

UN ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LA PRESENCIA DE MERCURIO EN AGUA, SEDIMENTO Y PECES DE INTERÉS SOCIO-ECONÓMICO EN LA AMAZONIA COLOMBIANA

Marcela Nuñez-Avellaneda^{1*}, Edwin Agudelo Córdoba² & Brigitte Dimelsa Gil-Manrique³

RESUMEN

Se evaluó la concentración de mercurio total en muestras de agua, sedimento y especies de peces de diferentes niveles tróficos en cuatro localidades de la Amazonia colombiana. Los valores de mercurio total en agua no superaron los 0.001mg/l. En sedimento las concentraciones estuvieron entre 0.0016 y 0.0591 mg/kg Hg que a la luz de normas internacionales se registra como un efecto de bajo riesgo. Para peces, los resultados de mercurio oscilaron entre (0.0116 - 2.0123 \bar{X} 0.3549 mg/kg Hg) de los cuales el 30% de los ejemplares colectados, registraron valores superiores a la norma nacional (0.5mg/kg) y de ellos, el nivel trófico más afectado con la presencia de mercurio fue el de los peces carnívoros. Estos resultados sugieren la necesidad de realizar un monitoreo intenso y continuo en peces de interés local y comercial, así como de agua y sedimento, para definir fuentes de emanación y posibles soluciones a la contaminación por mercurio.

Palabras clave:

Mercurio total, Amazonia colombiana, aguas, sedimento, peces

ABSTRACT

The concentration of total mercury in samples of water, sediment and fish species from different trophic levels was evaluated in four locations in the Colombian Amazon. The values of total mercury in water did not exceed 0.001mg/l. The concentrations in the sediment were between 0.0016 and 0.0591 mg/kg Hg, which by international standards is considered a low risk effect. For fish, the results of mercury ranged between 0.0116 - 2.0123 \bar{X} 0.3549 mg/kg Hg of which 30% of the collected specimens showed values above the national standard (0.5mg/kg,) and of this 30% the most affected with the presence of mercury was the trophic level of carnivorous fish. These results suggest the need for intensive and continuous monitoring of fish for local and commercial interests, as well as water and sediment, to define release sources and possible solutions to mercury contamination.

Keywords:

Total mercury, colombian Amazon, water, sediment, fish.

¹ Investigadora, Grupo de Ecosistemas Acuáticos Amazónicos. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas – SINCHI. mnunez@sinchi.org.co

* Dirección de correspondencia: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. Avenida Vásquez Cobo Calles 15 y 16. Tel: 0057-8-5925480, Fax: 0057-8- 5925480. Leticia, Amazonas.

² Investigador, Grupo de Ecosistemas Acuáticos Amazónicos. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas – SINCHI, doctorando en Ciencias Ambientales de la Universidad Autónoma de Barcelona- ICTA. eagudelo@sinchi.org.co

³ Investigadora, Grupo de Ecosistemas Acuáticos Amazónicos. Estudiante Maestría en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México UNAM. biomarbrigitte@gmail.com

INTRODUCCIÓN

El mercurio (Hg) es un metal noble que se caracteriza por encontrarse en estado líquido a temperatura ambiente y se encuentra de manera natural en todos los compartimientos del planeta: atmósfera, suelo, rocas y agua (Luoma y Rainbow 2008; Kabata-Pendias 2015). Sus concentraciones se han incrementado en los ecosistemas, debido a las modificaciones de su ciclo geoquímico resultado de las actividades antropogénicas, haciéndolo más abundante en los sistemas, donde posee una gran movilidad que lo hace tener una amplia distribución por el planeta (Harris *et al* 2007, Molina *et al* 2010a).

Debido a su estabilidad química y baja biodegradabilidad, el mercurio en el agua ha sido considerado como un compuesto contaminante (Castro 2011) y para la cuenca amazónica, los aportes actuales de Hg a los ecosistemas acuáticos se han relacionado con actividades mineras y la deforestación especialmente en Brasil y a Colombia en un cuarto lugar (Molina *et al.* 2010a, Franco y Valdés 2008). Son varias las décadas de explotación de recursos naturales, minería de metales y petróleo que han producido grandes transformaciones en el paisaje y los ecosistemas, en detrimento de su calidad y del bienestar de las poblaciones humanas nativas (Orta 2007), en particular, la minería de aluvión es una de las técnicas que se ha venido implementando en la Amazonia para la extracción del oro por lo que se denota la incorporación de metales pesados en la Amazonia en Bolivia, Ecuador y Perú como resultado de actividades mineras en los siglos XVI y XVII (Franco y Valdés 2005) y por minería española en los siglos XVII y XVIII (Bastos y Lacerna 2004).

El mercurio tiende a acumularse (bioacumulación), transferirse (biotransferencia) y magnificar su concentración (biomagnificación) dentro de los ecosistemas al incrementar el nivel trófico (Markert 2007, Molina *et al.* 2010b), por lo que esas condiciones se han venido documentando en regiones amazónicas de Bolivia (Molina *et al.* 2010a), Perú (Castro 2011) y Brasil (Isaac y de Almeida 2011), mientras que para Colombia solo se conoce una síntesis de los estudios realizados a nivel de país (Mancera-Rodríguez y Álvarez-León 2006).

Los ríos son los ecosistemas que más se afectan por la presencia del mercurio y se convierten en ruta de transporte hacia las extensas llanuras aluviales de la cuenca, por lo que se incrementa su concentración en las zonas bajas, y además se potencializa por los procesos de re-suspensión de los sedimentos en cada período de inundación de la llanura amazónica y puede integrarse a la biota acuática, en especial en los peces (Roulet *et al.* 2000).

