquecimiento natural de mercurio, aunque es necesario investigar con mayor detalle las posibles fuentes de este metal en la zona de Bahía Santo Tomás.

En la Laguna Navachiste en Sinaloa también se detectaron concentraciones altas de mercurio en jaibas hembras. Esta zona tiene aportes industriales (puerto de Yavaros) y agrícolas (Valle del Fuerte) que pudieran acarrear contaminantes a la bahía, que se acumulan en sedimento y organismos. Una de las razones de la mayor acu-

mulación de mercurio en hembras de estos dos sitios, en comparación con los machos, pudiera ser la migración que emprenden de los esteros hacia el mar para el desove (Paul 1982); esta migración pudiera exponerlas a otros sitios contaminados, ya que no se encontraron diferencias en las dietas de *C. bellicosus* entre hembras y machos (Rodríguez-Rojero 2004).

La zona agrícola más importante de Sonora es el Valle del Yaqui, que corresponde al Distrito del Desarrollo Rural (DDR) 148, localizado al sur del estado, en donde se cultivan 270 mil hectáreas principalmente de trigo, así como cártamo, maíz, sorgo en grano, algodón, sandía y hortalizas, con un valor de producción de 6 mil millones de pesos (OEIDRUS 2010⁴). Esta alta producción agrícola se debe en parte al uso de agroquímicos y fertilizantes, por ejemplo, en el ciclo 2008–2009 se utilizaron casi 600 mil litros de agroquímicos allí, principalmente fungicidas, seguidos de insecticidas, herbicidas, fertilizantes y otros (García-Hernández y Leyva-García 2009⁵). Los plaguicidas organoclorados se utilizaron en grandes cantidades (aproximadamente 4 kg/ha) para el cultivo del algodón en los valles agrícolas de Sonora (SAGAR 1973⁶), antes de que fueran prohibidos a finales de los años ochenta por sus efectos ambientales. Sin embargo, algunos POC como el Dicofol y el Endosulfán aún se siguen utilizando en algodón, cítricos y hortalizas; en la temporada 2008–2009 se emplearon 6 300 litros en el Valle del Yaqui (García-Hernández y Leyva-García 2009⁵).

En cuanto a la presencia de plaguicidas organoclorados en tejido comestible de la jaiba café, se tiene que los porcentajes más elevados de ocurrencia se presentaron en cuatro sitios de la región sur de Sonora y del norte de Sinaloa, donde se ubican los valles agrícolas del Yaqui,

4. OEIDRUS. 2010. Anuario estadístico de la producción agrícola. Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable del Estado de Sonora. <http://www.oeidrus-sonora.gob.mx/>
5. García-Hernández J y G Leyva-García. 2009. Patrón de uso de plaguicidas en el Valle del Yaqui. Reporte final (Documento interno). INE/A1-006/2008. 17p.
6. SAGAR. 1973. Cantidades de insecticidas que se usaron el Valle de Mexicali para el combate de las plagas del algodón en el ciclo agrícola 1971 de los meses de junio a septiembre. Campaña contra plagas. (Documento interno). Mexicali, BC.

Mayo y el Fuerte. Por tanto, es probable que las descargas históricas y actuales hayan contribuido a la presencia de tales contaminantes en el ecosistema y en el tejido comestible de jaiba café.

También, el plaguicida detectado en mayores concentraciones fue el Endosulfán, que en la actualidad se utiliza para combatir plagas en el algodón, las hortalizas y el tomatillo en el Valle del Yaqui (García-Hernández y Leyva-García 2009⁵). El Endosulfán I y II tiene una vida media de 3–6 días y de 1–7 días, respectivamente, se degrada por hidrólisis principalmente y la mayor proporción de éste se asocia con el sedimento (Peterson y Batley 1993). De acuerdo con un muestreo que se realizó en sedimento de granjas camaronícolas de Sinaloa localizadas en Ensenada El Pabellón (García de la Parra *et al.* 2014), el plaguicida detectado más a menudo, fue el β -BHC con concentraciones hasta de 0.008 $\mu\text{g/g}$, seguido del Endosulfán II con una concentración de 0.005 $\mu\text{g/g}$; ambos exceden la máxima concentración permisible (MPC) en sedimento (García de la Parra *et al.* 2014). Las concentraciones de POC en jaiba analizadas en el sistema Altata-Ensenada El Pabellón (AEP), no fueron detectables (Tabla 4). Sin embargo, tanto el BHC como el Endosulfán se detectaron en otros sistemas lagunares de Sinaloa y Sonora, lo que indica que una parte de estos plaguicidas se está movilizandando del sedimento hacia los organismos. Las jaibas son consumidoras carnívoras de primer nivel y le siguen en la trama trófica consumidores carnívoros de segundo nivel, como peces más grandes; consumidores carnívoros de tercer nivel, como el calamar y, finalmente, los carnívoros tope, como tiburones, delfines y algunas aves (University of Waikato 2007⁷), por lo que es posible que estos plaguicidas, una vez incorporados en consumidores de primer nivel, se estén biomagnificando en los siguientes eslabones tróficos.

