

Informe resumido sobre contenido de mercurio en tejidos de peces de México

Abril de 2013

Sylvie Boucher de Grosbois
Consultora del proyecto

El presente informe de proyecto fue elaborado por Sylvie de Grosbois, por encargo del Secretariado de la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA) de América del Norte. La información que contiene es responsabilidad de la autora y no necesariamente refleja los puntos de vista de la CCA o de los gobiernos de Canadá, Estados Unidos o México.

Se permite la reproducción total o parcial de este documento, en cualquier forma o medio, con propósitos educativos y sin fines de lucro, sin que sea necesario obtener autorización expresa por parte del Secretariado de la CCA, siempre y cuando se haga con absoluta precisión y se cite debidamente la fuente. La CCA apreciará que se le envíe una copia de toda publicación o material que utilice este trabajo como fuente.

A menos que se indique lo contrario, el presente documento está protegido mediante licencia de tipo “Reconocimiento - No comercial - Sin obra derivada”, de Creative Commons



© Comisión para la Cooperación Ambiental, 2013

Particularidades de la publicación

Tipo: Informe de proyecto

Fecha: abril de 2013

Idioma original: inglés

Procedimientos de revisión y aseguramiento de calidad:

Revisión final de las Partes: marzo de 2013

QA09.33

Available in English – Disponible en français

Si desea obtener mayor información sobre ésta y otras publicaciones de la CCA, diríjase a:

Comisión para la Cooperación Ambiental

393 rue St-Jacques ouest, bureau 200

Montreal (Quebec), Canadá, H2Y 1N9

t 514.350.4300 f 514.350.4372

info@cec.org / www.cec.org



Índice

Propósito.....	1
Antecedentes.....	1
Estudio de un mercado veracruzano	1
Enfoque	1
Informe sobre literatura gris.....	2
Objetivos	2
Planteamiento.....	3
Limitaciones del informe sobre literatura gris	3
Evaluación del riesgo de exposición al mercurio en la cuenca del lago de Zapotlán, México	4
Objetivos	4
Planteamiento.....	5
Estudio Raptor: <i>Mercurio en el tejido muscular de varias especies de peces de México</i>	6
Objetivo.....	6
Planteamiento.....	6
Contenido total de mercurio.....	7
Resultados.....	8
Limitaciones	11
Conclusiones.....	13
Bibliografía.....	14
Anexo 1: Lista de universidades mexicanas visitadas	16
Anexo 2: Matriz resumida	19
Anexo 3: Ilustraciones de especies de peces	23

Lista de siglas, abreviaturas y unidades

^{16}N	16 moles
^6N	6 moles
COP	contaminantes orgánicos persistentes
DE	desviación estándar
DER	desviación estándar relativa
DRf	dosis de referencia (en este caso, aplicada a la ingestión humana diaria de metilmercurio)
EPA	Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (<i>US Environmental Protection Agency</i>)
FDA	Administración de Alimentos y Fármacos de Estados Unidos (<i>US Food and Drug Administration</i>)
g	gramo
HCH	hexaclorociclohexano; el lindano es un isómero gamma (γ) del HCH
HCl	cloruro de hidrógeno
Hg	mercurio
HgT	mercurio total
HNO_3	ácido nítrico
IDT	ingesta diaria tolerable
IUPAC	Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (<i>International Union of Pure and Applied Chemistry</i>)
LD	límite de detección
MeHg	metilmercurio
mg	miligramo
mL	mililitro
ng	nanogramo
NRC	Consejo Nacional de Investigación de Canadá (<i>National Research Council Canada</i>)
pc	peso corporal
pg	picogramo
ppm	partes por millón
QA/QC	aseguramiento de la calidad y control de calidad
Sn(II)	sal de estaño [cloruro de estaño(II)]
STPB	sustancias tóxicas persistentes y bioacumulables
UQAM	Universidad de Quebec en Montreal (<i>Université du Québec à Montréal</i>)
μg	microgramo

Propósito

En este informe se presenta un resumen de los datos disponibles sobre el contenido de mercurio en tejidos de peces de México. La CCA encomendó la elaboración de este informe con miras a reunir información para complementar datos similares sobre concentraciones de mercurio en peces de Canadá y Estados Unidos, en apoyo de su objetivo por aplicar una estrategia regional al monitoreo de sustancias tóxicas persistentes y bioacumulables. Esta información servirá para fundamentar la posible elaboración de estrategias encaminadas a abordar los riesgos que supone el consumo de pescado contaminado con mercurio.

Se utilizaron varios conjuntos de datos: el estudio de un mercado de Veracruz (datos de la UQAM y la Universidad de Ottawa), el informe sobre literatura gris de la CCA,¹ un estudio sobre el lago de Zapotlán (datos de la Universidad de Toronto)² y el estudio Raptor (datos del Servicio Canadiense de Vida Silvestre). Como éste no fue un estudio diseñado *ex profeso*, los conjuntos de datos provienen de fuentes y laboratorios diversos. Lo anterior limita la comparabilidad de los resultados, problema que se abordará en el apartado “Limitaciones” del informe. Asimismo, se ofrece un contexto sobre los niveles de mercurio hallados en el tejido de peces en relación con las recomendaciones sobre consumo de pescado de Canadá y Estados Unidos, así como niveles de referencia señalados en otras recomendaciones sanitarias.

La información con la que se integró este documento proviene, pues, de análisis de datos disponibles correspondientes a los estados de Veracruz (estudio de un mercado veracruzano); Yucatán, Quintana Roo, Campeche, Chiapas, Aguascalientes, Querétaro, San Luis Potosí, Guanajuato, Sinaloa, Nayarit, Colima, Baja California, Sonora y Baja California Sur (informe sobre literatura gris), y Jalisco (informe sobre literatura gris y estudio sobre el lago de Zapotlán). El estudio Raptor incluyó muestras recolectadas en Jalisco, Veracruz, Oaxaca, Nayarit y Tabasco. Para algunos de los estados mencionados no hubo datos disponibles sobre mercurio en tejidos de peces.

Antecedentes

Estudio de un mercado veracruzano

Planteamiento

A efecto de determinar los niveles de mercurio en peces procedentes de un área industrial de México, se proporcionaron a la CCA muestras de pescado (de especies identificadas) obtenidas en un mercado.

¹ Véase: CCA, 2009.

² Branfireun, 2008. Véase también la tesis de maestría realizada por el estudiante a cargo de los análisis: Malczyk, 2009.

Recolección de muestras

Las muestras se recolectaron en un mercado local que surte a los residentes de pescado fresco como fuente de proteínas. Una vez identificadas, las muestras de tejido muscular se preservaron en etanol.

Preparación de las muestras para análisis

Las muestras se calentaron a 45 °C la noche anterior en un horno de secado para eliminar el etanol y se liofilizaron durante 24 horas. La piel y las escamas se retiraron de la carne.

Análisis del contenido total de mercurio en peces

Se usó una parte de la carne seca —alrededor de 100 mg por muestra— para los análisis. Los tejidos se digirieron en una mezcla de ^{16}N de HNO_3 : ^6N de ácido HCl (10 mL: 1 mL) y se calentaron a 120 °C durante cuatro horas en un tubo de Pyrex® destapado. La parte superior del tubo se enfrió con un sistema ventilador para propiciar la condensación de vapores y evitar la pérdida de mercurio por evaporación. En cada caso, la solución se llevó a un volumen final de 30 mL con agua NANOpure® y luego se analizó mediante fluorescencia atómica con vapor frío, que mide el mercurio liberado luego de su reducción por Sn(II) . Una serie de digestión incluyó blancos de digestión y un estándar certificado.