El suelo amazónico contiene mercurio y se libera a los ecosistemas acuáticos como resultado de actividades agropecuarias y quemas de cobertura vegetal que incrementan la movilidad de ese metal (Almeida *et al.*, 2005; Bastos y Lacerna, 2004). Como producto de la extracción aurífera en los ríos amazónicos se registra contaminación de mercurio en aguas, sedimentos y redes tróficas, donde se acumula en tejidos de los seres vivos y se biomagnifica pasando de un nivel trófico a otro, siendo los carnívoros el nivel donde se encuentran las mayores cantidades de ese metal (Kabata-Pendias, 2015). Algunos estudios enfocados en la problemática del mercurio sobre la biota indican que la biomagnificación del metal es frecuente observarla en grupos de peces de nivel trófico superior (Charmers *et al.* 2011), quienes suelen ser las especies de mayor interés en la comercialización de pescado para el consumo por parte de pobladores locales de la cuenca (Isaac y de Almeida 2011).

Este aspecto tiende a ser más importante cuando en las regiones amazónicas de Brasil, Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela, los peces representan la base proteica de la dieta de los pueblos ribereños quienes consumen elevadas cantidades de pescado diariamente (Agudelo *et al.* 2011, Alcántara 1993, Barthem *et al.* 1995, Camburn 2011, Fabrè y Alonso 1998, Guerra *et al.* 1999, Isaac y Almeida 2011, Lasso 2011, Rodríguez 2010, Sirén 2011). Por lo que diferentes estudios refieren esa problemática en sectores de la Amazonia en el río Negro (Barbosa *et al.* 2003), Solimões-Amazonas (Beltrán-Pedrerros *et al.* 2011, Cotes 2011, Cruz 2015), Tapajós (dos Santos *et al.* 2000), Madeira (Bastos *et al.* 2008), Beni e Itenez (Bourgoin y Quiroga 2002, Pouilly *et al.* 2008).

De acuerdo con lo anterior y con el propósito de conocer que puede estar ocurriendo con los recursos

acuáticos de la Amazonia colombiana, el Instituto “SINCHI” realizó trabajo de campo para cuantificar concentraciones de mercurio, en agua, sedimentos y peces de diferente nivel trófico, cuyos resultados se entregan a continuación.

METODOLOGÍA

Área de estudio: Los puntos de colecta se establecieron en los ríos Amazonas en Leticia ($04^{\circ} 13' 0.33'' S / 69^{\circ} 56' 53.66'' W$), Putumayo en Puerto Leguizamo ($00^{\circ} 11' 34.15'' S / 74^{\circ} 47' 00.02'' W$) y Tarapacá ($02^{\circ} 53' 30.55'' S / 69^{\circ} 44' 20.18'' W$), Guaviare ($02^{\circ} 34' 15.13'' N / 72^{\circ} 38' 55.56'' W$) y Vaupés ($00^{\circ} 58' 8.01'' N / 70^{\circ} 38' 48.73'' W$) (Figura 1). Estos sistemas presentan características de

aguas blancas de origen andino como las corrientes fluviales del Guaviare, Caquetá, Putumayo y Amazonas, y otros son aguas negras y claras que provienen de la llanura amazónica o afloramientos del escudo guayanés como el Apaporis, Mirití-Paraná, Vaupés y Guainía.

Colectas: se programaron dos jornadas de colecta de material a realizarse durante el último trimestre de 2014. Se tomaron muestras de agua a nivel subsuperficial (10 a 20 cm de la superficie) de cada ecosistema acuático utilizando botella muestreadora tipo Van Dorn, el contenido se almacenó en bolsas plásticas de 500 ml. Mientras que los sedimentos se colectaron con una draga tipo Eckman y se colocaron en bolsa plástica con sello hermético. Las muestras compuestas de agua y sedimento corresponden

