

.1

EVALUACIÓN

DE LA CONTAMINACIÓN POR MERCURIO EN PECES DE INTERÉS COMERCIAL Y DE LA CONCENTRACIÓN DE ORGANOCOLORADOS Y ORGANOFOSFORADOS EN EL AGUA Y SEDIMENTOS DE LA ORINOQUIA



Fernando Trujillo, Carlos A. Lasso, María Claudia Diazgranados, Oriana Farina, Luis E. Pérez, Aniello Barbarino y Magdalena González

RESUMEN

Se realizaron evaluaciones de la contaminación por mercurio en peces de la Orinoquia colombo-venezolana. Se evaluó la concentración de organoclorados y organofosforados en el agua y sedimentos de la cuenca colombiana del Orinoco, debido a la fumigación masiva de cultivos ilícitos que ocurre en la zona. En Colombia, se tomaron muestras en los ríos Meta, Guaviare, Inirida, Orinoco y la confluencia Meta-Orinoco. En Venezuela, las evaluaciones se hicieron en la confluencia del Ventuari-Orinoco, en los ríos Orinoco y Apure. Se colectaron 198 muestras de tejido de músculo de peces (Colombia $n=92$, Venezuela $n=106$), pertenecientes a 27 especies. Los resultados muestran elevadas concentraciones de mercurio. En Colombia, 16 de 17 especies analizadas presentaron valores del índice Cuota de Riesgo (HQ) >1 y en Venezuela 13 de 18 especies. Estos valores sugieren una seria situación de riesgo para la salud de las poblaciones locales, debido al consumo de pescado. Se recomienda implementar un programa de monitoreo para mitigar los efectos de este tóxico no sólo pensando en los ecosistemas acuáticos y sus especies, sino también en la salud de las comunidades ribereñas, y de las personas que habitan los grandes centros urbanos donde se comercializan los peces de la región.

Palabras clave: contaminación, mercurio, organoclorados, organofosforados, Orinoquia, recursos pesqueros.

INTRODUCCIÓN

Siempre que se habla de regiones como la Orinoquia o la Amazonía, se asume tácitamente su enorme potencial hídrico como una esperanza a los problemas del siglo XXI, relacionados con el acceso al agua. Sin embargo, no se ha tenido en cuenta que ya existen procesos antrópicos que están creando un impacto negativo de importantes proporciones en lo referente a la contaminación del recurso. A lo largo de más de cuatro siglos, se han liberado e incorporado grandes cantidades de mercurio a los ríos suramericanos como resultado de la minería aurífera a pequeña escala o artesanal que se ha desarrollado históricamente en la región. Esta situación ha sido evaluada en regiones como la Amazonía en Brasil (Lacerda y Salomons 1992; Lacerda y Marins 1997) y en la Guayana Venezolana (Shrestha y Ruiz de Quilique 1989, Nico y Taphorn 1994, García-Sánchez *et al.* 2006, García-Sánchez *et al.* 2008, Farina *et al.* 2009), donde se han encontrado elevados niveles de mercurio en el agua, sedimentos y en la biota acuática, indicando una grave problemática de contaminación por Hg en la región.

En la minería artesanal, el oro es extraído por amalgamación con mercurio metálico (Hg^0), el cual es posteriormente volatilizado por calentamiento y liberado al ambiente. Se estima que un 45% de este mercurio se incorpora a la columna de agua, y es posteriormente transformado por los microorganismos en metil mercurio (MeHg), el cuál



es altamente tóxico. Su dispersión se ve favorecida por los sedimentos que arrastran las corrientes, especialmente las de aguas blancas. El restante 55% pasa a la atmósfera en forma de etil mercurio, quedando latente hasta por 24 meses en zonas secas, y precipitándose relativamente rápido en regiones con altos niveles de pluviosidad (Veiga *et al.* 1995). Algunos autores estiman que entre los años 1550 y 1880 se han utilizado más de 200.000 toneladas de mercurio para separar oro por amalgamación, especialmente en las regiones de los ríos Suramericanos (Nriagu 1993; Villas Bôas 1997; Maurice-Bourgoin *et al.* 1999).

En el agua el MeHg es rápidamente absorbido en la cadena alimenticia, desde organismos detritívoros hasta carnívoros, acumulándose en cantidades importantes en peces, reptiles y mamíferos acuáticos (Rosas y Lehti 1996, Gutleb *et al.* 1997) y causando serios efectos en la biota y en las personas debido a la ingesta de alimentos contaminados (e.g. pescado) (USEPA 1984, Fréry *et al.* 2001, Limbong *et al.* 2003, Porto *et al.* 2005, Castilhos *et al.* 2006).

Análisis del contenido de mercurio en el cabello y la orina de habitantes de comunidades en Brasil, muestran que las concentraciones del metal llegan a ser más altas en personas que se alimentan de peces, que en los mismos mineros (Rodríguez *et al.* 1994), alcanzándose niveles preocupantes en el agua, plantas y peces, como es el caso del río Madeira (Martinelli *et al.* 1988). La Organización Mundial de la Salud (OMS), establece como límite máximo de concentración de mercurio 0.5 $\mu\text{g/g}$ o ppm, contrastando con 0.07-2.7 $\mu\text{gHg/g}$ encontrado en los peces analizados del río Madeira. En ocasiones estas concentraciones fueron halladas en peces a más de 180 km de distancia de la mina de oro más próxima (Malm *et al.* 1990). Por lo que se ha sugerido: a) la contaminación por mercurio es un proceso dinámico, b) los organismos con mayores concentraciones son depredadores superiores que van bio-acumulando el metal, y c) los peces migratorios como en el caso de los grandes bagres son vehículos de transporte del mercurio a grandes distancias. Lo cual ha sido determinante en que la problemática de contaminación por mercurio sea considerada de carácter global.

En Brasil y más recientemente en Venezuela y Colombia se han comenzado programas pilotos y estrategias para minimizar el impacto del mercurio debido a la minería artesanal. Estas propuestas se han hecho desde el punto de vista tecnológico, como la implementación de retortas para la quema de amalgamas y a nivel educacional (Veiga y Meech 1995, Veiga *et al.* 1995, Pérez *et al.* 2007, Meneses 2008).

En la región de la Orinoquia, la actividad pesquera atiende dos tipos de mercados: uno a nivel local, especialmente a través de peces llamados de “escama” (carácidos y cíclidos, entre otros) y otro en mercados urbanos de grandes ciudades y capitales, especialmente los grandes bagres (peces de “cuero”) (Ramírez-Gil y Ajiaco-Martínez 2001). Con este último tipo de comercialización, las connotaciones de la contaminación por mercurio son severas, pues implican una amenaza de gran escala a nivel de salud pública, debido al consumo masivo de peces con elevadas concentraciones de mercurio.

Adicionalmente, a esta problemática se suma la relativamente reciente actividad de fumigación masiva de cultivos ilícitos en Colombia, donde se estima que hasta antes del 2001 se habían asperjado más de 200.000 ha de coca y cerca de 60.000 ha de amapola, utilizando aproximadamente tres millones de litros de Glifosato (GP) (Vargas *et al.* 2001). El efecto que ocasiona este compuesto en los organismos no ha sido totalmente esclarecido, existiendo opiniones controversiales acerca de su toxicidad y de la utilización en Parques Nacionales (Ramírez-Duarte *et al.* 2003).

Por lo tanto, la Fundación Omacha (Colombia) y la Fundación La Salle de Ciencias Naturales (Venezuela), con el apoyo de WWF Colombia y el Instituto Alexander von Humboldt, realizaron un primer diagnóstico sobre los niveles de mercurio, organoclorados y organofosforados en los peces de la región de la Orinoquia. El estudio fue realizado como parte del proyecto Biodiversidad y Desarrollo de Ecorregiones Estratégicas: Orinoquia. Los objetivos se enmarcaron dentro del Acuerdo Global de Evaluación de Mercurio del Programa Ambiental de las Naciones Unidas (UNEP), específicamente para evaluar y reportar aportes antropogénicos de mercurio al medio natural.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de Estudio

Colombia

Se tomaron muestras de peces en cuatro áreas focales seleccionadas *a priori*, ubicando puntos estratégicos de la cuenca del Orinoco y teniendo en cuenta la actividad minera en el país (Figura 11.1.1). Durante diciembre de 2003, se colectaron muestras en la localidad de Puerto Carreño (Vichada), el centro poblado más oriental de Colombia, lugar en donde la pesca se realiza principalmente de manera artesanal, aunque paulatinamente se ha incrementado el número de pesquerías de grandes bagres que son enviados



a las principales capitales del país, y la pesca deportiva con énfasis en el pavón (*Cichla* sp). En febrero de 2004, se realizó un muestreo en el municipio de Puerto Inírida (Guainía), ubicado en el extremo sur de la región, que funciona como principal centro de acopio del oro extraído en sus alrededores. Del 26 al 29 de enero de 2004 se colectaron muestras en el área de influencia del municipio de Puerto López (Meta), y entre los días 11 y 14 de febrero de 2004 se realizó el muestreo en San José del Guaviare (Guaviare). Estas dos últimas localidades representan puntos medios de las migraciones de los grandes bagres hacia el piedemonte, de ahí su importancia en el muestreo para evaluar las concentraciones de mercurio. Posteriormente se llevó a cabo una segunda fase de colecta en Puerto Carreño en enero de 2005 y Puerto Inírida durante noviembre de 2004.