La calibración se determinó inyectando cantidades conocidas de Hg(II) (400-1,000 pg Hg). El límite de detección para una muestra de 100 mg fue de 0.001 $\mu\text{g Hg/g}$. La exactitud del método se verificó utilizando el estándar certificado TORT-2 [con material de referencia de hepatopáncreas de langosta proveniente del Consejo Nacional de Investigación de Canadá (*National Research Council*, NRC)]. Los resultados de las dos alícuotas promediaron $0.287 \pm 0.002 \mu\text{g Hg/g}$, lo que entra bien dentro del intervalo de valores certificados de $0.272 \pm 0.060 \mu\text{g Hg/g}$.

Informe sobre literatura gris

Objetivos

El trabajo de la CCA sobre literatura gris consistió en:

- compilar la información sobre estudios y monitoreo de STPB realizados fuera de la Ciudad de México disponible en documentos de “literatura gris”, localizados mediante una búsqueda en bibliotecas universitarias e institucionales de varios estados mexicanos;
- elaborar un inventario sobre los informes existentes y los resultados resumidos en materia de calificación y cuantificación de STPB;
- sistematizar la información sobre STPB.

En específico, se trataba de extraer información detallada sobre los datos de monitoreo seleccionados disponible en la llamada “literatura gris” y en fuentes distintas de bibliográficas tradicionales, como revistas profesionales con revisión de pares.

De manera concisa y usando una matriz de estándares, se elaboró un resumen informativo sobre la naturaleza de los estudios de monitoreo referidos en la “literatura gris” y sus resultados, resumen que —siempre que resultó posible— incluyó los siguientes datos:

- ubicación y cobertura geográfica de los ejercicios de monitoreo descritos;
- sustancia(s) química(s) monitoreada(s) (con especial atención en los 12 COP considerados en el Convenio de Estocolmo);³
- metales tóxicos;⁴
- medios y matrices muestreados;
- resultados y —de estar disponibles— valor medio, valor mínimo, valor máximo, mediana, intervalo, media de muestras detectadas, tendencias espaciales o temporales;
- número de muestras;
- número de muestras con niveles por arriba de los límites de detección;
- periodo de monitoreo;
- evaluación de aseguramiento y control de calidad (AC/CC)⁵ sobre la validez del estudio y sus hallazgos, determinada mediante cuantificación de análisis replicados, validación de muestras ciegas y otros protocolos para datos de laboratorio y analíticos aceptados que aseguran la calidad y la validez de la información;
- referencias.

Planteamiento

La compilación de la información disponible estuvo a cargo de académicos y estudiantes de posgrado mexicanos conocedores de la materia y con probabilidades de estar familiarizados, desde el punto de vista profesional y geográfico, con el muestreo y la generación de datos para la región específica en cuestión. En el **anexo 1** se presenta la lista de instituciones participantes.

Limitaciones del informe sobre literatura gris

Este informe no pretendió evaluar a fondo toda la información disponible sobre STPB en las regiones objeto del estudio. Hubo dificultades de acceso a la información, tanto en las bibliotecas universitarias como en las instituciones gubernamentales visitadas. Las primeras no necesariamente cuentan con motores de búsqueda automatizados y algunas instituciones gubernamentales fueron renuentes a dar información sin previa autorización de sus directores o sedes principales. Por ello, una de las limitaciones importantes de este

³ Aldrín, clordano, DDT, diodrín, dioxinas, endrín, furanos, heptacoloro, hexachlorobenceno (HCB), mirex, bifenilos policlorados (BPC), toxafeno y lindano.

⁴ Cadmio, plomo y mercurio.

⁵ *Aseguramiento de la calidad*: Conjunto de acciones coordinadas, como planes, especificaciones y políticas, que se emprenden para asegurar que un programa de medición sea cuantificable y produzca datos de calidad conocida.

Control de calidad: Uso rutinario de procedimientos diseñados con la finalidad de lograr y mantener un nivel especificado de calidad para un sistema de medición.

trabajo es que el levantamiento de datos quizá no sea representativo de toda la información disponible.

El criterio por el cual se determinó qué estudios se incluirían en la matriz se basó principalmente en las sustancias químicas. Para su inclusión en la matriz regional, bastaba con que un estudio hubiera monitoreado aldrín, clordano, DDT, dieldrín, dioxinas, endrín, furanos, heptacloro, hexaclorobenceno (HCB), mírex, bifenilos policlorados (BPC), toxafeno, lindano (γ -HCH), cadmio, plomo o mercurio. En consecuencia, algunos estudios incluidos en la matriz no aportan datos sobre todos los criterios mencionados en la lista anterior de objetivos específicos. La matriz estándar se adaptó para que representara la disponibilidad de información regional y, como resultado, se elaboraron cinco matrices regionales. El informe completo contiene más datos a este respecto.⁶

Para efectos del presente informe, se recuperaron datos sobre la presencia de mercurio en tejidos de peces de las cinco matrices regionales incluidas en el informe sobre literatura gris y se les compiló en una base de datos independiente (véase **anexo 2**). Los únicos datos que se incluyeron en el cuadro resumido fueron los que se relacionaban explícitamente con las mediciones musculares, que representan el criterio de valoración relevante para el consumo humano de pescado. Sólo se hallaron datos sobre presencia de mercurio en tejidos de peces en unos cuantos estudios de Sinaloa, Baja California, Colima y Sonora.

Evaluación del riesgo de exposición al mercurio en la cuenca del lago de Zapotlán, México⁷

Objetivos

Este proyecto, apoyado por la CCA, constó de tres fases. El objetivo general fue evaluar el potencial de un riesgo elevado de exposición a metilmercurio para las poblaciones humanas y de vida silvestre en el lago de Zapotlán y los humedales de los alrededores.

En cada una de las fases se perseguían varios objetivos específicos, entre ellos el relacionado con el presente informe y que a continuación se describe.

Objetivo específico

Llevar a cabo un programa de muestreo de peces en cooperación con los pescadores locales en octubre (final de la temporada de lluvia, pleamar para la fase 1), febrero (plena temporada de sequía, bajamar para la fase 2) y junio-julio (inicio de la temporada de lluvia para la fase 3).

Rutinariamente se tomaron pequeñas muestras de carne de la pesca comercial y se analizó su contenido de mercurio.

⁶ CCA, 2009, en: <www.cec.org/Page.asp?PageID=1180&ContentID=&SiteNodeID=512&BL_ExpandID=155>.

⁷ Branfireun, 2008.

Planteamiento⁸

Obtención de muestras

Para obtener las muestras se compraron peces vivos directamente de los pescadores locales cuando llegaban éstos a tierra o bien peces que al momento de la captura habían sido sacrificados y refrigerados para su envío a las instalaciones de procesamiento, en cuyo caso los datos secundarios (peso y longitud) habían sido recabados en el momento de la pesca. En el caso de los ejemplares más grandes, se cortaron uno o dos gramos de tejido a partir del filete, sin piel; estas muestras de tejido se guardaron en bolsas dobles, se etiquetaron y congelaron a -15 °C como mínimo. Los peces más pequeños o carpas se congelaron intactos.

Análisis del contenido total de mercurio

Para medir el contenido total de mercurio (HgT) en el tejido de los peces se usó el sistema Milestone DMA-80 Direct Mercury Analyzer, con utilización de materiales de referencia estándares para tejido de peces (consúltese el informe para mayores detalles).

Aseguramiento de la calidad general

a) *Estandarización*. Se efectuó por lo menos una estandarización diaria, al inicio de una corrida de muestras.