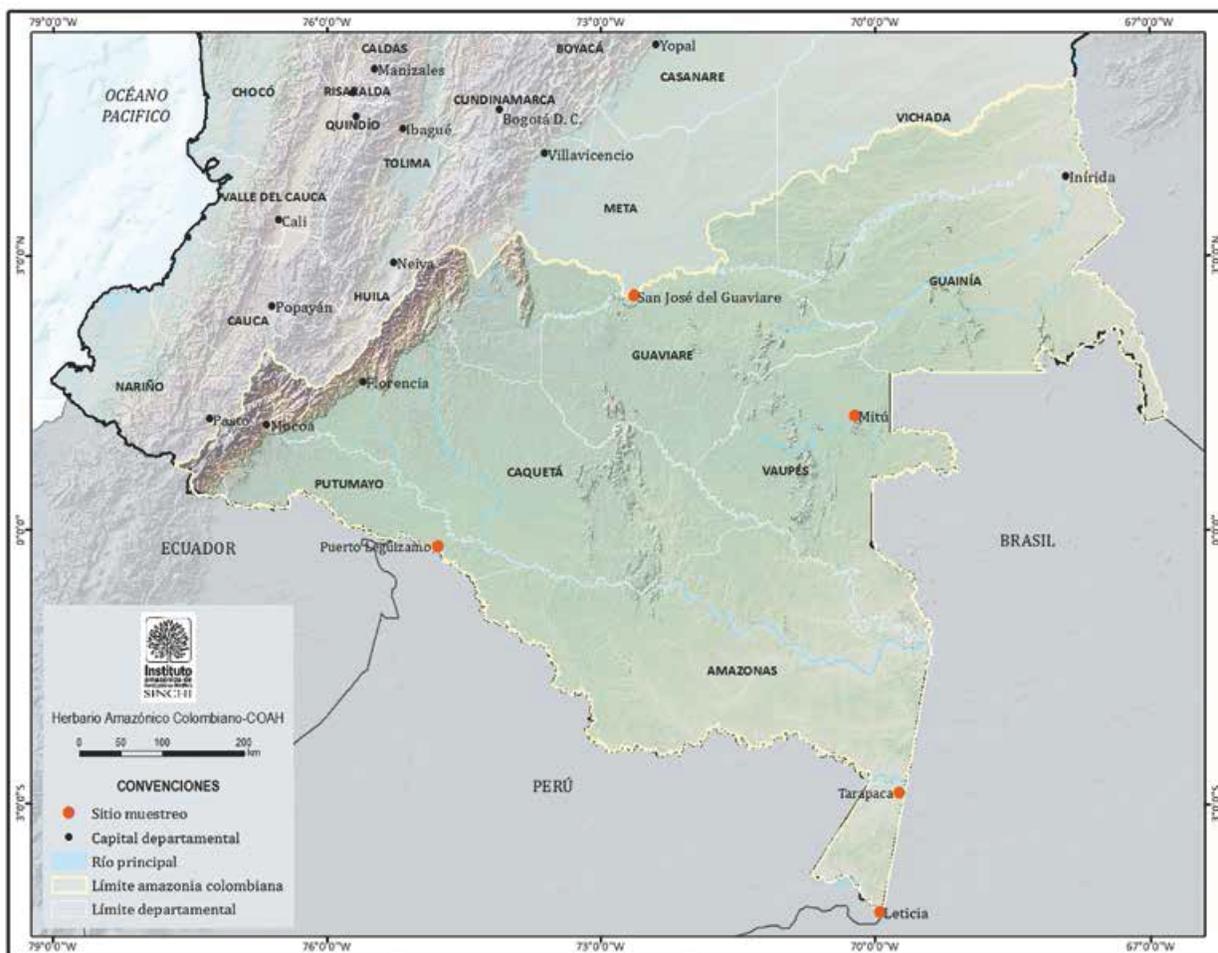


FIGURA 1. LUGARES DE MUESTREO EN LA AMAZONIA COLOMBIANA

Fuente: Instituto Sinchi

a muestras integradas por la mezcla de submuestras de las dos riberas y centro del cauce.

Para peces, las especies fueron definidas a partir de la oferta natural del recurso según el régimen hidrológico presente en cada lugar, se abarcaron distintos niveles tróficos en el análisis: detritívoro, herbívoro y carnívoro (Cyrino *et al.* 2008, Machado 2003) (Tabla 1). En cada lugar, los individuos capturados se identificaron y se tomaron registros en peso y la longitud estándar, posteriormente se colectó la muestra. En el caso de peces grandes, el ejemplar se fraccionó en porciones (postas) y de estas se tomaron cinco partes al azar, en el caso de especies pequeñas se tuvo en cuenta el ejemplar completo, incluyendo la presencia de espinas y vértebras (como es típico en el consumo de pescado en la región), en los dos casos el material se colectó directamente en campo. Las muestras se empacaron en doble bolsa plástica de cierre hermético, etiquetadas y rotuladas con los datos de sitio de captura, especie íctica, fecha de captura, medidas morfométricas y se preservaron congeladas a -4 °C, hasta su análisis en laboratorio especializado.

La determinación cuantitativa de mercurio total se realizó con la técnica de espectrofotometría de absorción atómica por analizador directo de mercurio, mediante el empleo del espectrofotómetro marca Milestone® DMA 80-254nm con límite de detección de 0.001, de acuerdo a la norma EPA 7473 de febrero de 2007. El material de referencia utilizado en la realización de los ensayos de mercurio en

peces, agua y sedimento es una solución estándar de mercurio trazable a NIST (National Institute of Standards and Technology) de los Estados Unidos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Agua y sedimentos: La concentración de mercurio en agua para cada uno de los puntos evaluados, fue menor al límite de detección del método utilizado (< 0,001 mg/l Hg) y a su vez, fueron menores a la norma nacional de calidad de agua para consumo humano (0,001mg/l Hg; Resolución 2115 del 22 de junio de 2007 del Ministerio de la Protección y MAVDT) y al máximo permisible de 0.001 mg/l Hg para vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público en la actividad de extracción de oro y otros metales preciosos (Resolución 631 del 17 de marzo de 2015 del MADS).

Para los sedimentos, se presentaron valores inferiores a 0.0591mg/kg de Hg total en todos los sitios muestreados (Tabla 2). En Colombia no existe una norma que regule las concentraciones de mercurio en sedimentos de agua dulce, por lo cual los datos se compararon con normas de otros países. El valor máximo encontrado en el presente estudio no superó la norma establecida por la EPA en Estados Unidos de 0.15mg/kg Hg así como los 0.094 mg/kg Hg definidos para Canadá (ECMDEPQ, 2007), valores considerados como *rare effect level* o de muy bajo efecto.

TABLA 1. ESPECIES DE PECES Y GREMIOS TRÓFICOS

Nombre común	Nombre científico	Gremio trófico
Bocachico	<i>Prochilodus nigricans</i>	Detritívoro
Yaraquí	<i>Semaprochilodus sp.</i>	Detritívoro
Palometa	<i>Mylossoma duriventre</i>	Herbívoro/frugívoro
Misingo	<i>Tetranematichthys cf quadrifilis</i>	Carnívoro/carcinófago
Guabina	<i>Rhamdia sp.</i>	Carnívoro/piscívoro
Baboso	<i>Brachyplatystoma platynemum</i>	Carnívoro/piscívoro
Pintadillo	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Carnívoro/piscívoro
Tucunaré	<i>Cichla monoculus</i>	Carnívoro/piscívoro
Caloche	<i>Gymnotus cf apapaima</i>	Carnívoro/piscívoro
Tarira	<i>Hoplias sp.</i>	Carnívoro/piscívoro
Simí	<i>Calophysus macropterus</i>	Carnívoro/piscívoro

Fuente: Elaboración propia

TABLA 2. CONCENTRACIONES DE HG ENCONTRADAS EN SEDIMENTO EN DIVERSAS LOCALIDADES DE AMAZONIA COLOMBIANA (N=10)

Localidad	Valor medio	Mínimo	Máximo
Leticia	0.03225	0.0054	0.0591
Tarapacá	0.00850	0.0026	0.0144
Leguizamo	0.00274	0.0016	0.0039
Mitú	0.01365	0.0035	0.0238
Guaviare	0.00850	0.0026	0.0144

Fuente: Elaboración propia

Peces: Se analizaron un total de 260 muestras, 33 de ellas provinieron de Leticia, 80 de Tarapacá, 32 de Leguizamo, Mitú con 77 y Guaviare con 38 especímenes; se abarcaron 11 especies. Se encontraron concentraciones de mercurio entre 0.011 – 2.012 con un promedio general de 0.35 ± 0.30 mg/kg Hg de peso húmedo (Tabla 3).