Venezuela

En Venezuela las muestras se colectaron en el puerto de desembarque La Ceiba (08° 23' N – 62° 40' O), a las afueras de Ciudad Guayana, principal centro poblado de la orilla del río Orinoco en el Estado Bolívar (Guayana venezolana). Allí se adquirió el pescado de los desembarques que se transportan hasta el mercado de San Félix. *In situ*, un técnico revisó periódicamente las capturas de los pescadores artesanales desde el mes de diciembre 2003.

La segunda estación de muestreo fue la confluencia de los ríos Orinoco y Ventuari, en el Estado Amazonas. Durante diciembre 2003 se tomaron muestras en la confluencia de ambos ríos (03° 59' 34'' N – 67° 02' 29'' O). En esta región, la pesca es de subsistencia y constituye la principal fuente



Figura 11.1.1 Localidades de estudio en Colombia sobre los ríos Orinoco, Inírida, Meta y Guaviare.



EVALUACIÓN

DE LA CONTAMINACIÓN POR MERCURIO EN PECES DE INTERÉS COMERCIAL Y DE LA CONCENTRACIÓN DE ORGANOCLORADADOS Y ORGANOFOSFORADOS EN EL AGUA Y SEDIMENTOS DE LA ORINOQUIA

de proteínas de la población indígena asentada en la zona. También existe un campamento de pesca deportiva, dirigido fundamentalmente a la captura del pavón o tucunaré (*Cichla* spp.). A diferencia de la primera zona de muestreo, al suroeste de la confluencia del río Ventuari con el río Orinoco, se encuentra el Parque Nacional Yapacana, donde contradictoriamente existe una alta actividad minera ilegal.

Posteriormente se hizo un muestreo de peces capturados directamente en el río Apure y/o adquiridas en el mercado de la ciudad (Figura 11.1.2).

Colecta de muestras

Tejido muscular de peces

En cada localidad se colectaron peces frescos, los cuales fueron medidos y pesados *in situ*. Posteriormente se extrajo el tejido del músculo de la parte posterior de la aleta dorsal, en bloques de aproximadamente 3x4cm y 40 g (Figura 11.1.3). Las muestras fueron empacadas en papel aluminio y bolsas herméticas rotuladas, para luego ser congeladas hasta su análisis en el laboratorio.

En total se colectaron 198 muestras de tejido de músculo de peces (Colombia n=92, Venezuela n=106) para el análisis de la concentración de mercurio total, las cuales pertenecieron a 27 especies identificadas.

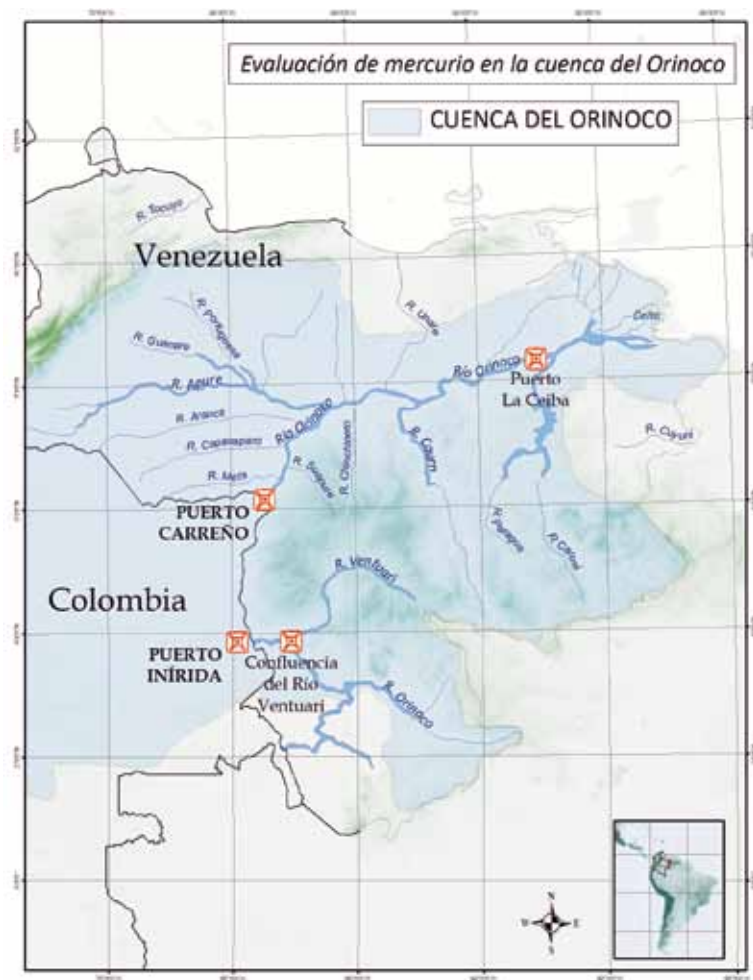


Figura 11.1.2. Localidades de estudio en la Orinoquia venezolana.



Figura 11.1.3 Proceso de extracción de tejido muscular en los peces colectados.

Muestras de sedimento y agua

Los análisis de organoclorados y organofosforados sólo se hicieron para Colombia, con un número reducido de muestras, con el objetivo de realizar un primer diagnóstico de la situación de estos compuestos en los sistemas acuáticos de la cuenca del Orinoco. En cada una de las localidades se colectaron dos muestras de sedimento y dos muestras de agua. Las muestras de sedimento superficial se extrajeron en la orilla en un lugar alejado del asentamiento, a partir de una pala. Las muestras fueron almacenadas en bolsas herméticas y mantenidas en frío hasta su llegada al laboratorio. Las muestras de agua se colectaron en botellas de vidrio de color oscuro de 1L, a las que se les adicionó 1mL de ácido ascórbico. Posteriormente las botellas fueron selladas, enfriadas y llevadas al laboratorio para su análisis.

Determinación de mercurio

En Colombia las muestras fueron procesadas por los laboratorios especializados Daphnia y Asinal en Bogotá, en un equipo de absorción atómica con generador de hidruros marca Perkin Elmer. El sistema hidruro/mercurio es usado para obtener una alta sensibilidad en la determinación de mercurio. El mercurio es determinado por la técnica de vapor frío, luego de la reducción con borohidruro de sodio.

Para el tejido del músculo de peces se realizó la digestión acida de 5 g de la muestra en un erlenmeyer con 5mL de ácido nítrico y 5mL de ácido perclórico. Luego de la reacción, se colocó el erlenmeyer en un plato de calentamiento por 15 minutos, permitiendo la digestión a una temperatura de 60°C. Posteriormente, la muestra se dejó enfriar y se adicionaron 10mL de ácido nítrico para realizar una nueva digestión pero de manera más vigorosa hasta casi sequedad. Después de retirar el frasco y dejar que se enfriara se adicionó 1mL de peróxido de hidrógeno, repitiendo la digestión hasta que se obtuvo una solución clara. Después se llevó a un volumen de 50 mL con agua des-ionizada.

Las muestras de sedimento fueron pesadas entre 1 y 4 g y se le adicionaron 10mL de ácido sulfúrico concentrado. Luego se realizaron adiciones sucesivas de 1mL de peróxido de hidrógeno al 50% dejando el tiempo suficiente para la descomposición del peróxido entre cada adición. Se calentó la muestra lentamente hasta la descomposición total del peróxido. Posteriormente se dejó la muestra a digestión bajo calentamiento hasta casi sequedad. Se adicionaron 5mL de ácido nítrico, repitiendo la digestión varias veces hasta obtener una solución clara. Con agua des-ionizada se llevó la muestra a un volumen de 25mL.



En Venezuela los análisis fueron llevados a cabo en el Laboratorio de Mercurio de la Estación de Investigaciones Hidrobiológicas de Guayana, de Fundación La Salle de Ciencias Naturales.

El método empleado para la detección de mercurio fue por espectrofotometría de absorción atómica, a través de un equipo de marca LUMEX, mediante pirólisis a 800 °C de las muestras previamente pesadas. Los vapores producidos fueron succionados a través de una celda cerrada para hacer la medición de absorbancia. Este método evita el proceso de digestión ácida de las muestras, reduciendo los errores asociados a esa etapa.

Determinación de pesticidas organoclorados

Tejido muscular

A 10g de muestra se le adicionaron en dos ocasiones 30mL de acetona, homogenizándose y filtrándose, para luego pasar a través de una columna de sílica gel. Las dos fracciones se juntaron y se pasaron a través de una columna de sulfato de sodio anhidro, concentrándose primero a 2mL y luego a sequedad. Posteriormente, se pasó a solvente hexano, y la solución obtenida se filtró a través de una columna de C-18, recuperando con diclorometano, concentrándose a 5mL. Finalmente 1 μ L de la solución se inyectó al equipo cromatográfico.