Para todos los análisis se usó una curva estándar a fin de calcular las concentraciones de las muestras según las respuestas en los instrumentos. La curva se generaba midiendo las respuestas a una serie de soluciones estándares que contenían el analito. A continuación se calculaban las concentraciones de las muestras mediante interpolación entre los puntos estándar. Para la estandarización se usó un conjunto de al menos tres estándares que delimitaban las concentraciones esperadas en las muestras. Las respuestas en los instrumentos usadas para generar la curva estándar debían ser lineales de acuerdo con los criterios establecidos para el método específico. De lo contrario, se analizaba una segunda serie de soluciones estándares antes de proceder con el análisis de cualquier muestra.

b) *Precisión y duplicados*: La precisión del procedimiento analítico se determinó mediante un análisis replicado de una muestra, que debía satisfacer los criterios establecidos para el método específico. Los índices de precisión utilizados fueron diferencia porcentual relativa (DPR) y desviación estándar relativa (DER):

$$\text{DPR (\%)} = [(|X1-X2|)/\text{media}] \times 100$$

$$\text{DER (\%)} = (\text{desviación estándar}/\text{media}) \times 100$$

donde X1 y X2 son los valores medidos para la primera y segunda réplicas, respectivamente. El límite de detección (LD) es la concentración a tres desviaciones estándares de los análisis de blancos múltiples (definición de la

⁸ Los aspectos metodológicos se presentan en Branfireun, 2008, y Malczyk, 2009.

IUPAC para un intervalo de confianza de 99%). Debajo de este valor, se considera que la concentración del analito es indetectable. La región de tres a cinco veces la desviación estándar de los blancos es la región de detección, pero no de cuantificación. Una concentración superior a cinco veces la desviación estándar de los blancos representa la región de cuantificación. La DPR y la DER sólo son aplicables en esa región.

Si la DPR y la DER rebasaban 10% el contenido total de mercurio, la muestra se volvía a analizar.

c) *Exactitud y adiciones.* La exactitud de la muestra se determinó agregando una cantidad conocida del analito para “adicionar” la muestra y medir el cambio de la concentración. La recuperación porcentual se usó como índice para medir la exactitud y se calculó de la siguiente manera:

$$\text{Recuperación porcentual} = [(C2-C1)/C2] \times 100$$

donde C2 equivale a la concentración de la muestra adicionada y C1 a la concentración de la muestra. Las recuperaciones porcentuales deben satisfacer los criterios establecidos para el método específico; de lo contrario, hay que analizar una segunda muestra adicionada.

Si la recuperación porcentual no cumplía con los criterios establecidos, entonces todos los datos de las muestras correspondientes a esa corrida se consideraban sospechosos y se volvían a analizar, o se marcaban para llamar la atención.

d) *Análisis de blancos.* Los blancos se analizaron para verificar que el sistema analítico no estuviera contaminado, ni arrastrara muestras. La media de las respuestas en los instrumentos obtenidas con los blancos se usó como valor cero en la curva de calibración y el cálculo de los LD. El LD/volumen de la muestra en litros, calculado a partir de los tres primeros blancos, debe ser inferior a la concentración esperada de la muestra.

Estudio Raptor: Mercurio en el tejido muscular de varias especies de peces de México⁹

Objetivo

Determinar el contenido de mercurio en muestras de músculo de 13 especies ictiológicas de 17 regiones mexicanas.

Planteamiento¹⁰

Preparación de las muestras

Se homogeneizaron los tejidos musculares extraídos de los peces y se prepararon 12 muestras que eran combinaciones de tejido de cuatro o cinco individuos. Con espátulas

⁹ Scheuhammer y Dorzinsky, 2006.

¹⁰ Los aspectos metodológicos se presentan en Scheuhammer y Dorzinsky, 2006.

químicamente limpias¹¹ se tomaron alícuotas de 1-1.5 gramos. Todas las muestras se almacenaron en frascos de polipropileno lavados con ácido, se liofilizaron¹² al menos 72 horas y luego se volvieron a pesar para determinar su contenido de humedad (como porcentaje). A continuación se almacenaron en un desecador a la temperatura ambiente.

Aseguramiento de la calidad en el laboratorio

La exactitud de las básculas¹³ se verificó diariamente usando un conjunto de pesas del laboratorio,¹⁴ ello al margen de las calibraciones anuales certificadas. Se aceptaron los resultados con un error diario promedio basado en al menos cuatro pesas diferentes e inferior a |0.30g|. Todas las pipetas usadas durante la extracción de Hg orgánico y la lectura de muestras se probaban a diario en la báscula Mettler AE166. Cada vez que las pipetas no lograban satisfacer el criterio para una transferencia, es decir, una inexactitud permisible inferior a 2% y con menos de 2% de DER en por lo menos cuatro lecturas, se procedía a calibrarlas.

Contenido total de mercurio

Método analítico. La cantidad total de mercurio en las muestras sólidas liofilizadas se determinó usando el AMA-254 (analizador de mercurio), equipado con un automuestreador para muestras sólidas ASS-254 (Altec, República Checa). El análisis de las muestras con una lectura entre dos intervalos de calibración,¹⁵ es decir, entre 35 ng y 45 ng, se repitió con diferentes pesos para corregir cualquier inexactitud.

Exactitud del contenido total de mercurio (HgT). Todos los días se midieron varios materiales de referencia estándares (MRE) sólidos certificados para validar las curvas de calibración.

Precisión del contenido total de mercurio (HgT). La precisión se midió con base en la variabilidad de los análisis duplicados: variabilidad en el mismo día y variabilidad entre días, lo que se cuantificó calculando el porcentaje de DER.¹⁶

Límite de detección del contenido total de mercurio (HgT). El límite de detección del método teórico (LDMT) se determinó analizando al menos 5-9 blancos y determinando la desviación estándar (DE) calculada en un intervalo de confianza de 99%, de modo que el LD = 3DE. Se usó un límite de detección del método práctico (LDMP) de cinco veces el LDMT como valor de corte de las muestras. Para el contenido total de Hg, el LDMP osciló entre 0.07 y 0.27 ng. En el caso de muestras ubicadas debajo de ese límite el proceso se repitió —siempre que ello fue posible— con muestras de mayor peso. Si la muestra seguía estando debajo del LDMT, se registraba como <LDMT, junto con la incertidumbre correspondiente (por ejemplo, $\pm 2SD$).

¹¹ Esto se llevó a cabo de acuerdo con los procedimientos de operación estándares para la limpieza química de material de vidrio y de laboratorio, SOP-TP-PROC-01D, 6 de julio de 2005.

¹² Labconco Freezone 6.

¹³ Mettler AE166 y Sartorius AC210P.

¹⁴ Ohaus Sto-A-Weigh.

¹⁵ Intervalo 1: 0-40 ng; intervalo 2: 40-600 ng.

¹⁶ DER = DE/media \times 100%.

Resultados

En el **anexo 2** se presenta una matriz que resume los datos por región, especificando: la media para el contenido total de mercurio en peces (incluidos la desviación estándar y los valores máximos, para los casos en que éstos se presentan en los informes), el estudio del que se obtuvo la información, los nombres común y científico de la especie, el nicho trófico correspondiente (herbívoros, detritívoros, carnívoros o mixtos) y el número de muestras analizadas.

En ese mismo anexo aparece un cuadro en el que se resume el contenido total medio de mercurio por especie, con especificación del número de muestras, así como de la desviación estándar y los valores máximos, si los informes los mencionan.

En el **cuadro 1** se resumen e integran datos de los informes científicos (lago de Zapotlán y estudio Raptor), el informe sobre literatura gris y el informe del mercado de Veracruz.

