



## Análisis de las concentraciones de mercurio en peces presentes en una fuente hídrica sometida a disturbios mineros, municipio de Río Quito, Chocó, Colombia

### Analysis of mercury concentrations in fish present in a water source subjected to mining disturbances, municipality of Río Quito, Chocó, Colombia

Yeny Liseth Cuesta Valois<sup>1</sup> , Yiskar Damián Murillo Asprilla<sup>2</sup> 

#### Resumen

*A pesar de que existe un mandato estatal que reconoce al río Atrato como sujeto de derechos, con miras a garantizar su conservación y protección (T-622), aun se siguen desarrollando malas prácticas en la minería de oro y platino, las cuales están transformando y contaminando drásticamente los ecosistemas de la cuenca del río Atrato, liberando elementos tóxicos como el mercurio (Hg). El objetivo de este estudio es evaluar las concentraciones de mercurio total (Hg-T) en peces del río Quito. Se emplearon técnicas tradicionales de pesca donde se recolectaron especies de peces continentales de mayor consumo en la comunidad. Se encontró que las 29 muestras analizadas contienen mercurio, evidenciando que las especies carnívoras presentaron diferencia significativa en los niveles de Hg-T, con respecto a las no carnívoras ( $p < 0,05$ ), por tanto, las concentraciones promedio más altas fueron encontradas en *Pseudopimelodus schultzi* (1,63 mg/kg) y *Ageneiosus pardalis* (1,33 mg/kg). Del total de muestras analizadas, el 48,3% exhibieron una concentración de Hg-T superior al 0,5 mg/kg permisible para el consumo humano. Al término de esta investigación se concluyó que la concentración de mercurio en los peces está determinada por diversos factores, y no solo por la forma de alimentación, lo que sugiere que estos factores no se deben evaluar por separado, debido a la fuerte relación que existe entre las variables longitud, peso y sexo de las especies.*

**Palabras clave:** Bioacumulación, Mercurio total, Peces, Río Atrato.

- <sup>1</sup> Universidad Tecnológica del Chocó “Diego Luis Córdoba”, Quibdó, Colombia.
- <sup>2</sup> Grupo de investigación Conocimiento, Manejo y Conservación de los Ecosistemas del Chocó Biogeográfico, Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico “John Von Neumann”, Quibdó, Colombia.

Autor correspondencia:  
yida\_0810@hotmail.es

Recepción: Octubre 6, 2020  
Aprobación: Diciembre 9, 2020  
Editor asociado: Ayala HJ

## Abstract

*Although there is a state mandate that recognizes the Atrato River as a subject of rights, with a view to guaranteeing its conservation and protection (T-622). Bad practices continue to be developed in gold and platinum mining, which are drastically transforming and contaminating the ecosystems of the Atrato River basin, releasing toxic elements such as mercury (Hg). The objective of this study was to evaluate the concentrations of total mercury (Hg-T) in fish from the Quito River. Traditional fishing techniques were used where species of continental fish most consumed in the community were collected. It was found that the 29 samples analyzed contain mercury, showing that the carnivorous species presented a significant difference in the levels of Hg-T, compared to the non-carnivorous ones ( $p < 0.05$ ), therefore, the highest average concentrations were found in *Pseudopimelodus schultzi* (1.63 mg/kg) and *Ageneiosus pardalis* (1.33 mg/kg). Of the total samples analyzed, 48.3% exhibited a Hg-T concentration higher than the 0.5 mg/kg permissible for human consumption. At the end of this research, it was concluded that the concentration of mercury in fish is determined by various factors, and not only by the way they are fed, which suggests that these factors should not be evaluated separately, due to the strong relationship that exists between variables such as length, weight, and sex of the species.*

**Keywords:** *Atrato River, Bioaccumulation, Fish, Total mercury.*

## Introducción

Las malas prácticas en la minería de oro y platino están transformando y contaminando drásticamente los ecosistemas de Colombia. Por un lado, transformar los suelos, destruye la cobertura vegetal, causa pérdida del banco de semillas,

altera los procesos biológicos y, además, libera elementos tóxicos como el mercurio (Hg), con capacidad de bioacumulación en los tejidos de animales de vida silvestre. En Colombia, el uso y presencia de este metal en diferentes matrices ambientales, ha sido documentado por Oliviero-Verbel *et al.* (2011, 2015).