Muestras de agua

Para la identificación de plaguicidas organoclorados se empleó el método oficial de la AOAC 970.52 de 20 g de muestra, sometiéndola a procesos de extracción de acetonitrilo grado residuo. El extracto obtenido se sometió a partición líquido-líquido con hexano grado residuo. Este se concentró y el extracto se purificó sobre una columna de florisil activada. Posteriormente, los compuestos de interés se diluyeron con una mezcla de hexano-eter etílico grado residuo y se concentró hasta 500 μ L.

Determinación de pesticidas organofosforados

Tejido muscular

A 10mg de muestra se le adicionaron 30mL de acetona, luego se homogenizó y se pasó a través de una columna de sílica gel. Al extracto se le adicionaron 50mL de solución de cloruro de sodio. Posteriormente, se realizó una extracción líquido-líquido con diclorometano (2 veces por 30mL). A continuación, se reunieron las dos fracciones y se pasaron a través de una columna de sulfato de sodio anhidro, concentrándose a 2mL, luego a sequedad y luego a solvente hexano. La solución se pasó a través de una columna de sílica, recuperándose en diclorometano para ser concentrado a 0.5mL. Posteriormente se inyectó 1 μ L al equipo cromatográfico para su lectura.

Muestras de agua

Para el análisis de pesticidas organofosforados en muestras de agua, se adicionaron 25 g de cloruro de sodio a 500 mL de agua. Luego se realizó una extracción líquido-líquido con diclorometano (tres veces por 40 mL). Posteriormente, se reunieron las tres fracciones y se pasaron a través de una columna de sulfato de sodio anhidro, concentrándose a 2mL para finalmente inyectar 1 μ L al equipo cromatográfico.

En la Tabla 11.1.1 se muestran las especificaciones de las condiciones de lectura para la detección de los compuestos organoclorados y organofosforados.

Análisis de datos

Para evaluar las diferencias en la concentración de mercurio obtenidas en los peces provenientes de las siete localidades estudiadas (Colombia y Venezuela), se utilizaron las pruebas no paramétricas de Kruskal-Wallis ($\alpha=0.05$) y posteriormente se comprobaron las posibles diferencias con la prueba de Mann-Whitney U ($\alpha=0.05$) con el programa SPSS 16.0 para MacOS.

Tabla 11.1.1 Características del análisis para detección de organoclorados y organofosforados.

Medición	Especificaciones
Equipo Cromatográfico	HRGC Modelo HP 6890
Detector	μ ECD-temperatura 300°C
Columna	Fase 5% fenil-poli(metilsiloxano) espesor 0.25um, Longitud 30m, d.i. 0.25mm
Velocidad del gas de arrastre	1ml/min (70°C)
Inyector	HP-7683 Vol. De inyección 1.0 μ L
Gases	Helio 99.9995%, Mezcla Ar/CH4 (mL/min)



Un análisis de ordenación multidimensional no métrico (nMDS, por su siglas en inglés) fue construido a partir del índice de similitud de Bray-Curtis, utilizando el programa PRIMER 5.0, para explorar las asociaciones entre la concentración de mercurio en el tejido de los organismos, la talla (longitud) y el peso utilizando como factor las localidades de estudio.

Para estimar si la magnitud de la contaminación mercurial en los peces analizados, representa un riesgo para la salud humana como resultado del consumo de MeHg, se realizó el cálculo del índice cuota de riesgo, conocido como "Hazard Quotient" (HQ) (USEPA 1989). Este índice está definido como el cociente de un simple nivel de exposición de una sustancia (E) o dosis de ingesta diaria en relación a una dosis de referencia (HQ = E/RfD). Un HQ que exceda de 1, sugiere un riesgo potencial de efectos en la salud. El valor RfD para el MeHg es de 0,0001 mg/Kg*día (IRIS 1995). El HQ, fue determinado considerando una RfD de 7 µg de MeHg por día, para una persona promedio de 70 Kg y una ingesta alrededor de 100 g de pescado como ración diaria, con lo que se calculó E después de obtener la concentración probable de MeHg promedio para cada especie, la cual representa alrededor del 95% de la concentración de mercurio total en el tejido del músculo de peces (Huckabee *et al.* 1979, Akagi *et al.* 1994 y 1995).

RESULTADOS

Colombia

Durante la primera fase, en Puerto Inírida se recogieron doce muestras pertenecientes a ocho especies, incluyendo peces migradores como el dorado (*Brachyplatystoma rousseauxi*), y otros representantes de sistemas de aguas blancas (ríos Guaviare y Orinoco) y aguas negras (río Inírida), tales como las mojarra o cíclidos (Cichlidae). En Puerto López se tomaron 10 muestras de tejido en peces correspondientes a cinco especies de bagres y algunos cíclidos. En San José del Guaviare se colectaron 11 muestras de músculo correspondientes a nueve especies, incluyendo un valentón (*Brachyplatystoma filamentosum*) que presentó una concentración de mercurio elevada (1.30 µg/g).

En la segunda fase se analizaron 32 muestras colectadas en Puerto Carreño, específicamente de peces provenientes de la confluencia de los ríos Orinoco y Meta. En esta área de estudio, las muestras presentaron concentraciones de mercurio por debajo de 0.1 µg/g.

En Puerto Inírida se evaluaron 21 muestras correspondientes a once especies diferentes, cuya captura provenía tanto del río Inírida como del Guaviare. Los valores más altos de mercurio total correspondieron a *Pseudoplatystoma fasciatum* (= *P. orinocoense*) (1.1 µg/g) seguido de otro individuo de rayado, un mapurito, un paletón y un barbiancho, todos con concentraciones de 0.7 µg/g. Todos estos peces fueron vendidos para consumo humano en el mercado local.

En la figura 11.1.4 se presenta el compendio de las concentraciones medias de mercurio encontradas en músculo de peces, en los cuatro puntos de muestreo en Colombia y que está resumida por especie. Varias especies mostraron una concentración media de mercurio por encima del máximo permisible por la OMS: *B. filamentosum*, *Goslynia platynema* y *Platinemachys notatus*. Más aún, otras especies como: *P. fasciatum* (*P. orinocoense*), *Callophysus macropterus*, *Paulicea lutkeni* (*Zungaro zungaro*), *Sorubimichthys planiceps*, *Phractocephalus hemiliopterus* y *Pinirampus pinirampu* presentaron individuos con valores de mercurio mayores a 0,5 ppm.

El análisis de ordenación multidimensional no métrico de la concentración de mercurio en el tejido del músculo, el peso y la longitud de los peces en las localidades de estudio en Colombia se presenta en la figura 11.1.5. Este análisis muestra una interrelación entre la concentración del metal con la longitud y peso de los peces colectados, ya que se observa que una mayor concentración de mercurio fue obtenida generalmente asociada a un mayor peso y longitud del individuo, lo cual nos señala que existe un proceso bioconcentración de este metal, producto de una continua exposición. Asimismo, este análisis nos muestra que existe una discriminación para las localidades de Puerto López y San José de Guaviare como sitios donde los peces presentaron una concentración de mercurio mayor.

En el caso de Puerto Inírida, observamos que las concentraciones de mercurio obtenidas en los peces estudiados se distribuyen a lo largo de una gama, con individuos que presentaron los valores más bajos del metal, a pesar que ésta es una de las zonas más cercanas a la extracción minera en Colombia.

Muestras de sedimento y agua

En sedimento y agua se obtuvieron valores bajos tanto en mercurio como en pesticidas organoclorados y organofosforados.

En los ríos Meta, Orinoco y Bitá (Puerto Carreño), los valores de concentración de mercurio en sedimento fueron



EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR MERCURIO EN PECES DE INTERÉS COMERCIAL Y DE LA CONCENTRACIÓN DE ORGANOCLORADADOS Y ORGANOFOSFORADOS EN EL AGUA Y SEDIMENTOS DE LA ORINOQUIA