El Heptacloro epóxido, uno de los plaguicidas que se considera más tóxico para el organismo, ya que causa efectos carcinogénicos y daños crónicos en la salud, por lo que el límite reco-

mendado para comunidades de pescadores es de $5.4 \times 10^{-4} \mu\text{g/g}$ (U.S. EPA 2000a), se detectó en muestras de la Laguna Agiabampo. Este valor fue excedido 50 veces en muestras de jaiba de este sitio.

Estudios realizados en las costas de Sonora y Sinaloa con diferentes organismos indican mayor bioacumulación de mercurio en peces depredadores tope, como tiburones y rayas ($< \text{LD} - 20.0 \mu\text{g/g}$) (García-Hernández *et al.* 2007). Sin embargo, en organismos de los primeros niveles de la trama trófica, como las almejas, las concentraciones son generalmente $< 0.60 \mu\text{g/g}$ (Jara-Marini *et al.* 2014), al igual que en isópodos (Güido-Moreno *et al.* 2014). Esta tendencia se observa también en las muestras de jaiba café recolectadas en este estudio (Tabla 3), ya que la máxima concentración detectada fue de 0.34 $\mu\text{g/g}$. Si se comparan estas concentraciones con las de otras partes del mundo, se tiene que están por debajo de las de Hg en cangrejos de Portugal, pero por encima de las encontradas en jaibas de las costas de Estados Unidos y Puerto Rico (Tabla 5).

En el caso de los POC, se ha detectado DDT en muestras de ostión en el Estero del Soldado y en Bahía de Guaymas (0.03 y 0.018 $\mu\text{g/g}$, respectivamente); así como Toxafeno en Guaymas (0.454 $\mu\text{g/g}$). En Bahía de Lobos se registró la concentración más alta de Endrin aldehído (4.9 $\mu\text{g/g}$) y en el estero San Cristóbal (Nayarit) se detectaron las concentraciones más altas de δ -HCB (2.9 $\mu\text{g/g}$), Metoxicloro (1.4 $\mu\text{g/g}$), Endosulfan II (0.906 $\mu\text{g/g}$) y BPC (Arocloro 54) (1.3 $\mu\text{g/g}$) (Osuna-López *et al.* 2014). En este caso, el tejido de ostión presentó mayores concentraciones de POC en comparación con lo encontrado para la jaiba, lo que se puede deber a que el músculo de ésta tiene escaso contenido de lípidos (Tsai *et al.* 1984), a los diferentes hábitos alimenticios (filtrador *vs.* carnívoros) o a los mecanismos de depuración de cada especie. Sin embargo, si se comparan las concentraciones de POC con las de otros estudios en donde también se analizó tejido comestible de diferentes especies de jaiba, se observa que las encontradas en este estudio estuvieron por encima de los niveles medios registrados para jaibas de Brasil, Turquía, Nigeria y Australia (Tabla 5).