TABLA 3. VALORES DE MERCURIO (MG/KG HG PESO HÚMEDO) EN PECES MUESTREADOS SEGÚN LOCALIDAD (VALORES EN ROJO SUPERAN EL LÍMITE PERMITIDO EN COLOMBIA)

Localidad	n	Promedio	Mínimo	Máximo
Leguizamo	32	0.556±0.512	0.0134	2.0123
Guaviare	38	0.417±0.311	0.0116	1.2211
Leticia	33	0.374±0.314	0.0254	1.2595
Tarapacá	80	0.362±0.255	0.0254	0.9118
Mitú	77	0.226±0.109	0.0452	0.6126
Total	260	0.355±0.302	0.0116	2.0123

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4. VALORES DE MERCURIO (MG/KG HG PESO HÚMEDO) DETERMINADOS EN 11 ESPECIES DE PECES (VALORES EN ROJO SUPERAN EL LÍMITE PERMITIDO EN COLOMBIA)

	n	Promedio	Mínimo	Máximo	% > 0.5 mg/kg
Bocachico	18	0.1076±0.049	0.014	0.233	
Yaraquí	16	0.141±0.049	0.087	0.261	
Palometa	33	0.087±0.176	0.012	0.908	6
Misingo	13	0.203±0.1398	0.045	0.558	8
Guabina	16	0.189±0.113	0.096	0.551	6
Baboso	30	0.747±0.386	0.012	2.012	93
Pintadillo	44	0.458±0.180	0.175	0.883	39
Tucunaré	15	0.197±0.058	0.146	0.322	
Caloche	15	0.246±0.101	0.085	0.476	
Tarira	18	0.2810±0.107	0.157	0.613	6
Simí	42	0.603±0.260	0.150	1.759	71
Valores > 0.5 mg/kg	80	0.732 ±0.274			
Total Muestras	260	0.355±0.302			30

Fuente: Elaboración propia

Solo el 30% de las muestras analizadas registraron valores mayores a 0.5mg/kg Hg (peso húmedo), que es el valor máximo permisible para Colombia según la Resolución 2115 del 22 de junio de 2007 (Tabla 4).

Se determinó mayor concentración de mercurio en gremios tróficos altos (Tabla 5, Figura 2), donde la relación fue mayor en peces piscívoros que en carnicívoros, seguido de los herbívoros y detritívoros.

TABLA 5. VALORES DE MERCURIO (MG/KG HG PESO HÚMEDO) DETERMINADOS EN DISTINTOS NIVELES TRÓFICOS DE PECES AMAZÓNICOS (VALORES EN ROJO SUPERAN EL LÍMITE PERMITIDO EN COLOMBIA)

Nivel trófico	n	Promedio	Mínimo	Máximo
Piscívoro	180	0.459±0.298	0.012	2.012
Carcinófago	13	0.203±0.139	0.045	0.558
Herbívoro	33	0.087±0.176	0.012	0.908
Detritívoro	34	0.123±0.051	0.014	0.261
Total	260	0.355±0.302	0.012	2.012

Fuente: Elaboración propia

En la localidad de Puerto Leguizamo en el río Putumayo, se presentaron los mayores valores de mercurio, particularmente en los depredadores analizados (Tabla 3, Figura 2): baboso (0.66-2.01 mg/kg Hg), simí (0.48-1.75 mg/kg Hg) y pintadillo



(0.37-0.85 mg/kg Hg). Seguido de San José del Guaviare con registros sobre simí (0.16-1.22 mg/kg Hg) baboso (0.01-1.08 mg/kg Hg) y pintadillo (0.17-0.72 mg/kg Hg). En tercer lugar estuvo Leticia en el río Amazonas, con baboso (0.52-1.25 mg/kg Hg), simí (0.15-0.70 mg/kg Hg) y pintadillo (0.24-0.85 mg/kg Hg). Finalmente, no se encontró correlación entre la concentración de mercurio frente a la longitud ($R^2=0.06$, $p=0.005$) o frente al peso ($R^2=0.13$, $p=0.005$) del pez.

Frente a los anteriores resultados, puede decirse que la concentración de mercurio en la columna de agua para cada uno de los puntos evaluados fue muy bajo, incluso por debajo del límite de detección del equipo utilizado en el análisis (0,001 mg/l Hg), por lo tanto no se presumen altas concentraciones en este compartimento, por lo menos durante la época hidrológica que fue muestreada. A su vez, los sedimentos analizados presentaron concentraciones menores a 0.0591mg/kg Hg, por lo que se registra como