En términos generales, el contenido de mercurio en los peces es bajo, inferior a los niveles señalados en las recomendaciones sobre consumo de pescado emitidas en Canadá y Estados Unidos.

En Estados Unidos, la Administración de Alimentos y Fármacos (*US Food and Drug Administration*, FDA) establece un límite de 1.0 partes por millón (ppm) de metilmercurio en peces marinos y de agua dulce como nivel para emprender medidas, mientras que en Canadá el límite de contenido total de mercurio para la mayoría de las especies comerciales de peces es de 0.5 ppm, con una norma de 1.0 ppm aplicada a ciertas especies depredadoras. Todas las especies de peces sujetas a la norma de 1.0 ppm también están incluidas en las recomendaciones sobre consumo de pescado. El nivel de acción de la FDA de 1.0 µg/g de peso húmedo para el metilmercurio en peces se aplica con objeto de regular la venta de pescado para consumo humano.¹⁷ Recientemente, la Agencia de Protección Ambiental (*US Environmental Protection Agency*, EPA) estableció una concentración máxima de metilmercurio de 0.30 µg/g de peso húmedo como criterio aplicable a los residuos de tejidos de peces para proteger la salud humana.¹⁸

¹⁷ FDA, 1994.

¹⁸ EPA, 2001.

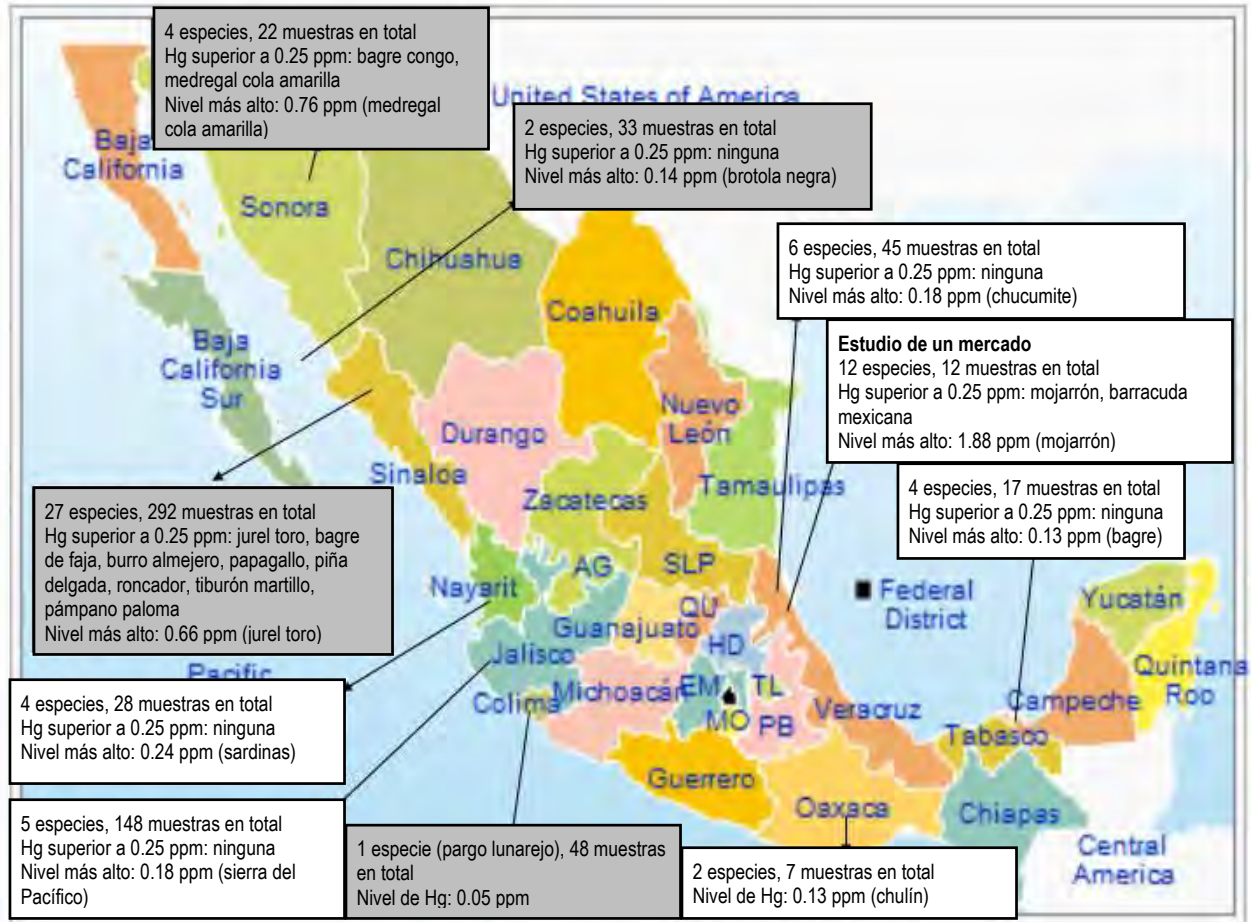
Cuadro 1: Resumen de información sobre varias especies de peces y su contenido de mercurio

	Informes científicos ¹⁹	Informe sobre literatura gris	Mercado de Veracruz	Media total o ponderada
Número de especies	11	33	10	54
Número de especies carnívoras	5	26	8	39
Nivel medio de Hg y desviación estándar de las medias para todas las especies ($\mu\text{g/g}$, peso húmedo)	0.094 (0.07)	0.220 (0.16)	0.258 (0.52)	0.196 (0.263)
Nivel de la mediana de Hg para todas las especies ($\mu\text{g/g}$, peso húmedo)	0.092	0.190	0.093	0.137
Valor mínimo y máximo de las medias para todas las especies ($\mu\text{g/g}$, peso húmedo)	0.008-0.238	0-0.764	0.018-1.879	0-1.879
Número de especies con más de 0.25 μg Hg/g (peso húmedo)	0	10	2	12
Número de especies con más de 0.5 μg Hg/g (peso húmedo)	0	2	1	3

¹⁹ Los informes científicos incluyen el estudio sobre el lago de Zapotlán, el estudio Raptor y el resto de los estudios mencionados en la bibliografía.

Tres especies (véase la **gráfica 1**) registraron niveles de Hg superiores a la norma canadiense de 0.5 ppm para pesca comercial (medregal cola amarilla de Sonora y jurel toro de Sinaloa, con base en dos muestras, y mojarrón de Veracruz, con base en una muestra).

Gráfica 1: Cartografía de los resultados disponibles sobre contenido total de mercurio en peces en México



Utilizando un modelo de un compartimiento basado en STELLA (Canuel *et al.*, 2006), que ofrece una manera práctica de poner a prueba las relaciones de varios conjuntos de datos sobre exposición humana a metilmercurio presentados por el NRC (2000), se hicieron corridas de simulación a fin de evaluar los niveles esperados de mercurio en el cabello para diferentes perfiles de consumo:

- El consumo de 150 g de pescado con un contenido de 29.4 µg (**0.196 ppm**) de Hg cada tercer día para una persona con un peso corporal de 60 kg significaría un nivel de Hg en el cabello de **2.4 ppm**.
- El consumo diario de 150 g de pescado con un contenido de 29.4 µg (**0.196 ppm**) de Hg para una persona de 60 kg de peso corporal significaría un nivel de Hg en el cabello de **7 ppm**.