El Chocó Biogeográfico alberga varios ecosistemas megadiversos, y muchos de ellos han sido amenazados por la minería aurífera, sobre todo en el departamento del Chocó, Colombia. En esta región un gran porcentaje de la minería aurífera es informal y se desarrolla en áreas categorizadas y reconocidas por la alta importancia para la biodiversidad (*hotspot*), en donde se encuentran comunidades biológicas, con particularidades ecológicas y vulnerables a los disturbios.

Sin duda, en el Chocó, la minería ilegal es uno de los principales agentes responsable del deterioro en fuentes hídricas, debido a que el agua es un insumo indispensable en el proceso productivo minero. Su uso es más intensivo en la fase de producción, donde se combina con reactivos químicos como el mercurio, para separar el metal de la roca y así obtener el oro. En este sentido, la contaminación ambiental por mercurio se ha convertido en una problemática coyuntural, que representa un inmenso riesgo sobre la salud de la población, el equilibrio del ecosistema y sobre la sostenibilidad a mediano y a largo plazo de los procesos productivos si se tiene en cuenta que su forma gaseosa facilita su diseminación a grandes distancias (PNUMA 2014).

Los peces se consideran bioindicadores de contaminación mercurial debido a su fisiología, compartimento graso, hábito de alimentación y su posición en la red trófica. La concentración en estos organismos puede ser mayor al sustrato y el sedimento, por ello, el consumo de peces contaminados con Hg se constituye como la principal fuente de exposición a este metal (Marrugo *et al.* 2018a).

De acuerdo con la Encuesta Nacional de



Situación Nutricional (ENSIN 2010), solo el 26,9% de los colombianos consume pescados o mariscos semanalmente. Estos datos llevarían a pensar que es bajo el riesgo a la salud por consumo de pescado contaminado con metales pesados, de una población como la colombiana; sin embargo, el consumo de pescado en el país es regionalizado, presentando alto consumo en zonas donde la oferta o poder adquisitivo de otras fuentes proteicas es escaso, por ejemplo, en zonas ribereñas y costeras (MADR/FAO 2015). En este contexto, las comunidades asentadas en la región del Atrato, en donde existe evidencia de contaminación con Hg en peces (Mosquera-Lozano *et al.* 2005, IIAP 2014a, Murillo-Asprilla 2016, Palacios-Torres *et al.* 2018, Gutiérrez-Mosquera *et al.* 2018, Murillo-Asprilla 2019) se consideran vulnerable al consumo de pescado contaminado con metales pesados, entendiendo que históricamente el recurso íctico de esta cuenca, ha sido la principal proteína animal, consumiendo el pescado en ocasiones en las tres comidas diarias.

La honorable Corte Constitucional mediante la sentencia T-622 del 2016, reconoce al río Atrato, como sujeto de derechos, con miras a garantizar su conservación y protección; a pesar de esto y el esfuerzo de diferentes entidades territoriales e instituciones nacionales por proteger los ecosistemas hídricos de la cuenca, se sigue desarrollando sin control la actividad minera informal, por lo tanto, se cree que los niveles de bioacumulación en los peces de río Atrato estén aumentando drásticamente. El objetivo de esta investigación es evaluar las concentraciones de mercurio en peces presentes en una fuente hídrica sometida a disturbios mineros en el municipio de Río Quito. La estrategia es desarrollar el presente estudio para mostrar el estado actual de la contaminación de Hg en los peces del río Quito, y el posible riesgo de contaminación al que siguen expuesta las comunidades por la ingesta de consumo de pescado contaminado con mercurio. Se espera que

la información generada se utilice como soporte para dar celeridad a la aplicación y desarrollo de las órdenes contenidas en la sentencia T-622, además, de la toma de decisiones para el diseño de estrategias de restauración, biorremediación y la recuperación de las áreas con presencia del metal.