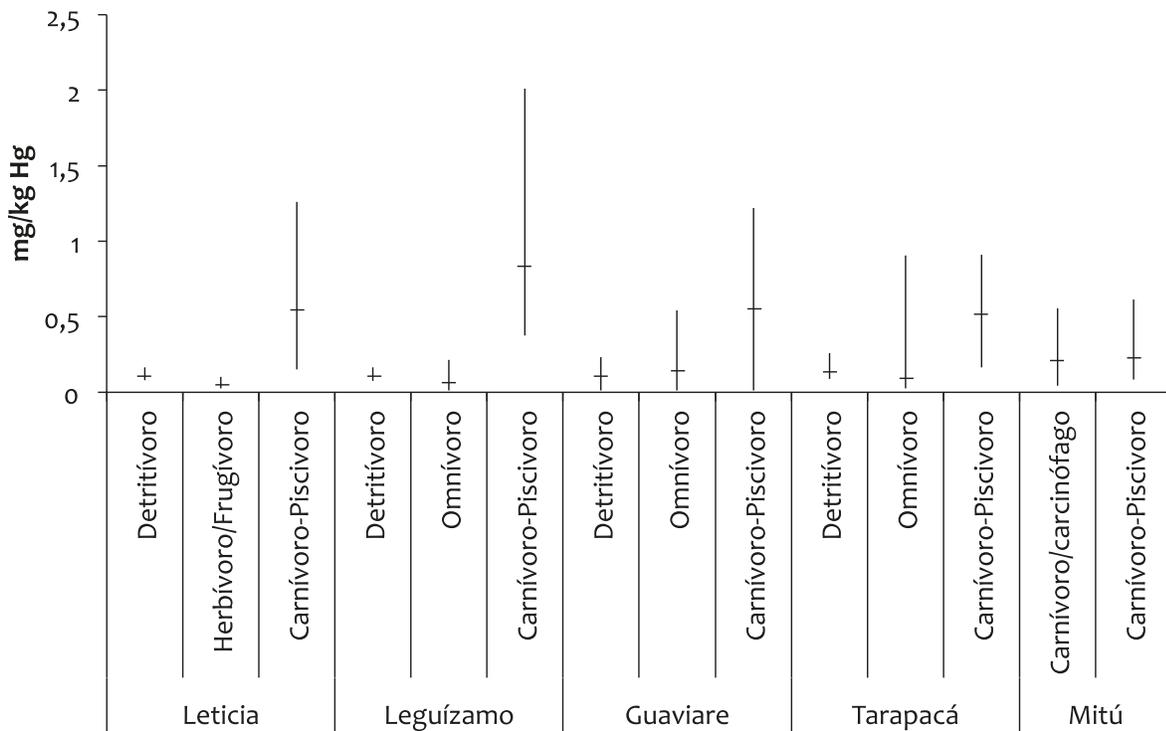


FIGURA 2. VALORES DE MERCURIO (MG/KG HG) ENCONTRADOS EN PECES AMAZÓNICOS SEGÚN NIVEL TRÓFICO Y LOCALIDAD.

Fuente: Elaboración propia

muy bajo efecto. De momento, esos resultados confirman que no existirían afectaciones al ambiente o la salud humana por la concentración de mercurio en agua y sedimento, contrario a lo detectado por Iglesias y colaboradores (2000) en el río Yaguas en la Amazonia peruana. Pero también cabe recordar, que son resultado de una muestra tomada en una parte del régimen hidrológico, por lo que se hace necesario ampliar el monitoreo, toda vez que la nueva reglamentación del Ministerio de Ambiente (MADS 2105 Resolución 631), indica que el mercurio en temas de extracción minera no puede sobrepasar la concentración de 0.002 mg/l Hg en agua.

Caso contrario mostraron los peces, pues de las once especies analizadas, siete presentaron individuos con niveles de concentración de mercurio superiores a la norma nacional. Por lo que se logró detectar en todos los sitios muestreados la presencia del metal en valores superiores a 0.5 mg Hg/kg como mínimo en una especie, lo cual concuerda con los hallazgos realizados por Beltrán-Pedrerros *et al.* (2011) para la cuenca amazónica en Brasil, Pouilly *et al.* (2008) para Bolivia e Iglesias *et al.* (2000) para el Perú.

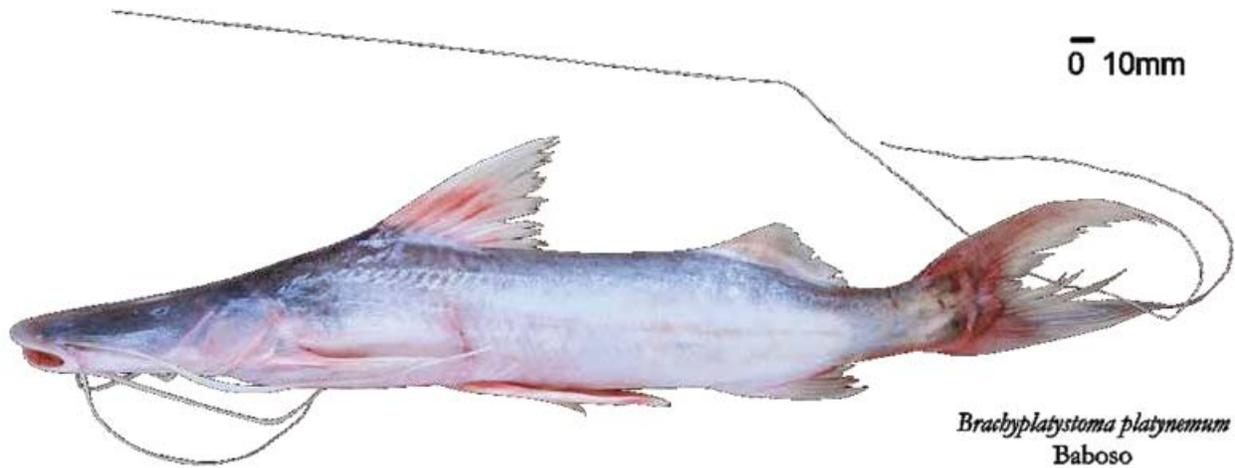
Los resultados indican que el problema del mercurio se concentra en especies de nivel trófico alto, mientras que en peces de nivel trófico inferior como yaraquí, palometa o bocachico, no se presentan valores por encima de la norma. Al recordar que la pesca de consumo local se sustenta sobre especies de nivel trófico bajo (Agudelo *et al.* 2006, 2011, Fabré y Alonso 1998, Rodríguez 2010, Polanco y Rodríguez 2013) se puede precisar que los peces de alto interés para el consumo local (de bajo nivel

trófico) tienen poca afectación por mercurio, mientras que los peces de alto interés comercial y que incluso se mercadean al interior del país (Barthem *et al.* 1995, Agudelo *et al.* 2000, 2011, Alonso *et al.* 2009), presentaron niveles preocupantes. Aunque el mercurio aparece en todos los niveles tróficos de los peces, en la mayoría de las muestras (70%) siempre estuvo por debajo de los valores permitidos en la normatividad colombiana.

Para peces carnívoros como *B. platynemum* y *C. macropterus* fue notoria la presencia de ese metal en concentraciones medias, que se consideran inaceptables para el consumo humano, y en ese sentido, fue Puerto Leguízamo el lugar con la mayor concentración de metal en los peces. Pero cabe mencionar que no todos los ejemplares presentaron valores mayores a 0.5 mg/kg Hg y que además, esas especies son migratorias, por lo que su distribución no se restringe a la zona donde fueron detectados.