El ministerio de Salud de Canadá considera que un nivel de Hg en el cabello de <6 ppm para adultos se encuentra en el intervalo de aceptable a normal (Health Canada, 2004). Esta misma dependencia específica, provisionalmente, una ingesta diaria tolerable (IDT) de 0.2 µg de MeHg por kg de peso corporal para niños y mujeres en edad reproductiva (Health Canada, 2007), lo que equivale a un nivel de Hg en el cabello de 2 ppm.

La ingesta diaria tolerable se define como la cantidad máxima de una sustancia química que se puede ingerir diariamente durante toda la vida sin correr un riesgo mayor de sufrir efectos adversos en la salud.

En Estados Unidos se propone una dosis de referencia (DRf) de 0.1 µg de MeHg por kg de peso corporal al día. La DRf es la cantidad de metilmercurio que puede ingerirse diariamente durante toda la vida sin que se tengan efectos adversos previsibles en la salud humana, incluidas las subpoblaciones sensibles. En la DRf o en un nivel inferior, se espera que la exposición sea segura. El riesgo luego de una exposición superior a la DRf es incierto, pero será mayor a medida que aumente la exposición a esa sustancia.

Científicos de la EPA revisan las DRf en lo relativo a su exactitud, uso apropiado de datos y de la metodología de evaluación de riesgos, así como otros aspectos científicos.

Las concentraciones de mercurio en el cabello de 1 ppm o menores se relacionan con ingestas diarias de mercurio de un estimado de 0.1 µg/kgbw/día.

Limitaciones

Se consultaron varias fuentes para compilar los datos sobre mercurio en tejidos de peces de México. La comparabilidad de los datos se puede definir como las características que permiten que la información de múltiples fuentes sea de calidad definible o equivalente, de modo que pueda utilizarse para abordar objetivos del programa que no necesariamente están relacionados con aquellos para los que se recopilaron los datos. Lograr que los datos sean comparables y comunicar las características de los datos que permiten que un usuario secundario evalúe su comparabilidad (utilidad) son aspectos cruciales que deben considerarse. Lograr la comparabilidad de los datos para maximizar su aprovechamiento entraña dificultades similares a las de la operación de un sistema de calidad bien definido. La descripción, validación y ejecución de los métodos y procedimientos deben estar en manos de profesionales competentes y las necesidades de desempeño han de evaluarse conforme a una referencia. Estos requisitos son igualmente aplicables a los datos de campo y laboratorio, y a las mediciones físicas, químicas y biológicas.

Las muestras con ventajas prácticas, como las utilizadas en este informe, normalmente no incorporan en su diseño ni tampoco en los métodos y marco de muestreo, la información necesaria para, por un lado, abordar la comparabilidad de los datos y, por el otro, aunque en menor medida, permitir la generalización de los resultados a toda América del Norte.

A fin de asegurar la comparabilidad, los estudios deben aportar información sobre:

- objetivos
- fuente de los datos
- nivel de detección
- precisión
- métodos analíticos y procedimientos de aseguramiento de la calidad de los laboratorios
- sesgo potencial
- métodos de muestreo y manejo
- tamaño de las muestras
- especies de peces
- longitud de los peces
- tejido de los peces analizado

El estudio sobre el lago de Zapotlán, el estudio Raptor y, en menor medida, el estudio del mercado de Veracruz contienen amplia información sobre los objetivos, la fuente de los datos, el nivel de detección, la precisión, el sesgo potencial, los métodos de muestreo y manejo, los métodos analíticos y los procedimientos de aseguramiento de la calidad en el laboratorio.

En el informe sobre literatura gris, la información relativa al control y aseguramiento de la calidad, desde la recolección de muestras hasta el análisis químico, pasando por el registro de datos, es muy escasa, lo cual significa que estas matrices tienen una deficiencia crucial. La falta de información sobre estos aspectos fundamentales dificulta el aprovechamiento óptimo de los datos.

En términos generales, el tamaño de la muestra en la mayoría de los estudios fue muy pequeño, excepto para el del lago de Zapotlán y dos estudios identificados en el informe sobre la literatura gris. Por consiguiente, se deben tomar reservas al interpretar el contenido total de Hg en los peces.

Otro aspecto importante tiene que ver con la falta de información en la mayoría de los estudios sobre la longitud de los peces y, en muchos casos, sobre el tipo de tejido analizado. El contenido de mercurio en los peces se relaciona con la edad y la longitud del pez; puede haber una diferencia del cuádruple entre el contenido de mercurio de un pez de un año y el de uno de seis años. Si no se especifica la longitud del pez, es muy difícil comparar los datos (Tremblay *et al.*, 1998). De ahí la importancia de ese dato, que sólo se proporcionó en el estudio sobre el lago Zapotlán.

La longitud comestible de los peces (básicamente, la longitud de la parte del pez que suele comerse, es decir, el cuerpo sin cabeza ni cola) y la especie también son datos

importantes que deben documentarse cuando se consideran recomendaciones sobre su consumo. Si se desconocen las especies que normalmente se consumen, será difícil concluir si el conjunto de datos reunido en este trabajo constituye una fuente de información inicial valiosa desde el punto de vista de la salud comunitaria.

Conclusiones

En el presente informe se expone un panorama preliminar sobre el contenido de mercurio en tejidos de peces de México, a partir de varios conjuntos de datos. Se buscó un primer acercamiento a la comparabilidad de los datos, entendida como las características que permiten que la información de múltiples fuentes sea definible o de calidad equivalente para su uso en la consecución de objetivos de programas no necesariamente relacionados con aquéllos para los que se recabaron los datos. Además, en este informe se destaca que es imprescindible contar con información validada sujeta a protocolos rigurosos de control y aseguramiento de la calidad para que los responsables de la toma de decisiones en materia de políticas puedan apoyarse en información con bases científicas sólidas. Por lo tanto, debemos concluir que los datos analizados del informe sobre literatura gris no ofrecen información de referencia suficiente para comparar e integrar adecuadamente los datos, de manera que pueda hacerse un metaanálisis a fin de combinar los resultados de varios estudios que abordan una serie de hipótesis de investigación relacionadas.

Se consideraron para este informe los niveles de las recomendaciones sobre consumo de pescado de Canadá y Estados Unidos, así como otros niveles de referencia señalados en recomendaciones sanitarias. Así, los datos disponibles sobre los niveles de mercurio en los tejidos de peces de México se analizaron con referencia al consumo de pescado y las recomendaciones sanitarias de esos dos países. Sin embargo, sólo en los estudios del mercado de Veracruz y sobre el lago de Zapotlán se identificaron las especies consumidas habitualmente. Al desconocer las especies que se consumen regionalmente en México (pautas de consumo de pescado), resulta difícil de extrapolar el riesgo potencial de una elevada exposición al metilmercurio para los consumidores mexicanos de pescado a partir de los datos sintetizados en este informe.