Tanto mercurio para todos los sitios, como Heptacloro epóxido y 4,4'-DDT para Laguna

7. University of Waikato. 2007. Science learning hub. New Zealand. <http://sciencelearn.org.nz/Contexts/Life-in-the-Sea/Teaching-and-Learning-Approaches/Build-a-marine-food-web>

Tabla 5

Comparación de concentraciones medias de mercurio y POC ($\mu\text{g/g}$ peso húmedo) en músculos de diferentes especies de jaiba de ecosistemas marinos del mundo

Localidad	Especie	Hg	ΣDDT	ΣBHC	ΣDrines	ΣPOC	Referencia
Costas de Sonora y Sinaloa, México	<i>C. bellicosus</i>	0.1400					Este estudio
Ria de Aveiro, Portugal	<i>Carcinus maenas</i>	0.2600					Pereira <i>et al.</i> (2006)
Costas de E.U.A.	<i>C. sapidus</i>	0.0650					FDA (2013)*
Maryland waters	<i>C. sapidus</i>	0.0320					Eisenberg y Topping (1984)
Quinnipiac Estuary, E.U.A.	<i>C. sapidus</i>	0.0600					Eisenberg y Topping (1984)
Connecticut Estuary, E.U.A.	<i>C. sapidus</i>	0.1100					Jop <i>et al.</i> (1997)
Puerto Rico	<i>C. sapidus</i>	<LD					Burger <i>et al.</i> (1992)
Costas de Sonora y Sinaloa, México	<i>C. bellicosus</i>		0.0360	0.0397	0.0467	0.2012	Este estudio
Sao Paulo, Brasil	<i>C. ornatus</i>		0.0022		0.0003		Gorni y Weber (2004)
Turquía	<i>C. sapidus</i>			0.0036	0.0022		Caliskan y Yerli (2000)
Nigeria	<i>C. amnicola</i>					0.0145	Rose <i>et al.</i> (2013)
Estuario Swan-Canning, Australia	<i>Portunus pelagicus</i>		0.0273				Smith (2010**)

* FDA. 2013. Mercury concentrations in fish: FDA Monitoring Program. Food and Drug Administration. <http://www.fda.gov/Food/FoodborneIllnessContaminants/Metals/ucm115644.htm>.

** Smith K. 2010. Preliminary assessment of organochlorine pesticide and PCB levels in fish and crabs in the Swan-Canning Estuary. Australian Government. Department of the Environment (Documento interno).

Agiabampo, fueron los contaminantes que excedieron el valor de selección (*SV*) diseñado para proteger la salud de las comunidades de pescadores. El consumo promedio de pescados y mariscos considerado por la EPA para estas comunidades es de 16 porciones (227 g cada porción) al mes (U.S. EPA 2000a), lo que se podría pensar que es cercano a la realidad; sin embargo, es necesario realizar estudios de consumo de pescados y mariscos en México para validar este dato. Aunque el valor de selección (*SV*) no se considera un límite regulatorio, sí es importante considerarlo para estudios futuros que evalúen la salud de estas comunidades. La población en general, que no tiene un consumo alto de productos del mar, no se considera en riesgo por exposición a estos contaminantes persistentes.

Conclusiones

- Los análisis de mercurio en agua, sedimento y tejido de jaiba de 13 lagunas costeras de Sonora y Sinaloa, muestran niveles más altos

de mercurio en agua, sedimento y jaibas (juveniles) en la zona de Guaymas-Empalme y Bahía Las Guásimas, probablemente debido a la influencia de la termoeléctrica Guaymas II. También se detectaron niveles altos en agua y jaibas (hembras); así como en Santo Tomás, donde la influencia puede deberse a fuentes naturales por ventilas hidrotermales presentes en el Golfo Norte. En cuanto a las concentraciones de plaguicidas organoclorados en jaiba, se detectaron niveles en cuatro de los 13 sitios monitoreados, localizados en el sur de Sonora y en el norte de Sinaloa, en donde están los valles agrícolas del Yaqui, Mayo y Fuerte. Por tanto, es posible que las descargas agrícolas históricas y actuales contribuyeran a la presencia de estos contaminantes en el ecosistema y en el tejido de jaiba.

- Ninguna de las concentraciones de mercurio y de plaguicidas organoclorados analizados en tejido comestible de jaiba café (*C. bellicosus*) excedió los límites máximos permisibles de la normatividad nacional y de Estados Unidos para productos de la pesca, frescos,

refrigerados, congelados y procesados para consumo humano.