Finalmente, los resultados encontrados en peces deben tomarse con precaución debido a que la concentración de mercurio puede variar según localidad, aspectos migratorios, régimen hidrológico, nivel trófico y tamaño de los peces (Beltrán-Pedrerros *et al.* 2011). En ese orden, la Organización Mundial de la Salud define el límite de tolerancia para consumo de especies carnívoras en 0.5 mg/kg Hg y en 0.3 mg/kg Hg para no carnívoras, lo que plantea sugerir una alerta temprana sobre la necesidad de profundizar este tipo de estudios en la Amazonia colombiana, una región que cuenta con muy pocos datos (ver Anexo 1).





CONCLUSIONES

Estudios realizados en otros países amazónicos consideran que las cuatro principales fuentes de emisión de mercurio a los ecosistemas acuáticos son: la geología de la región y la precipitación atmosférica, la actividad minera (por metales y para material de construcción), la extracción petrolera y la deforestación. Los resultados del presente estudio indicaron muy bajas concentraciones de mercurio en agua y sedimentos, pero concentraciones mayores a 0.5mg.kg Hg en el músculo de algunas especies de peces, particularmente en aquellas que pertenecen a niveles tróficos altos. Sin embargo, estos resultados no permiten inferir cual es la fuente de emanación ni los agentes responsables de dicha contaminación y a pesar que en la región se vienen dando procesos desordenados e ilegales de minería, no se puede afirmar que la contaminación en los peces sean resultado de esas actividades.

Por otra parte, cabe resaltar que los hallazgos generados deben considerarse una alerta temprana para el Estado colombiano, respecto a la contaminación por metales pesados que está afectando los ecosistemas acuáticos amazónicos y en consecuencia a los peces; principal fuente de proteína animal en la Amazonia y con efectos directos sobre las dinámicas socioeconómicas regionales y transfronterizas, resultantes de la actividad pesquera histórica y suprarregional.

Frente a la posibilidad que se pueda menoscabar el servicio ecosistémico de aprovisionamiento que hoy brindan los ecosistemas acuáticos, se hace necesario adelantar en el corto plazo un análisis amplio y regional sobre la presencia de mercurio (y otros metales pesados), que incluyan al agua, los sedimento y las especies ícticas de diversos niveles tróficos como objeto de estudio. Recursos acuáticos que son utilizados para la suficiencia alimentaria de las poblaciones ribereñas y dentro de las dinámicas pesqueras, reconociendo que la mayor parte de esas especies son migratorias y se comparten entre los países amazónicos.

Finalmente, es sabido que en Europa y Norteamérica se evalúa permanentemente las bondades del consumo de pescado en la salud humana y los efectos que pueden tener sobre la misma, al ingerirse peces de alto valor socio-cultural y comercial que presentan inadecuados niveles de mercurio (por ejemplo: pez espada, macarela, atunes y salmón). Por lo tanto, es fundamental que se considere establecer en Colombia y en su Amazonia, los rangos de ingesta diaria permitidos, como resultado de un proceso permanente de monitoreo en metales a nivel de especies y de cuencas, que determinen los valores medios de concentración de ese metal. Lo anterior, busca contribuir a reducir los riesgos de impactos negativos en la salud pública por consumo de pescado con rangos de mercurio superiores a lo recomendado por las normas nacionales e internacionales.

ANEXO 1. ESTUDIOS DE CUANTIFICACIÓN DE MERCURIO EN PECES REALIZADOS EN LA CUENCA AMAZÓNICA (VALORES EN MG/KG HG).

Especies	n	Min	Max	Promedio Hg	Autores	País
<i>C. macropterus</i>	42	0.56	1.75	0.69±0.24	Presente estudio	Colombia
	56	1.33	2.28		Salinas <i>et al</i> (2014)	Colombia
	64	0.19	1.66	0.64±0,37	F. Omacha (2015)	Colombia
	7	0.14	0.87	0.527±0.21	Beltrán-Pedrerros <i>et al</i> (2011)	Brasil
	11	0.72	2.24	1.38±s.d.	Bastos <i>et al</i> (2008)	Brasil
<i>B. platynemum</i>	30	0.51	2.01	0.79±0.35	Presente estudio	Colombia
<i>Brachyplatystoma filamentosum</i>	2	0.22	0.64	0.429±0.21	Beltrán-Pedrerros <i>et al</i> (2011)	Brasil
<i>Brachyplatystoma rousseauxii</i>	19	0.14	3.17	0.91±s.d.	Bastos <i>et al</i> (2007)	Brasil
<i>B. rousseauxii</i>	6	0.29	1.48	1.021±0.02	Bourgoin y Quiroga (2002)	Bolivia
<i>P. fasciatum</i>	44	0.51	0.88	0.64±0.11	Presente estudio	Colombia
	1	-	-	0.54±s.d.	Beltrán-Pedrerros <i>et al</i> (2011)	Brasil
	38	0.08	1.56	0.66±s.d.	Bastos <i>et al</i> (2008)	Brasil
	5	0.22	0.58	0.37±s.d.	Bourgoin y Quiroga (2002)	Bolivia
	3	0.20	0.44		Barbosa <i>et al</i> (2011)	Brasil
<i>Rhamdia sp.</i>	16	-	-	0.55±s.d.	Presente estudio	Colombia
<i>Rhamdia sp.</i>	1			0.06±s.d.	Bastos <i>et al</i> (2007)	Brasil
<i>T. cf quadrifilis</i>	13	-	-	0.55±s.d.	Presente estudio	Colombia
<i>Lithodoras dorsalis</i>	1			0.01±s.d.	Bastos <i>et al</i> (2008)	Brasil
<i>M. duriventre</i>	33	0.54	0.90	0.25±s.d.	Presente estudio	Colombia
<i>M. duriventre</i>	18	0.02	0.14	0.07±0.04	Beltrán-Pedrerros (2011)	Brasil
<i>Mylossoma duriventre</i>	3	0.02	0.03	0.02±s.d.	Bastos <i>et al</i> (2008)	Brasil
<i>Mylossoma duriventre</i>	7	0.01	0.09	0.04±0.01	Bourgoin y Quiroga (2002)	Bolivia
<i>Hoplias sp.</i>	18	-	-	0.61±s.d.	Presente estudio	Colombia
<i>Hoplias sp.</i>	55	0.03	1.19	0.43±s.d.	Bastos <i>et al</i> (2008)	Brasil
<i>Hoplias sp.</i>	24	0.04	0.20	0.09±0.04	Pouilly <i>et al</i> (2012)	Bolivia
<i>Hoplias sp.</i>	14	0.05	0.32	0.13±0.07	Pouilly <i>et al</i> (2012)	Bolivia
<i>Hoplias sp.</i>	22	0.03	0.13	0.07±0.03	Pouilly <i>et al</i> (2012)	Bolivia
<i>Hoplias sp.</i>	24	0.12	0.02		Barbosa <i>et al</i> 2013	Brasil