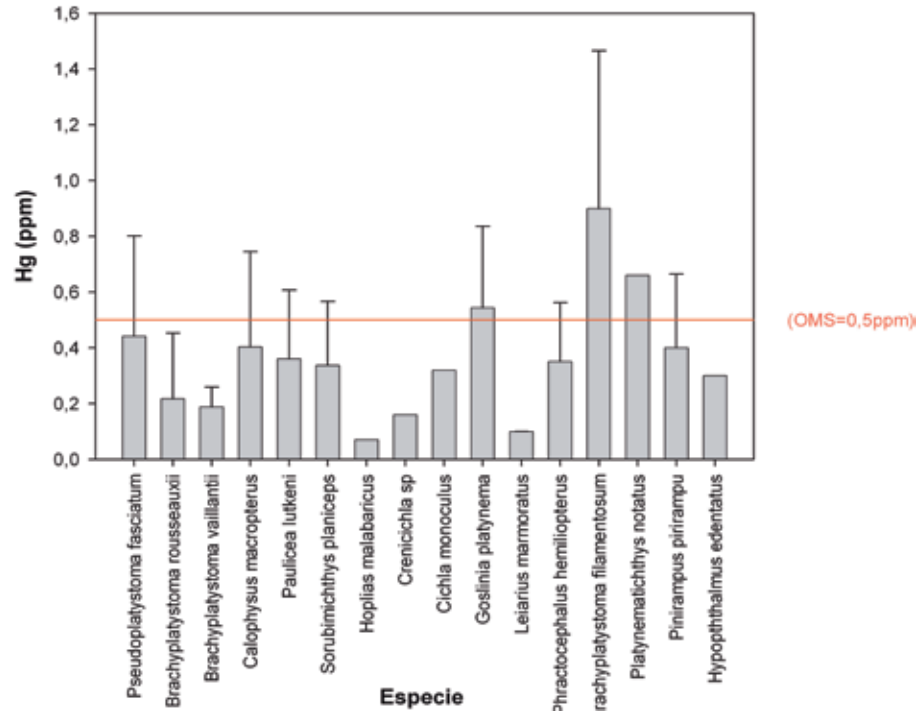


Figura 11.1.4. Concentración de mercurio total en el tejido del músculo de las especies de peces colectadas en las localidades de estudio en Colombia (Puerto Carreño, Puerto Inírida, Puerto López, San José de Guaviare). Las barras muestran la concentración media de mercurio (± 1 SD). La línea de referencia color rojo indica el valor máximo permisible de mercurio en peces según la OMS (0,5ppm).

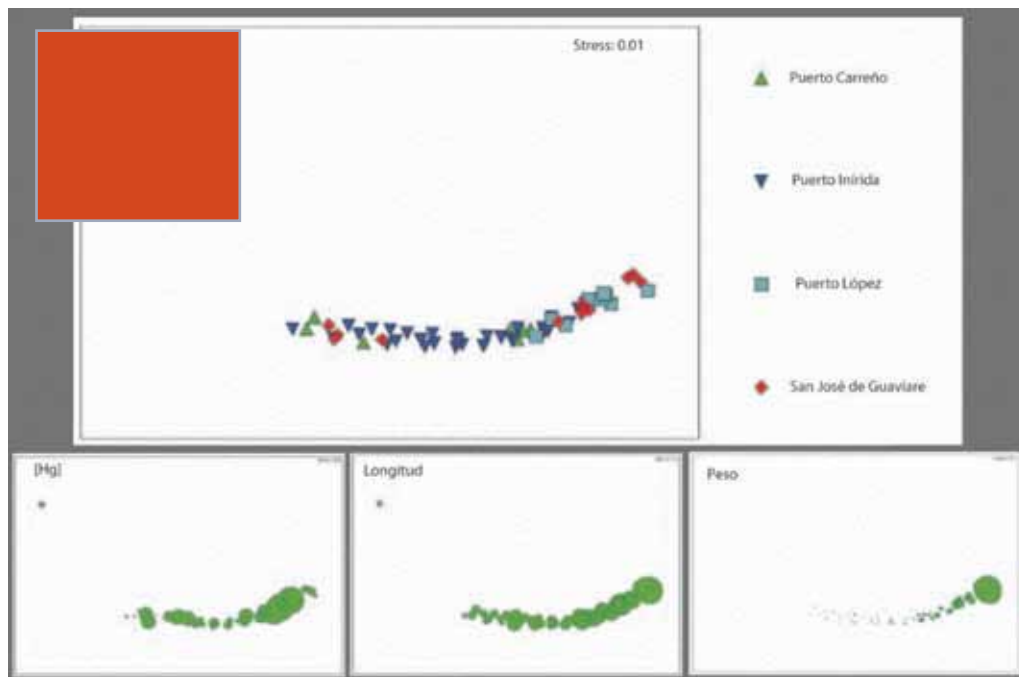


Figura 11.1.5 Análisis de ordenación multidimensional no métrica de las variables: concentración de mercurio total [Hg], longitud y peso, utilizando como factor las localidades de estudio en Colombia.



de 0.007, 0.008 y 0.013 $\mu\text{g/g}$ respectivamente. Los valores de pesticidas en las muestras de agua estuvieron por debajo del límite de detección (organoclorados $< 8 \mu\text{g/L}$ y organofosforados $< 3.5 \mu\text{g/L}$). En Puerto López las muestras de sedimento y agua fueron tomadas respectivamente en el río Meta y el río Negro, un pequeño tributario. Tanto las lecturas de mercurio y de los pesticidas estuvieron por debajo de los límites de detección (mercurio $< 0,005 \text{ ppm}$, organoclorados $< 8 \mu\text{g/L}$ y organofosforados $< 3.5 \mu\text{g/L}$). Igualmente, en cuatro puntos de la Estrella Fluvial de Inírida, abarcando los ríos Inírida, Guaviare y Orinoco, se analizaron las concentraciones de mercurio y pesticidas en muestras de sedimentos, obteniéndose solamente valores medibles para el mercurio en el río Inírida (La Ceiba = 0.12 ppm) y en el puerto (0.01 ppm).

Finalmente, los valores de mercurio hallados en las muestras de sedimento tomadas en los ríos Guaviare, Ariari y Guayabero y fueron de 0.01 para los dos últimos y menor al límite de detección en el río Guaviare. Tampoco fue posible obtener la concentración de los compuestos organoclorados

y organofosforados en muestras de agua de los alrededores de San José de Guaviare, donde todos los análisis dieron como resultado valores por debajo del límite de detección.

Venezuela

Durante la primera fase del estudio en Venezuela, los niveles de mercurio total obtenidos en esta sección del río Orinoco (parte media) y río Ventuari (región Guayana), son más altos que los observados en el bajo Orinoco (Puerto La Ceiba), donde 21 de 48 muestras presentaron valores superiores a 0.5 $\mu\text{g/g}$. Posteriormente se hizo un muestreo en el río Apure (región llanos), donde se analizaron 58 muestras de nueve especies diferentes de peces capturadas directamente en el río Apure y/o colectadas en el mercado de la ciudad. Estos valores de mercurio obtenidos estuvieron dentro del rango aceptable por la OMS para consumo humano.

En la figura 11.1.6, se presenta el compendio de las concentraciones medias de mercurio encontradas en músculo

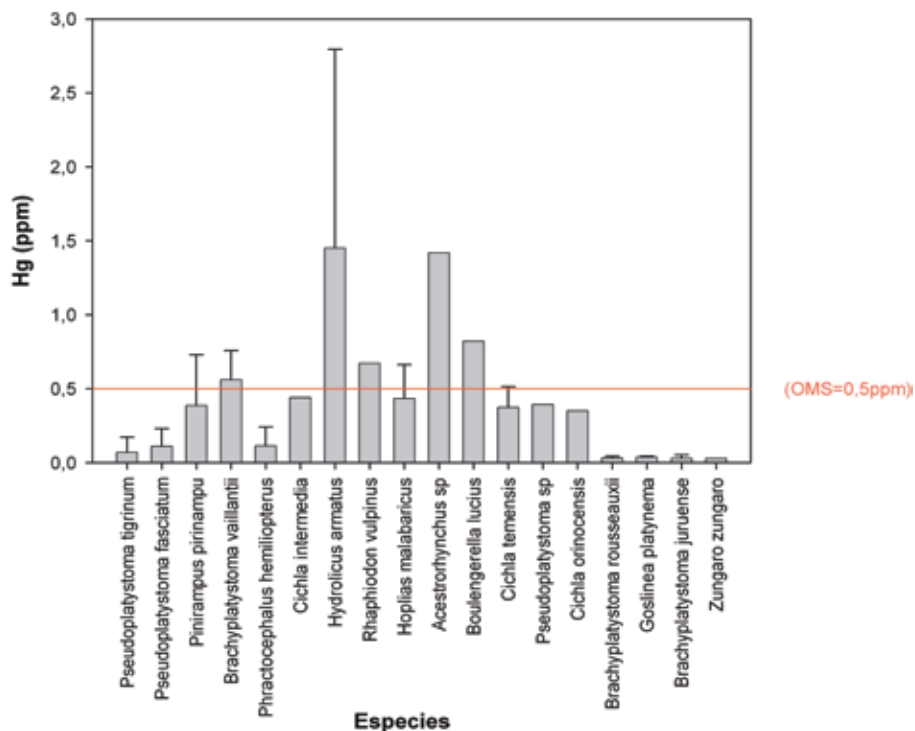


Figura 11.1.6 Concentración de mercurio total en el tejido del músculo de las especies de peces colectadas en las localidades de estudio en Venezuela (río Apure, río Orinoco y río Ventuari). Las barras muestran la concentración media de mercurio ($\pm 1 \text{ SD}$). La línea de referencia color rojo indica el valor máximo permisible de mercurio en peces según la OMS (0,5ppm).



de peces, en las tres localidades en Venezuela y que está resumida por especie. Varias especies mostraron una concentración media de mercurio por encima del máximo permisible por la OMS: *Brachyplatystoma vaillantii*, *Hydrolicus armatus*, *Raphiodon vulpinus*, *Acestrorhynchus* sp. y *Boulengerella lucius*. En otras especies como *P. pinirampu*, *Hoplia malabaricus* y *Cichla temensis*, algunos individuos resultaron en valores de mercurio mayores a 0.5ppm.