- Sin embargo, tanto las concentraciones mercurio como de Heptacloro epóxido y 4,4'-DDT excedieron los niveles empleados para proteger la salud de las poblaciones que consumen mayores cantidades de pescados y mariscos, como son los pescadores de subsistencia. Se recomienda en un futuro realizar estudios puntuales enfocados a evaluar la salud de las comunidades pesqueras en relación con el consumo de pescado y mariscos con la presencia de niveles de Hg y otros contaminantes.

Agradecimientos

A la Comunidad y Biodiversidad AC (COBI) por el apoyo brindado para la realización de este proyecto (COBI-CIAD-01082012-30112012). A Javier González Salazar, del Instituto Tecnológico del Valle del Yaqui, por su participación en el proyecto. A revisores anónimos, por sus valiosos comentarios que mejoraron considerablemente el manuscrito.

Literatura citada

- Boening DW. 2000. Ecological effects, transport, and fate of mercury: a general review. *Chemosphere* 40(12): 1335–1351.
- Buchman MF. 2008. *NOAA screening quick reference tables (SQUIRT)*. Office of Response and Restoration Division, National Oceanic and Atmospheric Administration, Seattle, WA. 34p.
- Burger J, K Cooper, J Saliva, D Gochfeld, D Lipsky y M Gochfeld. 1992. Mercury bioaccumulation in organisms from three Puerto Rican estuaries. *Environmental Monitoring and Assessment* 22: 181–197.
- Caliskan M y SV Yerli. 2000. Organochlorine pesticide residues in aquatic organisms from Koycegiz Lagoon system. Turkey. *Water, Air and Soil Pollution* 121: 1–9.
- CEC. 2011. *North American power plant air emissions*. Commission for Environmental Cooperation. Québec, Canadá. 76p.
- CONAPESCA. 2009. *Anuario estadístico de acuacultura y pesca 2008*. CONAPESCA-SAGARPA. México. 196p.
- CONAPESCA. 2013. *Anuario estadístico de acuacultura y pesca 2012*. CONAPESCA-SAGARPA. México. 385p.
- Connell DW, P Lam, B Richardson y R Wu. 1999. *Introduction to ecotoxicology*. Wiley-Blackwell Science. E.U.A. 180p.
- Dil A. 1997. *Norman Borlaug on World hunger*. Bookservice International, San Diego/Islamabad/Lahore. 499p.
- DOF. 1995. Norma Oficial Mexicana (NOM-027-SSA1-1993). Bienes y servicios. Productos de la pesca. Pescados frescos-refrigerados y congelados. Especificaciones sanitarias. *Diario Oficial de la Federación*. México. 3 de marzo de 1995.
- DOF. 1997. Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas residuales en aguas y bienes nacionales. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). *Diario Oficial de la Federación*. México. 6 de enero de 1997.
- DOF. 2003. Norma Oficial Mexicana NOM-022-SEMARNAT-2003, Que establece las especificaciones para la preservación, conservación, aprovechamiento sustentable y restauración de los humedales costeros en zonas de manglar. *Diario Oficial de la Federación*. México. 10 de abril de 2003.
- DOF. 2011. Norma Oficial Mexicana NOM-242-SSA1-2009, Productos y servicios. Productos de la pesca frescos, refrigerados, congelados y procesados. Especificaciones sanitarias y métodos de prueba. Secretaría de Salud. *Diario Oficial de la Federación*. México. 10 de febrero de 2011.
- Eisenberg M y JJ Topping. 1984. Trace-metal residues in shellfish from Maryland waters, 1976-1980. *Journal of Environmental Science and Health, Part B* 19(7): 649–671.
- FDA. 2011. *Fish and fishery products hazards and controls guidance*. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Food and Drug Administration, Center for Food Safety and Applied Nutrition, Office of Food Safety. 4a. ed. E.U. 476p.
- Forrest MJ y J Ledesma-Vázquez. 2009. Active geothermal springs and Pliocene-Pleistocene examples. En: ME Johnson y J Ledesma-Vásquez (eds.). *Atlas of coastal ecosystems in the Western Gulf of California. Tracking limestone deposits on the margin of a young sea*. The University of Arizona Press, Tucson Arizona, pp: 145–157.
- García de la Parra LM, C González-Valdivia, LJ Cervantes-Mojica, G Aguilar-Zárate, P Bastidas