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue cofinanciada con recursos de la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca – AU-NAP en el marco del proyecto “Peces y aparejos utilizados en la pesca de consumo local en la cuenca amazónica. Convenio 039/14”, para la colecta y análisis de peces proveniente de las localidades de Tarapacá y Mitú, que conjuntamente con la ejecución del Proyecto BPIN “Apoyo para el Fortalecimiento de la Gestión del Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas-Sinchi” permitió realizar este estudio en localidades de San José del Guaviare, Leguízamo y Leticia. En ese orden, los autores agradecen la participación activa de pescadores y acopiadores de la región amazónica, principales interesados en conocer la inocuidad de los productos pesqueros que consumen y/o comercializan.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agudelo, E, y Salinas, CL Sánchez, DL Muñoz – Sosa, JC Alonso, M E Arteaga, OJ Rodríguez, NR Anzola, LE Acosta, M Núñez-Avellaneda, H Valdés. 2000. Bagres de la Amazonia Colombiana: Un Recurso Sin Fronteras. Fabrè, N.N., Donato, J. C. y J. C. Alonso (Editores). Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi. Programa de Ecosistemas Acuáticos. Bogotá. 252p.

Agudelo E, C L Sánchez, LE Acosta, A Mazorra, JC Alonso, LA Moya, LA Mori. 2006. La pesca y la acuicultura en la frontera colombo – peruana del río Putumayo. p: 59-78. En: Agudelo E, JC Alonso, LA Moya (Editores). 2006. Perspectivas para el ordenamiento de la pesca y la acuicultura en el área de integración fronteriza colombo – peruana. Instituto Amazónico de Investigaciones

- Científicas Sinchi – Instituto Nacional de Desarrollo del Perú. Editorial Scripto Ltda. Bogotá, D. C.
- Agudelo E, CL Sánchez, CA Rodríguez, CA Bonilla-Castillo, GA Gómez. 2011. Los recursos pesqueros en la cuenca amazónica colombiana. Capítulo 5. p. 143-166. En: Lasso CA, F de Paula Gutiérrez, MA Morales-Betancourt, E Agudelo, H Ramírez, RE Ajiaco (Editores). 2011. II. Diagnóstico de las pesquerías continentales de Colombia: cuencas del Magdalena-Cauca, Sinú, Canalete, Atrato, Orinoco, Amazonas y vertiente del Pacífico. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá.
- Alcántara F. 1993. Estudio de Prefactibilidad “Manejo integral de la Pesca”. OEA. Iquitos.
- Alonso JC, K Camacho, M Núñez – Avellaneda, E Agudelo. 2009. Recursos Hídricos y Ecosistemas Acuáticos. En: PNUMA y OTCA. 2009. Perspectivas del medio ambiente en la Amazonia-GEOAMAZONIA. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Organización del Tratado de Cooperación Amazónica (OTCA) y Centro de Investigación de la Universidad del Pacífico (CIUP). Ciudad de Panamá. p. 147-161
- Barbosa AG, J de Souza, JG Dórea, WF Jardim, PS Fadini. 2003. Mercury Biomagnification in a Tropical Black Water, Rio Negro, Brazil. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 45:235-246.
- Barthem R, H Guerra, M. Valderrama. 1995. Diagnóstico de los recursos hidrobiológicos de la Amazonia TCA Secretaria Pro Tempore. 162 p.
- Bastos W, L Lacerna. 2004. A contaminação por mercúrio na bacia do Rio Madeira. Uma breve revisão. Geochimica Brasiliensis, 18(2) 99-114.
- Bastos W, M Rebelo, M Fonseca, R de Almeida, O Malm. 2008. A description of mercury in fishes from the Madeira River Basin, Amazon, Brazil. Acta Amazónica 38(3): 431-438.
- Beltran-Pedreras S, J Zuanon, RG Leite, JR Pacheco, A Barros, B R Forsberg. 2011. Mercury bioaccumulation in fish of commercial importance from different trophic categories in an Amazon floodplain lake. Neotropical Ichthyology, 9(4): 901-908
- Bourgoin M, I Quiroga. 2002. Total mercury distribution and importance of the biomagnification process in rivers of the Bolivian Amazon. The Ecohydrology of south American rivers and wetlands IAHS Special Publications (6): 49-67
- Camburn M. 2011. El consumo de pescado en la Amazonia boliviana. FAO- COPESCAALC 64 p. (Documento Ocasional N° 14).
- Castro G. 2011. Efecto del mercurio en los peces y la salud pública en el Perú. Sistema de Revisiones en Investigación Veterinaria de San Marcos (Sirivs). Universidad Nacional mayor de San Marcos. Lima. 11 p.
- Chalmers AT, DM Argue, DA Gay, M- E. Brigham, CJ Schmitt, D L Lorenz. 2011. Mercury trends in fish from rivers and lakes in the United States, 1969-2005. Environ. Monit. Assess. 175:175-191.
- Cotes-Navarro M. (2011) Metales en sedimentos del sistema de inundación Yahuaraca en el alto Amazonas y su posible relación con la actividad humana (Leticia: Colombia). Tesis de maestría. Bogotá (Colombia), Universidad Jorge Tadeo Lozano.
- Cruz L. 2015. Determinación de metales pesados bioacumulables en especies ícticas de interés comercial de la cuenca alta del río Amazonas, Colombia. Tesis de maestría. Universidad de Buenos Aires.
- Cyrino JE, P Bureau, BG. Kapoor (Editors). 2008. Feeding and Digestive Functions in Fishes. CRC Press. 575 p.
- Dos Santos L, R Müller, J Sarkisb, C Alvesa, E da Brabo, E Santos, MH da Bentes. 2000. Evaluation of total mercury concentrations in fish consumed in the municipality of Itaituba, Tapajós River Basin, Pará, Brazil. The Science of the Total Environment 261:1-8.
- Environment Canada and Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec (ECMDEPQ). 2007. Criteria for the Assessment of Sediment Quality in Quebec and Application Frameworks: Prevention, Dredging and Remediation. 39 p.
- Fabre N, JC Alonso. 1998. Recursos ícticos no Alto Amazonas. Sua importancia para as populações ribeirinhas. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Serie Zoologia, 14(1):19-55.
- Franco F, H Valdés. 2005. Minería artesanal del oro de aluvión Mocoa-Putumayo, Amazonia colombiana. Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia-Leticia.