Debido a que en Venezuela aparecieron individuos de las especies *Hydrolicus armatus* y *Acestrorhynchus* sp. con valores anormalmente altos de mercurio (e.g. 3,44 y 1,42 ppm, respectivamente) y adicionalmente no se registró la longitud de los peces en todas las localidades, no fue posible realizar el análisis de ordenación multidimensional no métrico de las variables (Hg, peso, longitud) discriminados entre las localidades de estudio, para observar posibles asociaciones y tendencias.

Comparación entre las localidades de ambos países

Como se muestra en la figura 11.1.7, una comparación de la concentración media de mercurio en el tejido del músculo de los peces colectados, muestra diferencias significativas entre las localidades y entre países. Al respecto, las menores concentraciones del metal halladas se encontraron en el río Apure (Venezuela), la cual fue significativamente diferente al resto de las demás localidades (Mann Whitney U, $p < 0.05$) y seguida por Puerto Carreño (Colombia). Asimismo, observamos que la concentración media del metal en los peces fue similar entre Puerto Inírida, Puerto López, San José de Guaviare (Colombia) y el río Orinoco (Venezuela). Es interesante destacar que las concentraciones de mercurio más elevadas también se encontraron en Venezuela en el río Ventuari, la cual no se diferenció únicamente de Puerto López en Colombia, siendo ésta la localidad que presentó la mayor concentración de mercurio media en ese país.

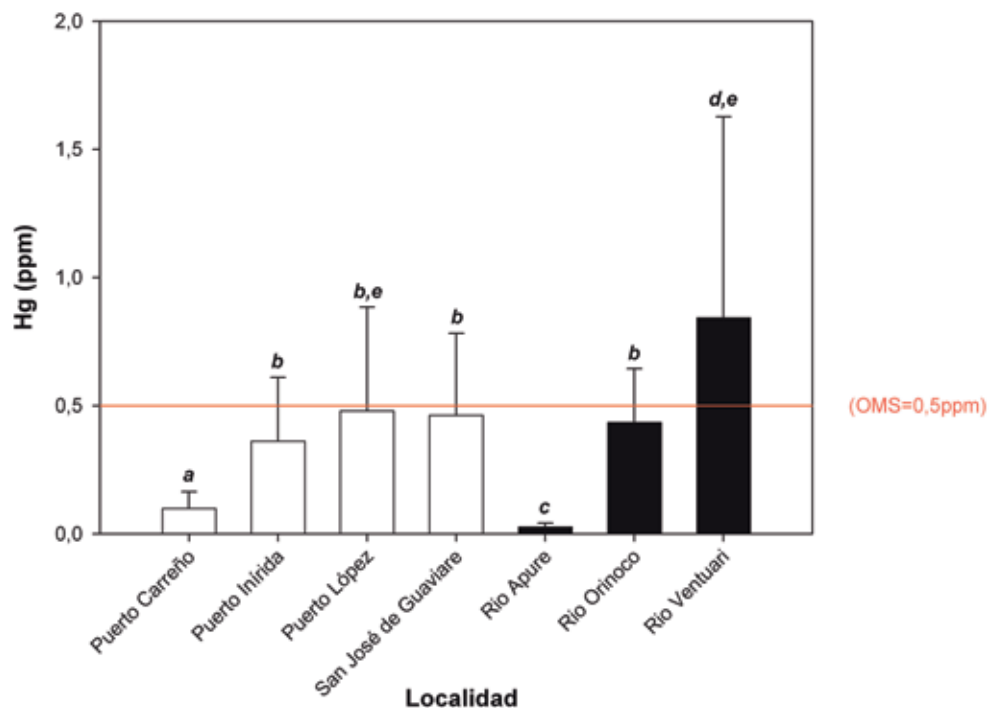


Figura 11.1.7 Concentración de mercurio total en el tejido del músculo de peces para cada localidad de estudio. Las barras color blanco son las localidades de estudio en Colombia y las barras en color negro son las localidades en Venezuela. Las barras muestran la concentración media de mercurio (± 1 SD). La línea de referencia color rojo indica el valor máximo permisible de mercurio en peces según la OMS (0,5ppm). Letras diferentes indican diferencias significativas (Mann-Whitney U, $p < 0.05$) entre las localidades.



El índice de evaluación del riesgo para los peces que pueden ser consumidos por las poblaciones locales, fue calculado por especie y para cada país (Tabla 11.1.2). En general, el consumo de estos organismos muestra valores muy elevados ($HQ \gg 1$), de hasta 12.2 para Colombia (*Brachyplatystoma filamentosum*) y de hasta 19.7 y 19.3 para Venezuela

(*Hydrolicus armatus* y *Acestrorhynchus* sp., respectivamente); entre otros, siendo las excepciones *Hoplias malabaricus* en Colombia y *Brachyplatystoma juruense*, *Brachyplatystoma rousseauxii*, *Goslinea platynema*, *Pseudoplatystoma tigrinum* y *Zungaro zungaro* en Venezuela, con $HQ \leq 1$.

Tabla 11.1.2 Cuota de Riesgo (HQ) al consumir como alimento los peces colectados en Colombia y Venezuela durante el estudio. El cálculo se realizó en base a la concentración promedio de Hg total por especie y calculando la concentración de metilmercurio (MeHg) teórica probable.

País	Especie	m	Hg (ppm)	±SD	HQ
COLOMBIA	<i>Brachyplatystoma filamentosum</i>	2	0.900	0.57	12.2
	<i>Brachyplatystoma rousseauxii</i>	4	0.218	0.24	3.0
	<i>Brachyplatystoma vaillantii</i>	3	0.140	0.00	1.9
	<i>Brachyplatystoma vaillantii</i>	2	0.260	0.08	3.5
	<i>Calophysus macropterus</i>	3	0.403	0.34	5.5
	<i>Cichla monoculus</i>	1	0.320	-	4.3
	<i>Crenicichla</i> sp	1	0.160	-	2.2
	<i>Goslinea platynema</i>	3	0.543	0.29	7.4
	<i>Hoplias malabaricus</i>	1	0.070	-	1.0
	<i>Hypopththalmus edentatus</i>	1	0.300	-	4.1
	<i>Lelarlus marmoratus</i>	3	0.100	0.00	1.4
	<i>Paulicea lutkeni</i>	8	0.360	0.25	4.9
	<i>Phractocephalus hemiliopterus</i>	2	0.350	0.21	4.8
	<i>Pinirampus pirinampu</i>	3	0.400	0.28	5.4
	<i>Platynematchthys notatus</i>	1	0.660	-	9.0
	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	6	0.442	0.36	6.0
	<i>Sorubimichthys planiceps</i>	6	0.337	0.23	4.6
VENEZUELA	<i>Acestrorhynchus</i> so	1	1.420	-	19.3
	<i>Boulengerella luclus</i>	1	0.820	-	11.1
	<i>Brachyplatystoma rousseauxii</i>	10	0.033	0.01	0.4
	<i>Brachyplatystoma vaillanti</i>	11	0.563	0.20	7.6
	<i>Cichla intermedia</i>	1	0.440	-	6.0
	<i>Cichla orinocensis</i>	1	0.350	-	4.8
	<i>Cichla temensis</i>	3	0.373	0.14	5.1
	<i>Goslinea platynema</i>	9	0.038	0.01	0.5
	<i>Hoplias malabaricus</i>	3	0.433	0.23	5.9
	<i>Hydrolicus armatus</i>	4	1.453	1.34	19.7
	<i>Phractocephalus hemillopterus</i>	8	0.114	0.13	1.5
	<i>Pinirampus pirinampu</i>	14	0.388	0.34	5.3



País	Especie	m	Hg (ppm)	±SD	HQ
VENEZUELA	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	17	0.111	0.12	1.5
	<i>Pseudoplatystoma sp</i>	1	0.390	-	5.3
	<i>Pseudoplatystoma ligrinum</i>	13	0.072	0.10	1.0
	<i>Rhaphiodon vulpinus</i>	1	0.670	-	9.1
	<i>Zungaro zungaro</i>	1	0.030	-	0.4

DISCUSIÓN

Concentración de mercurio en peces

Colombia

Los valores de mercurio total encontrados en tejidos de peces en Colombia plantean varios interrogantes. Las concentraciones del metal en los peces de la zona de Inírida en la primera fase fueron bajas, más no en los sedimentos, siendo ésta la única localidad con niveles detectables del metal. Sin embargo, la concentración de mercurio en los peces para la segunda campaña aumentó considerablemente, lo cual podría estar relacionado a la intensa explotación minera que se hace en la Serranía de Naquén, en el sector nororiental del departamento del Guainía. Esta zona se caracteriza por una densa red fluvial de difícil acceso y carente de los servicios básicos mínimos, con un componente importante de población indígena representado principalmente por Curripacos. En esta zona la CDA ha tratado de regular la explotación aurífera, al igual que ha implementado campañas de capacitación para hacer más eficiente y menos negativo el uso del mercurio. Sin embargo, no existen controles rigurosos sobre esta actividad, y se desconoce por completo la cantidad de mercurio que se utiliza anualmente en la región, principalmente porque es comercializado con muy pocas restricciones desde el territorio brasileño. Esta situación ha motivado a diferentes organizaciones a realizar evaluaciones de toxicidad de mercurio en seres humanos en la región, encontrándose niveles importantes de este contaminante (Idrovo *et al.* 2001).