Bibliografía

- Branfireun, Brian A., *Assessing mercury exposure risk in the Lake Zapotlán Watershed, Mexico*, borrador del informe final del proyecto presentado a la Comisión para la Cooperación Ambiental, 2008.
- Canuel, René, Sylvie Boucher de Grosbois, Laura Atikessé, Marc Lucotte, Paul Arp, Charles Ritchie, Donna Mergler, Hing Man Chan, Marc Amyot y Robin Anderson, “New evidence on variations of human body burden of methylmercury from fish consumption”, *Environ Health Perspect* 114(2), 2006, pp. 302-306, <<http://dx.doi.org/10.1289/ehp.7857>>.
- Carrasco Orozco, Ana Karina y Dánae Zoara López Pizano, *Determinación de metales pesados (Pb, Hg, Cd y As) en agua de mar y huachinango (Lutjanus guttatus) en la costa del estado de Colima*, tesis profesional, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Colima, 2005.
- CCA, *Compilación y clasificación de información inédita sobre sustancias tóxicas persistentes y bioacumulables en México (informe sobre literatura gris)*, 2009, <<http://www.cec.org/Page.asp?PageID=1180&SiteNodeID=512>>.
- Esquer Herrera, Hilda Velia Patricia, *Concentración de mercurio en sedimentos superficial, flora y fauna representativos en la bahía de Guaymas, Sonora*, tesis profesional, Instituto Tecnológico del Mar, Unidad Mazatlán, 2003.
- Health Canada, “Mercury, your health and the environment”, <<http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/contaminants/mercur/index-eng.php>>, 2004.
- Health Canada, *Human health risk assessment of mercury in fish and health benefits of fish consumption*, Bureau of Chemical Safety Food Directorate Health Products and Food Branch, Ottawa, 2007.
- Malczyk, Evan A., *Assessing mercury exposure risk in the Lake Zapotlán watershed, Mexico*, tesis de maestría en ciencias, Departamento de Geografía, Universidad de Toronto, 2009, <https://tspace.library.utoronto.ca/bitstream/1807/18904/6/Malczyk_Evan_A200911_MSc_thesis.pdf>.
- Meza López, Guadalupe, *Distribución de mercurio en músculo, branquias e hígado de diversas especies de peces de importancia comercial en el estado de Sinaloa*, tesis profesional, Instituto Tecnológico del Mar, Unidad Mazatlán, 2005.
- Monzalvo Santos, Idalia Karina, *Determinación de mercurio en dos especies de peces bentónicos (Cherublemma emmelas y Zalieutes elater) de la zona del talud del golfo de California*, tesis profesional, Escuela de Biología, Universidad Autónoma de Sinaloa, 2003.

- NRC, *Toxicological effects of methylmercury*, Committee on the Toxicological Effects on Methylmercury, Board of Environmental Studies y Toxicology Commission on Life Sciences, National Research Council (Consejo Nacional de Investigación de EU), National Academy Press, Washington, DC, 2000.
- Raptor Study [Estudio Raptor], datos del Canadian Wildlife Service (Servicio Canadiense de Vida Silvestre); comunicación personal a la CCA, 2006.
- Rheault, Isabelle, *Analytical report of mercury concentrations in Mexican fish*, Université du Québec à Montréal (UQAM [Universidad de Quebec en Montreal]), Montreal, 2007.
- Rodríguez Preciado, Any, *Análisis comparativo de la concentración de mercurio en el tejido muscular de la lisa Mugil curema (Valenciennes, 1836) de los esteros Urías y Teacapán, Sinaloa, México*, tesis profesional, Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera, Universidad Autónoma de Nayarit, 2004.
- Scheuhammer, Anton y Jessica Dorzinsky, *Total Hg and organic Hg in Mexican fish—Hg analysis on muscle tissue from various species of Mexican fish*, Report-METRES-06-04, Environment Canada, 2006.
- Tremblay, Gilles, Pierre Legendre, Jean-François Doyon, Richard Verdon y Roger Schetagne, “The use of polynomial regression analysis with indicator variables for interpretation of mercury in fish data”, *Biogeochemistry* 40(2-3), 1998, pp. 189-201.
- US FDA, *Guidance for Industry: A Food Labeling Guide*, Department of Health and Human Services, Center for Food Safety and Applied Nutrition Office of Nutrition, Labeling and Dietary Supplements, US Food and Drug Administration (Administración de Alimentos y Fármacos de EU), 1994.
- US EPA, *Water quality criterion for the protection of human health: methylmercury*, EPA-823-R-01-001, US Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental de EU), Washington, DC, 2001 (consultado en: www.epa.gov/waterscience/criteria/methylmercury/).
- Valenzuela Aguilar, Elizabeth, *Concentración de mercurio en 4 especies de peces y 2 especies de tiburones del sistema lagunar Altata, ensenada del Pabellón, Sinaloa*, tesis profesional, Instituto Tecnológico del Mar, Unidad Mazatlán, 2003.
- Veracruz Market Fish Study*, analistas: D. Lean (Universidad de Ottawa) y I. Rheault (UQAM) (2007); los datos son valores promedio para las mediciones realizadas en la Universidad de Ottawa y la UQAM en las mismas muestras de peces recolectadas en el mercado de pescado de Veracruz. [Para la metodología analítica, véase Rheault, 2007.]

Anexo 1: Lista de universidades y centros de investigación mexicanos visitados

Instituciones públicas

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Centro de Enseñanza Técnica Industrial (CETI), Guadalajara, Jalisco
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), Baja California
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), La Paz, Baja California Sur
Instituto Politécnico Nacional (IPN)
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN)
Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca
Universidad Autónoma de Aguascalientes (UAA)
Universidad Autónoma de Baja California
Universidad Autónoma de Baja California Sur
Universidad Autónoma de Campeche
Universidad Autónoma de Chapingo
Universidad Autónoma de Chiapas
Universidad Autónoma de Chihuahua
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
Universidad Autónoma de Coahuila
Universidad Autónoma de Colima
Universidad Autónoma de Durango
Universidad Autónoma de Guanajuato
Universidad Autónoma de Guerrero
Universidad Autónoma de Nayarit
Universidad Autónoma de Nuevo León
Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ)
Universidad Autónoma de Quintana Roo
Universidad Autónoma de San Luis Potosí
Universidad Autónoma de Sinaloa
Universidad Autónoma de Tamaulipas
Universidad Autónoma de Tlaxcala
Universidad Autónoma de Veracruz
Universidad Autónoma de Yucatán
Universidad Autónoma de Zacatecas
Universidad Autónoma de la Ciudad de México
Universidad Autónoma del Carmen
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM)
Universidad Autónoma del Estado de Morelos
Universidad Autónoma Metropolitana
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México, D.F.
Universidad de Colima (UCOL)
Universidad de Guadalajara

Universidad de Guanajuato
Universidad de Quintana Roo
Universidad de Sonora (Unison)
Universidad del Mar, Oaxaca
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
Universidad Juárez del Estado de Durango
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), Morelia, Michoacán
Universidad Pedagógica Nacional
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla
Universidad Popular de la Chontalpa, Tabasco
Universidad Tecnológica de la Mixteca (UTM), Huajuapán, Oaxaca
Universidad Veracruzana

Instituciones privadas

Centro de Enseñanza Técnica y Superior (CETYS)
Centro de Estudios Universitarios Xochicalco, CEUX
Centro Universitario México, División de Estudios Superiores
Instituto de Estudios Superiores de Tamaulipas (IEST)
Instituto Tecnológico Autónomo de México (ITAM)
Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Occidente (ITESO)
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM)
Seminario Teológico Juan Calvino
Universidad Autónoma de Guadalajara (UAG)
Universidad Anáhuac del Sur
Universidad Anáhuac del Norte
Universidad Casa Blanca
Universidad Cristóbal Colón
Universidad de Morelos (UM)
Universidad de Monterrey (UDEM)
Universidad de las Américas (México, D.F.)
Universidad de las Américas (Puebla, Puebla)
Universidad del Noroeste
Universidad del Nuevo Mundo
Universidad del Valle de México
Universidad España (UNES)
Universidad Iberoamericana
Universidad Intercontinental
Universidad La Salle
Universidad Latina de América
Universidad Latina de México
Universidad Latinoamericana
Universidad Motolinía
Universidad Panamericana Sede Guadalajara
Universidad Panamericana Sede México
Universidad Regiomontana

Universidad TecMilenio (UTM)
Universidad Tecnológica de México (UNITEC)
Universidad Tecnológica de Sinaloa
Universidad Valle de Bravo

Otras

Alliant International University (AIU), México, D.F.
Centro de Estudios Avanzados de las Américas (CEAAM), México, D.F.
Universidad Autónoma Indígena de México, Mochicahui, Sinaloa
Universidad Online

Anexo 2: Matriz resumida

CÓDIGO DE COLOR:

Amarillo: Uso equivocado del nombre común o científico, falta de ortografía o información deducida de acuerdo con el nombre científico de la especie indicado en la base de datos.