- Fundación Omacha. 2015. Impactos de las pesquerías de *Calophysus macropterus* un riesgo para salud pública y la conservación de los delfines de río en Colombia. Informe Final del Programa de Conservación de delfines de río en Suramérica. Bogotá D.C.
- Guerra H, S Tello, M Vigo, R Rodríguez. 1999. Estudio de mercado y comercialización de productos de la pesca y sus derivados en el área de influencia de la frontera peruana – colombiana. INADE – PEDICP. 96 p.
- Iglesias S, M. González. 2000. Evaluación de las condiciones e impactos ambientales de la explotación y aprovechamiento de minerales de oro mediante dragas en el río Yaguas–cuenca del río Putumayo. Revista del instituto de investigación de la facultad de geología, minas, metalurgia y ciencias geográficas. 3(6):1-10.
- Isaac VJ, MC de Almeida. 2011. El consumo de pescado en la Amazonía brasileña. FAO–COPESCA-ALC. 43 p. (Documento Ocasional No. 13).
- Kabata-Pendias A, B Szeke. 2015. Trace Elements in Abiotic and Biotic Environments. CRC Press. 392 p.
- Lasso CA. 2011. Consumo de pescado y fauna acuática en la cuenca amazónica venezolana: análisis de nueve casos de estudio entre comunidades indígenas. FAO- COPESCAALC. 28 p. (Documento Ocasional No. 15)
- Luoma SN, PS Rainbow. 2008. Metal Contamination in Aquatic Environments: Science and Lateral Management. Cambridge University Press, Cambridge. Chapter 7. Trace metal bioaccumulation. Uptake processes. p. 129-141.
- Mancera-Rodríguez NJ, R Álvarez-León. 2006. Estado del conocimiento de las concentraciones de mercurio y otros metales pesados en peces dulceacuícolas de Colombia. Acta Biológica Colombiana 11(1): 3-23
- Markert B. 2007. Definitions and principles for bioindication and biomonitoring of trace metals in the environment. J Trace Elem Med Biol. Suppl 1:77-82.
- Machado F. 2003. Historia natural de peixes do Pantanal: com destaque em hábitos alimentares e defesa contra depredadores. Tesis doutorado. Universidad Estadual de Campinas. 100 p.
- Molina CI, F-M Gibon, Y Sánchez, E Benefice, JR Guimarães 2010a. Implicancia ambiental del mercurio en ecosistemas acuáticos de la Amazonía: Situación en Bolivia. Revista Virtual REDESMA 4(2): 26-41.
- Molina CI, FM Gibon, JL Duprey, E Domínguez, JR Guimarães, M Roulet. 2010b. Transfer of mercury and methylmercury along macroinvertebrate food chains in a floodplain lake of the Beni River, Bolivian Amazonia. Sci. Total Environ. 408(16): 3382-91
- Orta, M. 2007. Etnocartografía de impactos de la actividad petrolera en el río Corrientes. Conflictos Petroleros en la Amazonia peruana. Tesis MSc. Universidad Autónoma de Barcelona. España 138p.
- Polanco R, CA Rodríguez. 2013. La pesca de consumo en Leguízamo: diversidad y bienestar local. Proyecto Putumayo Tres Fronteras del Programa Trinacional de Conservación y Desarrollo Sostenible del Corredor de Áreas Protegidas, La Paya (Colombia), Cuyabeno (Ecuador) y Güeppi (Perú). Fundación Tropenbos Internacional Colombia, Bogotá.
- Pouilly M T, A Pérez, F Ovando, P Guzmán, JL Paco, J Duprey, B Chinchero, F Caranza, F Barberi, J Gardon. 2008. Diagnóstico de la contaminación por el mercurio en la cuenca Iénez. Procesos geoquímicos y bioquímicos. Exposición de las poblaciones humanas. Institut de Recherche pour le Développement (La Paz, Marseille Francia). Universidad Mayor de San Simón (Cochabamba), Universidad Mayor de San Andrés (La Paz), International Institute for Geo-information Science and Earth Observation (ITC, The Netherlands) Cochabamba, Bolivia.
- Rodriguez C. 2010. Pesca de consumo: monitoreos comunitarios para el manejo de los recursos naturales en la Amazonia Colombiana. Fundación Tropenbos Colombia. 3:1-55.
- Roulet M, M Lucotte, J Guimarães, I Rheault. 2000. Methylmercury in water, seston, and epiphyton of an Amazonian river and its floodplain, Tapajós Rives, Brasil. Sci. Tot. Environ. 261:43-49.
- Salinas C, JC Cubillos, R Gómez, F Trujillo & S Caballero. 2014. “Pig in a poke (gato por liebre)”: The “mota” (*Calophysus macropterus*) Fishery, Molecular Evidence of Commercialization in Colombia and Toxicological Analyses. EcoHealth DOI: 10.1007/s10393-013-0893-8
- Sirén A. 2011. El consumo de pescado y fauna acuática silvestre en la Amazonía ecuatoriana. FAO- COPESCAL 27 p. (Documento Ocasional No. 12).