- y M Betancourt-Lozano. 2014. Plaguicidas y PCB en sedimentos de granjas camaronícolas en un sistema costero de Sinaloa, México. *En: AV Botello, F Páez-Osuna, L Méndez-Rodríguez, M Betancourt-Lozano, S Álvarez-Borrego y R Lara-Lara (eds.). Pacífico Mexicano. Contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias.* UAC, UNAM-ICMYL, CIAD-MAZATLÁN, CIBNOR, CICESE. México, pp: 57–72.
- García-Hernández J, L Cadena-Cárdenas, M Betancourt-Lozano, LM García de la Parra, L García-Rico y F Márquez-Farías. 2007. Total mercury content found in edible tissues of top predator fish from the Gulf of California, Mexico. *Toxicology and Environmental Chemistry* 89(3): 507–522.
- Güido-Moreno A, J García-Hernández, ME Jara-Marini, G Leyva-García y D Aguilera-Márquez. 2014. Monitoreo de cuatro metales pesados y un metaloide en isópodos de la especie *Ligia occidentalis* (s.l.) (Dana 1853), en costas rocosas con diferentes impactos antropogénicos, en Guaymas, Sonora, México. *En: AV Botello, F Páez-Osuna, L Méndez-Rodríguez, M Betancourt-Lozano, S Álvarez-Borrego y R Lara-Lara (eds.). Pacífico Mexicano. Contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias.* UAC, UNAM-ICMYL, CIAD-MAZATLÁN, CIBNOR, CICESE, México, pp: 279–292.
- Gorni R y RR Weber. 2004. Organochlorine pesticides residues and PCBs in benthic organisms of the inner shelf of the Sao Sebastiao Channel, Sao Paulo, Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography* 52(2): 141–151.
- Hope BK, D Stone, T Fuji, RW Gensemer y J Jenkins. 2010. Meeting the challenge of identifying persistent pollutants at the state level. *Integrated Environmental Assessment and Management* 6(4): 735–748.
- Huato-Soberanis L, MJ Haro-Garay, E Ramírez-Félix y LC López-González. 2006. Estudio socio-económico de la pesquería de jaiba en Sinaloa y Sonora. *En: JB Santinelli (coord.). La situación del sector pesquero en México.* CEDRSSA-Cámara de Diputados LX Legislatura. México, pp: 49–93.
- Jara-Marini ME, JN Tapia-Alcaraz, JA Dumer-Gutiérrez, L García-Rico, J García-Hernández y F Páez-Osuna. 2013. Distribution and accumulation of Cd, Cu, Hg, Pb and Zn in the surface sediments of El Tobarí lagoon, central East Gulf of California: An ecosystem associated with agriculture and aquaculture activities. *Journal of Environmental Science and Health, Part A* (48): 1842–1851.
- Jara-Marini ME, L García-Rico, J García-Hernández y F Páez-Osuna. 2014. Transferencia de Cd, Cu, Hg, Pb, y Zn en la trama trófica de un ecosistema lagunar subtropical de la región centro-este del golfo de California. *En: AV Botello, F Páez-Osuna, L Méndez-Rodríguez, M Betancourt-Lozano, S Álvarez-Borrego y R Lara-Lara (eds.). Pacífico Mexicano. Contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias.* UAC, UNAM-ICMYL, CIAD-MAZATLÁN, CIBNOR, CICESE. México, pp: 241–266.
- Jop KM, RC Biever, JR Hoberg y SP Shepherd. 1997. Analysis of metals in blue crabs, *Callinectes sapidus*, from two Connecticut estuaries. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 58: 311–317.
- Méndez L, B Acosta, A Arreola-Lizárraga y G Padilla. 2004. Anomalous levels of heavy metals in sediments from Guaymas Bay, Mexico. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 72: 1101–1106.
- Murrieta-Ruiz D. 2014. Patrones de distribución de plaguicidas organoclorados en *Amphibalanus amphitrite* y *Megabalanus coccopoma* (Crustacea: Balanidae) en la zona centro y sur de la costa del estado de Sonora. Tesis de Licenciatura. División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Universidad de Sonora. Hermosillo, Son. México. 59p.
- Osuna-López JI, MG Frías-Espericueta, G López-López, G Izaguirre-Fierro, H Zazueta-Padilla, M Aguilar-Juárez, EM Correa-González, JC Bautista-Covarrubias, JA Cervantes-Atondo, L Sánchez-Osuna y D Voltolina. 2014. Niveles de concentración de pesticidas organoclorados en moluscos bivalvos del noroeste de México. *En: AV Botello, F Páez-Osuna, L Méndez-Rodríguez, M Betancourt-Lozano, S Álvarez-Borrego y R Lara-Lara (eds.). Pacífico Mexicano. Contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias.* UAC, UNAM-ICMYL, CIAD-MAZATLÁN, CIBNOR, CICESE. México, pp: 33–42.
- Páez-Osuna F, AC Ruiz-Fernández, AV Botello, G Ponce-Vélez, JI Osuna-López, MG Frías-Espericueta, G López-López y HM 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. *Marine Pollution Bulletin* 44(11): 1303–1308.
- Paul RKG. 1982. Observations on the ecology and distribution of swimming crabs of the genus *Callinectes* (Decapoda, Brachyura, Portunidae) in the Gulf of California, Mexico. *Crustaceana* 42(1): 96–100.