## Metodología

**Área de estudio.** Espacialmente la cuenca hidrográfica del río Quito se encuentra localizada en la parte central del departamento del Chocó, con un área de drenaje de 166.889,04 hectáreas (1.668,89 km<sup>2</sup>) y drena sus aguas al río Atrato a la altura de la cabecera municipal del municipio de Quibdó. Esta cuenca hidrográfica empieza a llamarse río Quito al momento de unirse las aguas de los ríos Cértegui y San Pablo a unos 4,5 km aguas debajo de la comunidad de Puerto Pervel (Figura 1). La red hidrográfica del río Quito es amplia; al afluente de Cértegui drenan las quebradas de Paredes, Ibordó y Guandandó; al afluente de San Pablo drenan las quebradas Suruco, río Raspadura, río Chigorodó, Rijoró, las quebradas Managrucito, Otó, Las Ánimas y río Taridó; luego de la unión de estos dos ríos (Cértegui y San Pablo) aparecen las quebradas Chigorodó, Jeguedó, Río Paimadó, Pató y las quebradas Caripató, Curundó y Tumadandó (Figura 1). La cuenca en su morfometría presenta un perímetro de 273 km y una longitud axial aproximada de 60 km; presenta elevaciones entre los 400 y 45 msnm, siendo la parte más alta la zona occidental en área del nacimiento del río Pató, cerca de la serranía del Baudó.

Según la división político-administrativa, en la cuenca del río Quito hacen presencia seis municipios, siendo el municipio de Río Quito donde se presenta mayor área 68.098,56 ha, correspondiente al 40,8%, seguido por los municipios de El Cantón de San Pablo (18,8%) y Cértegui (16,9%) (Tabla 1).

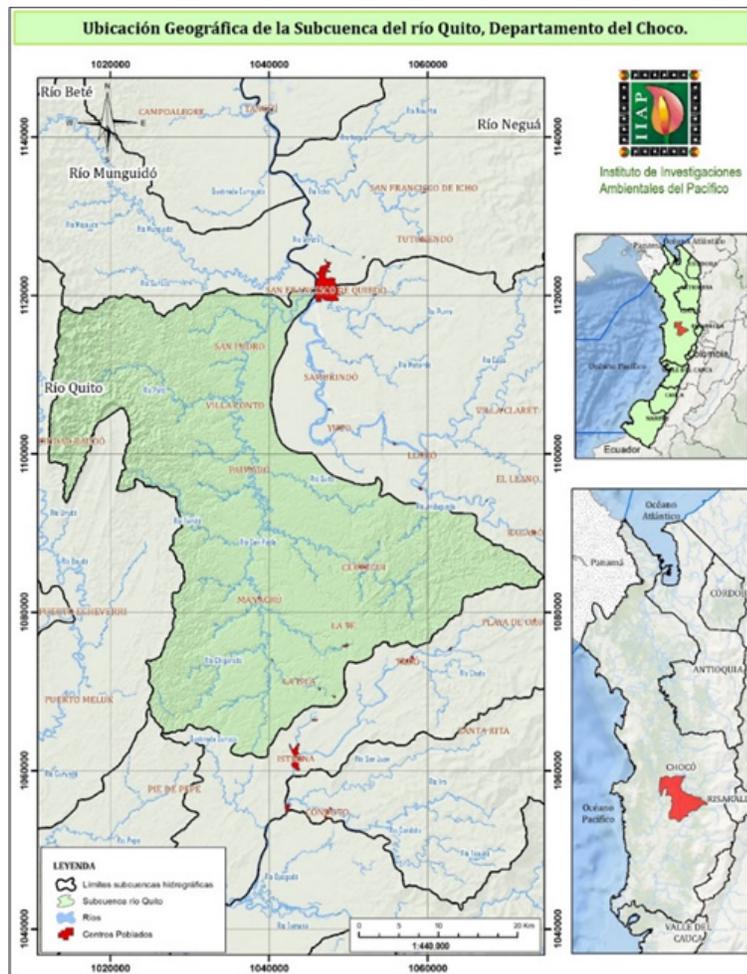


Figura 1. Contexto regional de la cuenca del río Quito.

Tabla 1. Relación superficial en hectáreas de los municipios presentes en la cuenca del río Quito

Ítem	Municipio	Área (ha)	%
1	Istmina	16.984,77	10,18
2	Cértegui	28.319,51	16,97
3	El Cantón de San Pablo	31.436,13	18,84
4	Río Quito	68.098,56	40,80
5	Atrato	7.320,87	4,39
6	Unión Panamericana	14.729,20	8,83
Total		166.889,04	100,00

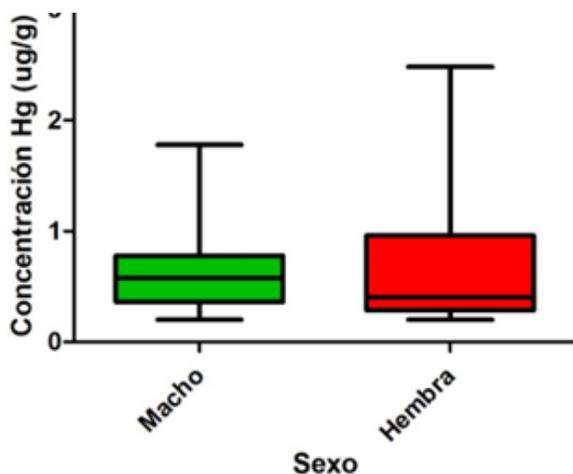


Figura 2. Concentración de mercurio de acuerdo con el sexo.