Puerto López y San José del Guaviare fueron las otras zonas donde se reportaron muestras con concentraciones altas de mercurio, con valores de hasta 1.30 µg/g en un bagre rayado (*Pseudoplatystoma fasciatum* = *P. orinocoense*) y un valentón (*Brachyplatystoma filamentosum*), respectivamente. Estos datos corresponden a los valores más altos de mercurio encontrados en territorio colombiano, y llaman la atención de manera especial, ya que cerca de estas zonas no existe ningún tipo de explotación aurífera. Para explicar esto, planteamos dos posibles escenarios: en el primero,

hace referencia al proceso de bioacumulación que ocurre en bagres migradores, que a lo largo de sus desplazamientos reproductivos corriente arriba van consumiendo otros organismos que tienen diferentes concentraciones de mercurio, produciendo que los animales capturados en áreas muy lejanas de las explotaciones auríferas donde se usa mercurio, tengan concentraciones elevadas. Estos resultados son semejantes a lo reportados por Crossa y Alonso (2001) para la región Amazónica, donde encontraron valores muy altos de mercurio en los peces cerca de Iquitos, área donde no hay actividad minera. El otro escenario, es que existen depósitos naturales de mercurio, que aún han no han sido caracterizados, y que podrían liberar cantidades del metal en respuesta a los pulsos de inundación, a procesos de erosión y de pérdida de vegetación.

En la región de Puerto Carreño, no se encontraron niveles de mercurio alarmantes en los peces, siendo este hecho de gran importancia para la zona, donde se realiza pesca intensiva para consumo en Colombia y Venezuela. Sin embargo, es importante considerar mantener un monitoreo permanente con un número de muestras mayor, que permita confirmar los niveles de mercurio de los peces que serán consumidos, y así prevenir la ingesta de pescado altamente contaminado.

Venezuela

Todas las muestras de las especies de *Pseudoplatystoma* spp. y *P. hemiliopterus* presentaron valores por debajo del límite máximo establecido por la OMS (0.5 µg/g). Por el contrario, sí aparecieron individuos de las especies *Pinirampus pinirampu* y *Brachyplatystoma vaillantii*, que exceden este valor.

No se observó una correlación significativa entre los peces capturados y el peso, posiblemente debido a los elevados valores de mercurio (valores fuera de rango) que mostraron por ejemplo, las especies de *Hydrolicus armatus* y *Acestrorhynchus* sp. capturadas; como también el pequeño intervalo de pesos corporales, ya que no se obtuvieron ejemplares mayores de 3 kg.



Los valores más altos reportados durante el estudio, correspondieron a la zona Orinoco-Ventuari (río Ventuari), lo cual coincide con lo observado en el río Caroní (embalse de Guri). Estos valores tan elevados en el río Ventuari, podrían estar relacionados con la existencia de minería ilegal en la parte media y alta del río, así como en la confluencia con el propio Orinoco (Figura 11.1.8). De hecho el Parque Nacional Yapacana (Cerro Yapacana) mantiene una explotación minera desde hace varios años.

En la segunda fase de evaluación en el río Apure, se obtuvieron los niveles ms bajos de mercurio entre los dos países; lo cual indica un riesgo muy bajo de intoxicación por el consumo de peces contaminados, como también la ausencia de fuentes de liberación del metal.

En general, existe una mayor tendencia a que las especies migradoras de grandes bagres presenten mayores concentraciones de mercurio que aquellas que no son migradoras. La excepción a esto sería la payara, pero se explica basado en el hecho de que en el río Ventuari existe explotación aurífera y hay una exposición continua de los peces al metilmercurio. No obstante, la payara también realiza migraciones aunque estas no están bien documentadas en la Orinoquia venezolana (Lasso *obs. pers.*).

Al comparar los valores de mercurio encontrados con otras regiones del planeta (Tabla 11.1.3), se hace evidente que la cuenca del río Orinoco presenta concentraciones del metal elevadas que ameritan ser re-evaluadas constantemente con un programa de monitoreo, además de involucrar a los organismos decisorios en la toma de acciones urgentes para mitigar y reducir los niveles de contaminación por mercurio.

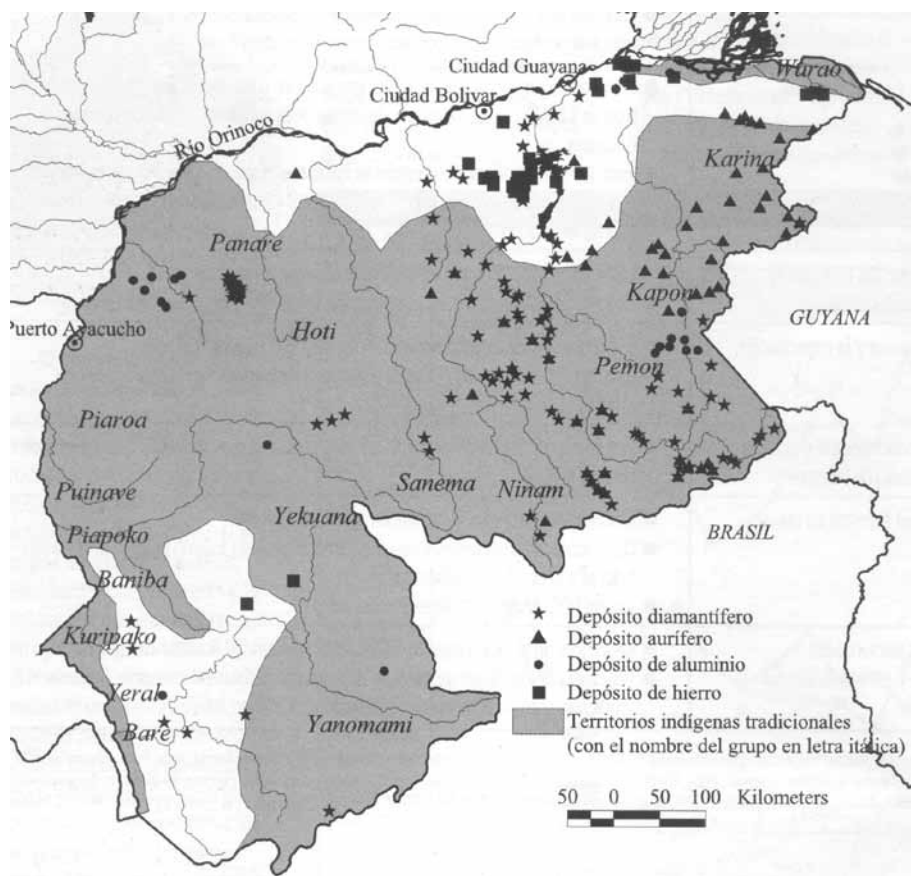


Figura 11.1.8 Áreas de explotación minera en Venezuela. Fuente:



Tabla 11.1.3 Concentraciones de mercurio en el agua reportadas en diferentes regiones del planeta.

Localización	Hg (µg/g)	Autor
Lago Erie, Canadá	0,20 – 0,79	Mitra (1986)
Niigata, Japón	2,60 – 6,60	Inskip & Piotrowski (1985)
Tapajós, Amazonas	0,15 – 0,73	Padberg <i>et al.</i> (1990)
Madeira, Amazonas	0,21 – 2,70	Pfeiffer <i>et al.</i> (1991)
Lagos de Finlandia	0,21 – 1,80	Mannio <i>et al.</i> (1986)
Lagos de Suécia	0,68 – 0,86	Bjorklund <i>et al.</i> (1984)
Región de Carajás, Amazonas	0,30 – 2,30	Lacerda <i>et al.</i> (1994)
Bajo Amazona e Várzea	0,06 – 0,77	Crossa & Alonso (2001)
Cuenca del Orinoco	0,03 – 3,44	Este estudio

Organoclorados y organofosforados

Los valores de organoclorados y organofosforados fueron muy bajos para todos los sitios de muestreo, tanto en el análisis de agua como de sedimento. Estos resultados fueron contrario a lo esperado, por cuanto en la región de la Orinoquia colombiana se conoce la presencia y crecimiento de cultivos ilícitos, donde en algunos casos se han hecho fumigaciones masivas (Figura 11.1.9). Con relación a los valores reportados, encontramos varias posibles explicaciones:

- La capacidad de dilución que tienen ríos de gran caudal como el Meta, el Guaviare y el Orinoco es enorme, y por eso las concentraciones son muy bajas.
- Los sitios de muestreo, se localizaron en zonas de asentamientos urbanos, con importante presencia militar que garantiza que no hayan cultivos ilícitos cercanos, con excepción de San José del Guaviare (SIMCI 2005).