Gris: Datos hallados en la literatura gris.

CONSIDERACIONES GENERALES:

- Los datos para Hg se registran como μg de Hg/g de pescado, peso húmedo; los valores para Hg son promedios por especie.
- D: agua dulce, S: agua salobre, M: marino, nc: no compilado, nd: no disponible.
- Cuando no se especificó un nombre científico para la especie (por ejemplo, *Oreochromis sp.*), se tomó el nombre común más probable para la especie de acuerdo con la región geográfica.

FUENTE DE LOS DATOS:

Informes:

- (1) Estudio sobre el lago Zapotlán: B. Branfireun, *Assessing Mercury Exposure Risk in the Lake Zapotlán Watershed, Mexico*, U. Toronto, 2008. Los valores máximos se calcularon a partir de las gráficas incluidas en el informe.
- (2) Estudio Raptor: T. Scheuhammer & J. Dorzinsky, *Hg in Mexican fish - Hg analysis on muscle tissue from various species of Mexican fish*, Report METRES-06-04, Environment Canada, 2006. Los datos se registraron originalmente en peso seco y se convirtieron a peso húmedo considerando un contenido de agua de 80 por ciento.

Literatura gris: En el resumen de este estudio únicamente se consideraron los datos medidos en muestras de músculo de peces.

- (3) Guadalupe Meza López, *Distribución de mercurio en músculo, branquias e hígado de diversas especies de peces de importancia comercial en el estado de Sinaloa*, tesis profesional, Instituto Tecnológico del Mar, Unidad Mazatlán, 2005. Los datos se registraron originalmente en peso seco y se convirtieron a peso húmedo considerando un contenido de agua de 80 por ciento.
- (4) Elizabeth Valenzuela Aguilar, *Concentración de mercurio en 4 especies de peces y 2 especies de tiburones del sistema lagunar Altata, ensenada del Pabellón, Sinaloa*, tesis profesional, Instituto Tecnológico del Mar, Unidad Mazatlán, 2003. Los datos se registraron originalmente en peso seco y se convirtieron a peso húmedo considerando un contenido de agua de 80 por ciento.
- (5) Any Rodríguez Preciado, *Análisis comparativo de la concentración de mercurio en el tejido muscular de la lisa Mugil curema, (Valenciennes, 1836) de los esteros Urias y Teacapán, Sinaloa, México*, tesis profesional, Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera de la Universidad Autónoma de Nayarit, 2004. Los datos se registraron originalmente en peso seco y se convirtieron a peso húmedo considerando un contenido de agua de 80 por ciento.
- (6) Idalia Karina Monzalvo Santos, *Determinación de mercurio en dos especies de peces bentónicos (Cherublemma emmelas y Zalieutes elater) de la zona del talud del Golfo de California*, tesis profesional, Escuela de Biología de la Universidad Autónoma de Sinaloa, 2003. Los datos se registraron originalmente en peso seco y se convirtieron a peso húmedo considerando un contenido de agua de 80 por ciento.
- (7) Ana Karina Carrasco Orozco y Dánae Zoara López Pizano, *Determinación de metales pesados (Pb, Hg, Cd y As) en agua de mar y huachinango (Lutjanus guttatus) en la costa del estado de Colima*, tesis profesional, Facultad de Ciencias Químicas en la Universidad de Colima, 2005. Se consideró que los datos registrados originalmente correspondían al peso húmedo, por lo que no se aplicó ninguna conversión.
- (8) Hilda Velia Patricia Esquer Herrera, *Concentración de mercurio en sedimentos superficial, flora y fauna representativos en la bahía de Guaymas, Sonora*, tesis profesional, Instituto Tecnológico del Mar, Unidad Mazatlán, 2003. Se consideró que los datos registrados originalmente correspondían al peso húmedo, por lo que no se hizo ninguna conversión.
- (9) Estudio de un mercado veracruzano: *Veracruz Market Fish Study*, analistas: D. Lean (U. Ottawa) e I. Rheault (UQAM), 2007. Los datos son valores promedio para las mediciones realizadas en la Universidad de Ottawa y la UQAM, <rheault.isabelle@uqam.ca>.

Cuadro 2: Resultados de la matriz resumida por especie

Especie	Nombre científico	Núm. muestras	Hg (húmedo) (ppm)	DE	Máx.
Chihuil	<i>Arius felis</i>	8	0.133	0.086	0.278
Bagre	<i>Arius sp.</i>	6	0.131	0.098	0.268
Chucumite	<i>Centropomus parallelus</i>	10	0.182	0.091	0.371
Sardinas	<i>Centropomus sp.</i>	6	0.238	0.129	0.460
Tilapia jonuta	<i>Cichlasoma urophthalmus</i>	15	0.079	0.057	0.155
Carpa	<i>Cyprinus carpa</i>	45	0.008		0.029
Mojarra	Familia Geridae	5	0.035	0.010	0.045
Guavina	<i>Gobiomorus dormitor</i>	12	0.072	0.040	0.117
Lisa blanca	<i>Mugil curema</i>	10	0.095	0.078	0.186
Lisa	<i>Mugil sp.</i>	17	0.026	0.013	0.057
Tilapia topuda	<i>Oreochromis niloticus</i>	7	0.015	0.006	0.024
Tilapia	<i>Oreochromis sp.</i>	88	0.004		0.015
Chulín	<i>Rhamdia sp.</i>	7	0.116	0.033	0.145
Sierra del Pacífico	<i>Scomberomorus sierra</i>	4	0.178	0.092	0.302
Cirujano azul	<i>Paracanthurus hepatus</i>	4	0.092	0.055	0.169
Cuatete	<i>Arius platypogon</i>	2	0.196		
Jurel toro	<i>Caranx caninus</i>	2	0.664		
Tiburón toro	<i>Carcharhinus leucas</i>	1	0.173		
Bagre congo	<i>Cathorops fuerthii</i>	6	0.460		
Blanco	<i>Caulolatilus princeps</i>	4	0.114		
Sardinas	<i>Centropomus sp.</i>	11	0.213		
Brotola negra	<i>Cherublemma emmelas</i>	24	0.140		
Corvina boca anaranjada	<i>Cynoscion xanthulus</i>	8	0.000		
Mojarra aleta amarilla	<i>Diapterus peruvianus</i>	5	0.113		
Machete del Pacífico	<i>Elops affinis</i>	4	0.194		
Mojarra charrita	<i>Eucinostomus gracilis</i>	3	0.136		
Bagre de faja	<i>Galeichthys peruvianus</i>	1	0.317		
Mojarra bandera	<i>Gerres cinereus</i>	6	0.157		
Burro rayado	<i>Haemulopsis axillaris</i>	3	0.246		
Burro almejero	<i>Haemulon sexfasciatum</i>	5	0.298		
Pargo colorado	<i>Lutjanus colorado</i>	20	0.139		
Pargo lunarejo	<i>Lutjanus guttatus</i>	48	0.047		
Lisa rayada	<i>Mugil cephalus</i>	25	0.021		
Lisa blanca	<i>Mugil curema hembra</i>	134	0.078		
Papagallo	<i>Nematistius pectoralis</i>	2	0.268		
Piña delgada	<i>Oligoplites saurus</i>	2	0.348		
Sardina crinuda	<i>Opisthonema libertate</i>	8	0.209		
Lenguado huarache	<i>Paralichthys woolmani</i>	3	0.136		
Roncacho	<i>Pomadasys branickii</i>	2	0.234		
Burrito	<i>Pomadasys leuciscus</i>	2	0.190		
Roncador	<i>Roncador steariasii</i>	3	0.278		
Sierra del Pacífico	<i>Scomberomorus sierra</i>	1	0.128		
Chicharro ojetón	<i>Selar crumenophthalmus</i>	3	0.130		
Medregal cola amarilla	<i>Seriola lalandi</i>	2	0.764		
Botete diana	<i>Sphoeroides annulatus</i>	15	0.152		
Martillo	<i>Sphyrna lewini</i>	1	0.320		
Pámpano paloma	<i>Trachionotus paitensis</i>	3	0.284		
Pez murciélago	<i>Zalieutes elater</i>	9	0.100		
Concentración cercana o superior a 0,5 ppm Hg (húmedo)					