### Método

**Fase de campo.** Con la ayuda de los pescadores locales y empleando técnicas tradicionales de pesca (trasmallos, atarrayas, chinchorro, anzuelos, entre otros), se recolectaron las especies de peces continentales de mayor consumo en la comunidad de Río Quito. Los individuos fueron depositados en neveras con hielo para mantenerlos almacenados a  $-4^{\circ}\text{C}$  y se transportaron al laboratorio de agua del IIAP, en donde se le registró la longitud total (LT) con ayuda de una cinta métrica y el peso (W) a través de una balanza digital.

**Determinación taxonómica.** La determinación taxonómica de las especies se realizó a través de claves existente para la región (Regan 1913, Eigenmann *et al.* 1914, Eigenmann 1918, 1922, Dahl 1971, Maldonado-Ocampo *et al.* 2012). También se contó la participación del conocimiento de expertos en taxonomía íctica del Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico (IIAP 2014b). El listado se realizó, siguiendo a DoNascimento *et al.* (2021), quienes realizaron la revisión de las clasificaciones más actuales basadas en filogenias moleculares de los distintos grupos de peces.

**Identificación del nivel trófico de las especies.** La identificación del nivel trófico se realizó

con base en la información disponible sobre la conducta alimenticia de peces dulce acuícolas del Chocó Biogeográfico y regiones aledañas (Maldonado-Ocampo *et al.* 2006, 2008, 2012, García-Alzate *et al.* 2010, Ortega-Lara *et al.* 2011, Murillo-Asprilla 2019); para la definición y listado del grupo trófico específico, se contemplaron las categorías establecidas en Olaya-Nieto (2004) y Goulding *et al.* (1988).

### Determinación de los niveles de mercurio.

A cada espécimen se le tomó una submuestra de músculo de la parte dorsal de los peces, removida con la ayuda de un bisturí y un cuchillo de plástico (Figura 2). Los tejidos de músculos fueron introducidos en frascos de plásticos estériles previamente rotulados y almacenados a  $-20^{\circ}\text{C}$  (Murillo-Asprilla 2016, Palacios-Torres *et al.* 2018). Por último, fueron trasladadas al laboratorio del Grupo de Investigación en Gestión y Modelación Ambiental (GAIA), de la Universidad de Antioquia en la ciudad de Medellín, en donde se realizó el proceso de extracción del Hg en la matriz de tejido foliar y músculo de pez por medio de la digestión con microondas. La detección del mercurio se realizó con el método de absorción atómica en vapor en frío en un equipo Mercury Analyzer BUCH 410.

**Análisis estadístico.** Con la finalidad de evaluar el efecto de los factores fijos, especie, gremios, sexo, variables biométricas en cuanto a la variable concentración de mercurio, se realizaron análisis estadísticos utilizando Software Prisma (versión 6.0). Los datos fueron evaluados para determinar la bondad de cómo se ajustaban o no a una distribución normal; de igual forma se calcularon las medias de tendencia central (mediana y media) y de dispersión (error estándar y coeficiente de variación) de los datos. Las diferencias significativas entre los promedios/medias se determinaron de acuerdo con la prueba estadística: t-Student de Shapiro Wilk, empleando en cada caso un nivel de significancia de  $p < 0,05$ .