Para futuras evaluaciones, se sugiere hacer muestreos en áreas de fumigación con glifosato e igualmente en las zonas de cultivos agrícolas lícitos que usen fumigación química para control de plagas, como el caso de cultivos de arroz y de vegas a lo largo de los ríos. Estos últimos son de carácter estacional, por lo que se recomienda hacer los muestreos en época de verano.

CONCLUSIONES

De las cuatro localidades colombianas evaluadas, sólo en Puerto López y Puerto Inírida se encontraron evidencias

de presencia elevada de mercurio en los peces. Los valores más altos se presentaron en un bagre rayado con 1.29 µg/g de mercurio, lo que representa un valor al menos tres veces por encima de lo recomendado por la OMS. En Venezuela la situación fue similar, en particular en la región de Orinoco-Ventuari, con registros de mercurio muy elevados, especialmente en una payara (*Hydrolicus armatus*) y en varios bagres de las especies *Pinirampus pinirampu* y *Brachyplatystoma vaillanti*.

En Puerto Inírida se encontraron tres peces con concentraciones altas de mercurio, dos de ellos bagres y uno un ciclido. En esta zona se esperaba registrar más muestras con mercurio debido a la alta actividad minera, con la presencia de un número importante de dragas y de antecedentes previos reportados por el Instituto Nacional de Salud. En este sentido, se recomienda que en esta área se hagan mayores esfuerzos de muestreo, en diferentes épocas hidrológicas, y que se haga un levantamiento de información sobre los sitios de explotación aurífera y el número exacto de dragas operando.

Los valores de organoclorados y organofosforados fueron no detectables en todas las áreas de estudio analizadas. Esto se puede deber a que no exista una concentración de estos compuestos importante después de su utilización como pesticidas en la zona; y otro a que no se ha muestreado en las zonas cercanas a las fumigaciones, y que el alto caudal de las cuencas produzca un efecto de dilución importante.

Los valores encontrados en este estudio muestran que efectivamente existe un problema de contaminación por mer-

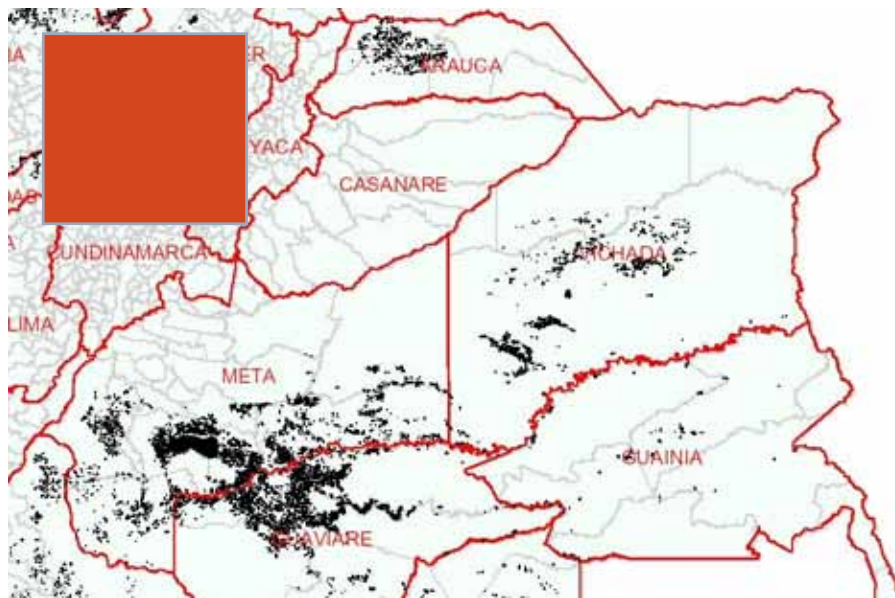


Figura 11.1.9 Detalle de las áreas de concentración de cultivos ilícitos en la Orinoquia Colombiana. Fuente: SIMCI (2005).

curio en la región, el cual debe ser analizado de manera más profunda, creando un programa de monitoreo a corto, mediano y largo plazo. Esta problemática no es nueva, ya que existen múltiples reportes de contaminación con mercurio en muchos países suramericanos y en otros continentes (Lacerda y Salomons 1992; Bidone *et al.* 1997; Lacerda y Marins 1997, Shrestha y Ruiz de Quilarche 1989, Nico y Taphorn 1994, Peixoto-Boischio y Henshel 2000, García-Sánchez *et al.* 2006, García-Sánchez *et al.* 2008, Farina *et al.* 2009). Es esencial sin embargo, realizar más análisis y hacer un uso responsable de la información para no crear situaciones de pánico que no estén completamente justificadas. Los análisis a largo plazo son imprescindibles, y es necesario hacer estudios piloto para estimar tamaños muestrales en la cantidad de peces que se deben capturar para asegurar que las concentraciones de mercurio a obtener sean representativas de cada especie y zona analizada.

La información preliminar que se presenta en este informe tiene implicaciones a varios niveles:

- Deterioro de la calidad del agua en la Orinoquia y del ecosistema en general.
- Afectación de la salud pública.
- Problemática de contaminación a nivel binacional (Colombia-Venezuela).

- Posibles reservorios naturales de mercurio que deberían ser identificados y caracterizados.

Es recomendable implementar un sistema de monitoreo de mercurio en peces con características similares al que los Ministerios de Minas y Ambiente están realizando en Brasil, donde se ha capacitado personas de comunidades locales para hacer análisis de presencia-ausencia de mercurio en peces que van a ser consumidos. Los que muestran concentraciones de mercurio, son separados y enviados a laboratorios para cuantificar las respectivas concentraciones del tóxico.

Es fundamental el apoyo técnico y financiero entre los institutos de investigación y las oficinas gubernamentales, a fin de lograr un monitoreo más efectivo y al mismo tiempo trabajar en conjunto implementando agendas regionales y transnacionales para solucionar los problemas de regulación, uso y tráfico de mercurio en la minería artesanal, como también en el desarrollo de medidas de remediación y mitigación de la contaminación existente.

Tanto en Colombia como Venezuela, se espera que los datos obtenidos sirvan de información para afrontar el desafío que presume la contaminación de los ecosistemas acuáticos.



AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro agradecimiento a WWF Colombia, en especial a J. S. Usma quién fue la persona que identificó la importancia y urgencia de desarrollar este estudio. Igualmente a Patricia Falla y al Instituto Alexander von Humboldt, quienes con la GTZ en el marco del proyecto Biodiversidad del Orinoco, apoyaron con recursos la evaluación de tóxicos en Colombia. En Venezuela, agradecemos todo el apoyo de la Fundación La Salle de Ciencias Naturales y a muchos de los investigadores y pescadores que apoyaron la colecta de muestras. En Colombia, se agradece a Patricia Camargo, María Stella Matallana, Marcela Velasco y Lucía Bermudez por el apoyo en la toma de muestras. Igualmente agradecemos a la CDA en San José de Guaviare y Puerto Inírida por su apoyo. Finalmente expresamos nuestro agradecimiento a Catalina Gómez, Salvador Herrando Pérez y Marisol Beltrán por sus sugerencias en la elaboración del manuscrito.