Anexo 3: Ilustraciones de especies de peces



Arius platypogon
Bagre cominate
(0.196 ppm de Hg)



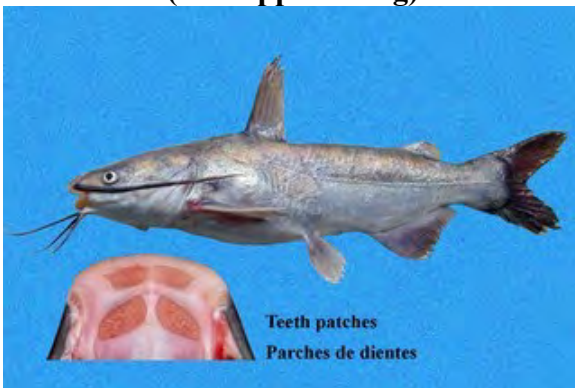
Arius felis
Bagre boca chica
(0.132 ppm de Hg)



Caranx caninus
Jurel toro
(0.664 ppm de Hg)



Carcharhinus leucas
Tiburón toro, cabeza de batea
(0.173 ppm de Hg)



Cathorops fuerthii
Bagre congo
(0.460 ppm de Hg)



Caulolatilus princeps
Pierna
(0.114 ppm de Hg)



Centropomus parallelus
Chucumite, robalito
(0.182 ppm de Hg)



Cichlasoma urophthalmus
Mojarra castarrica
(0.100 ppm de Hg)



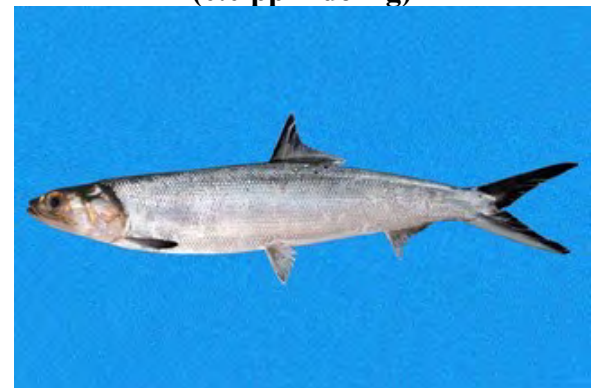
Diapterus peruvianus
Mojarra aleta amarilla
(0.132 ppm de Hg)



Cherublemma emmelas
Brotola negra
(0.140 ppm de Hg)



Cynoscion xanthulus
Corvina boca naranjada
(0.0 ppm de Hg)



Elops affinis
Machete del Pacífico
(0.194 ppm de Hg)



Eucinostomus gracilis
Mojarra charrita
(0.136 ppm de Hg)



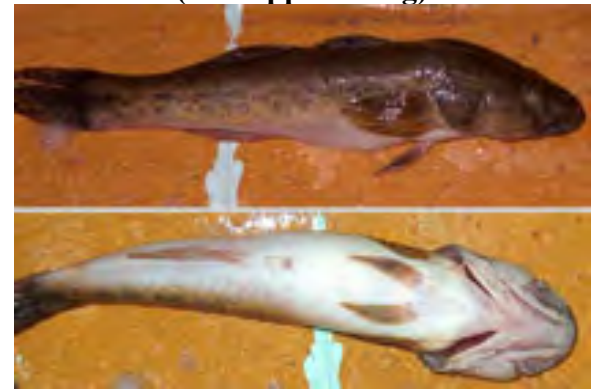
Gerres cinereus
Mojarra trompretera, mojarra blanca
(0.132 de ppm Hg)



Haemulopsis axillaris
Burro rayado, Ronco callana
(0.246 ppm de Hg)



Galeichthys peruvianus
Bagre de faja
(0.317 ppm de Hg)



Gobiomorus dormitor
Guavina bocón, Guavina de ley
(0.027 ppm de Hg)



Haemulon sexfasciatum
Burro almejero
(0.298 ppm de Hg)



Lutjanus colorado
Pargo colorado
(0.139 ppm de Hg)



Lutjanus guttatus
Pargo lunarejo
(0.047 ppm de Hg)



Mugil cephalus
Lisa, Lisa rayada
(0.022 ppm de Hg)



Mugil curema hembra
Lisa blanca
(0.078 ppm de Hg)



Nematistius pectoralis
Papagallo
(0.268 ppm de Hg)



Oligoplites saurus
Piña sietecueros, zapatero
(0.348 ppm de Hg)



Opisthonema libertate
Sardina crinuda
(0.209 ppm de Hg)



Paracanthurus hepatus
Cirujano azul
(0.092 ppm de Hg)



Paralichthys woolmani
Lenguado huarache
(0.136 ppm de Hg)



Pomadasys branickii
Roncacho arenero
(0.234 ppm de Hg)



Pomadasys leuciscus
Burrito, Ronco ruco
(0.190 ppm de Hg)



Rhamdia sp.
Bagre del rio
(0.130 ppm de Hg)



Roncador stearasii
Roncador aleta manchada
(0.173 ppm de Hg)



Selar crumenophthalmus
Charrito ojón, Chícharo
(0.130 ppm de Hg)



Sphoeroides annulatus
Botete diana
(0.152 ppm de Hg)



Scomberomorus sierra
Sierra del Pacífico
(0.128 ppm de Hg)



Seriola lalandi
Medregal rabo amarilla
(0.764 ppm de Hg)



Sphyrna lewini
Cornuda común
(0.320 ppm de Hg)



Trachinotus paitensis
Pámpano paloma, Paloma pompano
(0.284 ppm de Hg)



Zalieutes elater
Murciélago biocelado
(0.100 ppm de Hg)

MERCADO DE VERACRUZ



Anisotremus davidsonii
Sargo rayado
(0.069 ppm de Hg)



Sphyaena ensis
Barracuda mexicana
(0.355 ppm de Hg)

Centropomus robalito
Robalo aleta amarilla, Constantino
(0.112 ppm de Hg)

Diplectrum bivittatum
Serrano guabino
(0.168 ppm de Hg)

Rhomboplites aurorubens
Besugo, cotorro
(0.039 ppm de Hg)

Calamus brachysomus
Pluma marotilla
(1.879 ppm de Hg)



Eucinostomus californiensis
Mojarra cantilena
(0.019 ppm de Hg)



Lutjanus peru
Huachinango del Pacífico
(0.137 ppm de Hg)

Imágenes tomadas de <http://www.fishbase.org/> y <http://www.discoverlife.org/>.