- Pereira E, SN Abreu, JP Coelho, CB Lopes, MA Pardal, C Vale y AC Duarte. 2006. Seasonal fluctuations of tissue mercury contents in the European shore crab *Carcinus maenas* from low and high contamination areas (Ria de Aveiro, Portugal). *Marine Pollution Bulletin* 52(11): 1450–1457.
- Peterson SM y GE Batley. 1993. The fate of endosulfan in aquatic ecosystems. *Environmental Pollution* 82: 143–152.
- Rodríguez-Rojero A. 2004. Hábitos alimentarios de las jaibas *Callinectes bellicosus* Stimpson y *C. arcuatus* Ordway (Brachyura: Portunidae) en Bahía Magdalena, Baja California Sur. México. Tesis de Licenciatura. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. La Paz, BCS, México. 114p.
- Rose A, K Drouillard, K Olayinka y A Babajide. 2013. Bioaccumulation of organochlorine pesticide residues in fish and invertebrates of Lagos Lagoon, Nigeria. *American Journal of Scientific and Industrial Research* 4(1): 22–30.
- Sall J, L Creighton y A Lehman. 2007. *JMP Start Statistics: A guide to statistics and data analysis using JMP®*. 4ª edición. CARY, NC. SAS Institute, Inc. EU. 607p.
- SEMARNAT. 2007. *Plan nacional de implementación del convenio de Estocolmo*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 67p.
- Tsai DE, H Chen y C Tsai. 1984. Total lipid and cholesterol content in the blue crab, *Callinectes sapidus* Rathbun. *Comparative Biochemistry and Physiology B* 78(1): 27–31.
- U.S. EPA. 1986. *Method 7471 Mercury in solid or semisolid waste (manual cold-vapor technique)*. Washington DC, EU.
- U.S. EPA. 1996a. *Method 3052. Microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based materials*. Washington DC, EU.
- U.S. EPA. 1996b. *Method 8081. Organochlorine Pesticides by Gas Chromatography*. Washington DC, EU.
- U.S. EPA. 2000a. *Guidance for assessing chemical contaminant data for use in fish advisories*. Volume 2. Risk assessment and fish consumption limits. Third Edition. EPA 823-B-00-008. Washington DC, EU. 383p.
- U.S. EPA. 2000b. *Ambient aquatic life water quality criteria for dissolved oxygen (saltwater): Cape Cod to Cape Hatteras*. U.S. Environmental Protection Agency. Office of Water. EPA-822-R-00-012. Washington DC, EU. 55p.
- U.S. EPA. 2007. *Method 3546. Microwave extraction*. Washington DC, EU.
- U.S. EPA. 2014. *Method 3620c. Florisil cleanup*. Washington DC, EU.
- YSI. 2003. YSI 556 Sistema Multi-Sonda, Manual de Instrucciones. Yellow Springs, OH. 169p.

Recibido: 10 de mayo de 2015.

Aceptado: 23 de octubre de 2015.