BIBLIOGRAFÍA

- Akagi, H., Y. Kinjo, F. Branches, O. Malm, M. Harada, W.C. Pfeiffe (1994) Methylmercury pollution in Tapajós river basin, Amazon. *Environment Science* 3: 25–32.
- Akagi, H., Y. Kinjo, F. Branches, O. Malm, M. Harada, W.C. Pfeiffer (1995) Methylmercury pollution in Amazon, Brazil. *Science of the Total Environment* 175: 85–95.
- Bidone E. D., Z. C. Castilhos, T. M. Cid de Souza, L. Lacerda. (1997). Fish contamination and human exposure to Mercury in the Tapajós River basin, Pará State, Amazon, Brazil: A screening approach. *Bulletin of Environmental Contamination & Toxicology* 59:194-201.
- Bjorklund, I., Borg. Ii., and Johansson. K. (1984). Mercury in Swedish lakes- its regional distribution and causes. *Ambio*, 13,118-121.
- Castilhos Z.C., S. Rodrigues-Filho, A.P.C. Rodrigues, R.C. Villas-Bôas, S. Siegel, M.M. Veiga, C. Beinhoff (2006) Mercury contamination in fish from gold mining áreas in Indonesia and human health risk assessment. *Science of the Total Environmental* 368: 320–325.
- Crossa M. M., J. C. Alonso. (2001). Variabilidade na concentração de mercúrio total no músculo da dourada (*Brachyplatystoma flavicans*) e seus efeitos na saúde humana e na distribuição espacial da espécie no sistema estuário-amazonas-solimões In: XIV Encontro Brasileiro de Ictiologia. São Leopoldo-RS.
- Farina, O., D. Pisapia, M. Gonzalez, C. Lasso. (2009) Evaluación de la contaminación por mercurio en la biota acuática, agua y sedimentos de la cuenca alta del río Cuyuní, estado Bolívar, Venezuela. Capítulo 4. En: Carlos A. Lasso, Josefa C. Señaris, Anabel Rial & Ana Liz Flores (Eds). Evaluación Rápida de la Biodiversidad de los Ecosistemas Acuáticos de la Cuenca Alta del Río Cuyuní, Guayana Venezolana. RAP Bulletin of Biological Assessment 55. Conservation International, Washington, D.C., USA.
- Fréry, N., R. Maury-Brachet, E. Maillot, M. Deheeger, B. de Mérona, A. Boudou (2001) Gold-Mining Activities and Mercury Contamination of Native Amerindian Communities in French Guiana: Key Role of Fish in Dietary Uptake. *Environmental Health Perspective* 109: 449-456.
- Garcia-Sanchez, A., F. Contreras, M. Adams, F. Santos. (2006) Atmospheric mercury emissions from polluted gold mining areas (Venezuela). *Environmental Geochemistry and Health* 28: 529-540.
- Garcia-Sanchez, A., F. Contreras, M. Adams, F. Santos (2008) Mercury contamination of surface water and fish in a gold mining region (Cuyuní river basin, Venezuela). *International Journal of Environment and Pollution* 33: 260-274.
- Gutleb A., C. Schennck, E. Staib (1997) Giant otter (*Pteronura brasiliensis*) at Risk? Total mercury and methylmercury levels in fish and otter scats, Peru. *Ambio* 26(8): 511-514.
- Huckabee, J.W., J.W. Elwood, S.G. Hildebrand. (1979) Accumulation of mercury in freshwater biota. 277–302pp. En: Nriagu JO, editor. The biogeochemistry of mercury in the environment. Amsterdam: Elsevier/North-Holland Biomedical Press.
- Idrovo A. J., L. E. Manotas, G. Villamil, J. Ortiz, E. Silva, S. A. Romero, E. Azcarate. (2001). Niveles de mercurio y percepción de riesgo en una población aurífera del Guainía (Orinoquia colombiana). *Biomédica* 21:134-41.



- Inskip, M.J., Piotrowski, J.K. (1985) Review of the health effects of methylmercury. *Journal Applied Toxicology*. 5: 113-133.
- IRIS. 1995. Methylmercury (MeHg) (CASRN 22967-92-6). En línea: <http://www.epa.gov/NCEA/iris/subst/0073.htm>
- Lacerda L.D., E.D. Bidone, A.F. Guimarães, W.C. Pfeiffer (1994) Mercury concentrations in fish from the Itacaiunas-Parauapebas river system, Carajás Region, Amazon. *An Acad Bras Ciênc* 3: 373-379.
- Lacerda L. D., R. V. Marins. (1997). Anthropogenic mercury emissions to the atmosphere in Brazil: The impact of gold mining. *Journal of Geochemical Exploration* 58:223-229.
- Lacerda L.D., W. Salomons. (1992). Mercurio na Amazonia: Uma bomba relógio química? CETEM/CNPq, Rio de Janeiro.
- Limbong, D., J. Kumampung, J. Rimper, T. Arai, N. Miyazaki (2003) Emissions and environmental implications of mercury from artisanal gold mining in north Sulawesi, Indonesia. *Science of the Total Environment* 302: 227-236.
- Malm O., W. Pfeiffer, C. M. Souza, R. Reuther (1990) Mercury pollution due to gold mining in the Madeira River basin, Brazil. *Ambio* 19(1):11-15.
- Mannio J., Verta M., Kortelainen P. & Rekolainen S. (1986). The effect of water quality on the mercury concentration of northern pike (*Esox lucius* L.) in Finnish forest lakes and reservoirs. Publications of the Water research Institute, National Board of Waters, Finland 65: 32-43.
- Martinelli L., J. Ferreira, B. Forsberg, R. Victoria (1988) Mercury contamination in the Amazon: A gold rush consequence. *Ambio* 17(4):252-254.
- Maurice-Bourgoin L., I. Quiroga, O. Malm, J. Chincheros (1999) Contaminación por mercurio en agua, peces y cabellos humanos debido a la minería aurífera en la cuenca Amazónica Boliviana. *Revista Boliviana de Ecología* 6:239-246.
- Meneses J. F. (2008) Technology for Reducing Mercury Contamination in Small-Scale Mining. In: Mercury Management in ASM Gold Mining. Proceedings of Pre-Conference Technical, Consultative and Collaborative Session. 8th Annual Communities and Artisanal & Small Scale Mining (CASM) Conference. Brasilia, Brazil.
- Mitra, S. (1986). Mercury in ecosystem, its dispersion and pollution today. Transtetch Publications, Suiza.
- Nico, L.G., D. C. Taphorn (1994) Mercury in fish from gold-mining regions in the upper Cuyuni river system, Venezuela. *Fresenius Environmental Bulletin* 3: 287-292.
- Nriagu J. O. (1993). Mercury pollution from silver mining in colonial South America. 365-368 pp. En: J.J. Abrao, J.C. Wasserman, E.V. Silva-Filho (eds.). Proceedings Perspectives for Environmental Geochemistry in Tropical Countries. Brazil.
- Padberg S (1990) Mercury determination in samples from Tapajós river (Itaituba), Institut für Angewandte Physikalische Chemie ICH-4, Forschungszentrum Jülich Jülich D-5170, 13p.
- Peixoto-Boisichio A.A., D. Henshel. (2000). Fish consumption, fish lore, and mercury pollution –Risk communication for de Madeira River People. *Environmental Research Section A* 84:108-126.
- Perez L., O. Farina, M. Gonzalez (2007) Programa de reducción de emisiones de mercurio causadas por la pequeña minería en el estado Bolívar, Venezuela. VII Congreso Venezolano de Ecología. Ciudad Guayana. Venezuela. 596 pp.
- Pfeiffer W.C., Lacerda L.D., Malm O., Souza C.M.M., Silveira E.G., Bastos W.R. (1991) Mercury in the Madeira River ecosystem, Rondonia, Brazil. *Forest Ecology Managt.* J. 42: 651-657.
- Porto, J.I.R., C.S.O. Araujo, E. Feldberg (2005) Mutagenic effects of mercury pollution as revealed by micronucleus test on three Amazonian fish species. *Environmental Research* 97: 287-292.
- Ramírez-Duarte W.F., I.S. Rondón-Barragán, P.R. Eslava-Mocha. (2003). Efectos del glifosato (GP) con énfasis en organismos acuáticos (Revisión de Literatura). *Revista Orinoquia* 7(1-2):70-100.
- Ramírez-Gil H., R.E. Ajiaco-Martínez (eds.). (2001). La pesca en la baja Orinoquia colombiana: Una visión integral. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria, COLCIENCIAS, INPA. Santa Fe de Bogotá D. C., Colombia. 255 pp.
- Rodrigues R. M., A. F. S. Mascarenhas, A. H. Ichihara, T. M. C. Souza, E. D. Bidone, V. Bella, S. Hacon, A. R. B. SILVA, J. B. P. Braga, B. Stilianidi. (1994). Estado dos impactos ambientais decurrentes do estrabismo mineral e poluição mercurial no Tapajós. Pre Diagnóstico. Serie Tecnología Ambiental. STA, CETEM/CNPq, Rio de Janeiro (4):218.
- Rosas F., K. Lehti. (1996). Nutritional and mercury content of milk of the Amazon river dolphin, *Inia geoffrensis*. *Comparative Biochemistry and Physiology* 115A(2):117-119.
- Shrestha, K.P., X Ruiz de Quilárque. 1989. A preliminary study of mercury contamination in the surface soil and river sediment of the Roscio District, Bolívar State, Venezuela. *Science of the Total Environment* 79: 233-239.
- SIMCI-Sistema Integrado de Monitoreo de Cultivos Ilícitos. (2005). Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito. En línea: <http://www.dne.gov.co/?idcategoria=862>
- USEPA. 1984. Ambient water quality criteria for Mercury-1984. EPA/440/5-84-026. En línea: <http://www.epa.gov/ost/pc/ambientwqc/mercury1984.pdf>
- USEPA. 1989. Risk Assessment Guidance for Superfund, vol. 1, Human Health Evaluation Manual, EPA/540/1-89/002. US Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- Vargas R., M. Jelsma, E. Nivia. (2001). La erradicación aérea de cultivos ilícitos: respuesta a las preguntas más frecuentes. En línea: www.usfumigation.org/literature/factsheets/contradocs/contrafactsheet.htm
- Veiga M., J. A. Meech, R. Hypolito. (1995). Educational measures to address mercury pollution from gold-mining activities in the Amazon. *Ambio* 24(4):216-220.
- Veiga M.M., J.A. Meech. (1995). Gold-mining activities in the Amazon: clean-up techniques and remedial procedures for mercury pollution. *Ambio* 24(6):371-375.
- Villas Bôas R.C. (1997) The mercury problem in the Amazon due to gold extraction. *Journal of Geochemical Exploration* 58:217-222.