Tabla 2. Composición íctica encontrada en el río Quito

Órdenes	Familia	Nombre científico	Estado de amenaza	Nombre local
Characiformes	Anostomidae	<i>Megaleporinus muyscorum</i>	Vulnerable	Denton
	Prochilodontidae	<i>Prochilodus magdalenae</i>	Vulnerable	Bocachico
	Anostomidae	<i>Leporinus striatus</i>		Rojiso
	Characidae	<i>Astyanax</i> sp.		Sardina rabicolorada
Siluriformes	Auchenipteridae	<i>Ageneiosus pardalis</i>	Vulnerable	Doncella
	Pseudopimelodidae	<i>Pseudopimelodus schultzi</i>	Casi amenazada	Bagre sapo
	Pimelodidae	<i>Pimelodus punctatus</i>		Charre
		<i>Pimelodus</i> sp.		Gunguma
Loricariidae	<i>Chaetostoma</i> sp.		Guacuco	
Gymnotiformes	Sternopygidae	<i>Eigenmannia humboldtii</i>		Lela
	Sternopygidae	<i>Sternopygus aequilabiatus</i>		Beringo
Blenniiformes	Cichlidae	<i>Caquetaia kraussii</i>		Mojarra amarilla

## Resultados y discusión

**Composición íctica.** Se registraron en total 12 especies agrupadas en cuatro órdenes y 11 familias. Characiformes y Siluriformes son los dos órdenes de mayor abundancia en las cuencas del Chocó Biogeográfico (Maldonado-Ocampo *et al.* 2012). De las especies anotadas, cuatro (*Megaleporinus muyscorum*, *Prochilodus magdalenae*, *Ageneiosus pardalis* y *Pseudopimelodus schultzi*) se encuentran en alguna categoría de amenazas (Tabla 2).

**Gremio trófico y medidas biométricas.** Las especies registradas presentan formas diferentes de alimentarse, por lo tanto, se registraron cinco gremios tróficos: carnívora, omnívora, insectívora, herbívora y detritívora. La conducta omnívora con 67% es más importante entre los gremios registrados. En consecuencia, se aprecia que *Ageneiosus pardalis*, es carnívora (9%); *Prochilodus magdalenae* detritívora (8%); *Chaetostoma* sp. Herbívora (8%); *Eigenmannia humboldtii* insectívora (8%). Por su parte, *Pseudopimelodus schultzi*, *Megaleporinus muyscorum*, *Pimelodus punctatus*, *Pimelodus* sp., *Leporinus striatus*, *Astyanax* sp., *Sternopygus aequilabiatus*

y *Caquetaia kraussii*, son especies omnívora. De manera general se puede apreciar que las formas de alimentarse van desde las especies que no tienen preferencias por un recurso en particular, por lo que su alimentación puede variar según su condición lo requiera y debido a esto se puede decir que tiene un amplio espectro trófico. Del mismo modo, especies de carácter especialista, las cuales tienen una marcada preferencia por uno o unos pocos recursos y difícilmente puede variar de dieta, conductas que finalmente muestran la estrecha interacción en las especies de peces con otros grupos de animales y vegetales, y con su medio. Al respecto, autores como Torres-Rojas (2011) y Ramírez *et al.* (2013) manifiestan que estos comportamientos se deben a que los peces son un grupo altamente diversos y ocupan una gran amplitud de funciones en los sistemas que habitan, desde los consumidores primarios hasta carnívoros tope. Por su parte Sánchez *et al.* (2003), encontraron diferentes gremios tróficos (omnívoros, ictiófagos, herbívoro, detritívoros) en peces del río Yuca (Meta), argumentando que existe un patrón en cuanto a la relación entre los hábitos alimentarios de los peces y la morfología del tracto digestivo, siendo la forma del estómago

Tabla 3. Muestras valuadas, capturadas en la cuenca del río Quito

Nombre científico	Nombre local	LT (cm)	Peso (g)	Sexo	Conducta trófica
<i>Ageneiosus pardalis</i>	Doncella	52	1,401	M	Carnívora
<i>Ageneiosus pardalis</i>	Doncella	29	171	M	Carnívora
<i>Ageneiosus pardalis</i>	Doncella	30	220	M	Carnívora
<i>Astyanax</i> sp.	Sardina rabicolorada	14	39	M	Omnívora
<i>Astyanax</i> sp.	Sardina rabicolorada	12,5	19	H	Omnívora
<i>Astyanax</i> sp.	Sardina rabicolorada	13	26	H	Omnívora
<i>Caquetaia kraussii</i>	Mojarra amarilla	16	46	M	Omnívora
<i>Chaetostoma</i> sp.	Guacuco	14	10	h	Herbívora
<i>Chaetostoma</i> sp.	Guacuco	19	18	M	Herbívora
<i>Chaetostoma</i> sp.	Guacuco	26	18	M	Herbívora
<i>Eigenmannia humboldtii</i>	Lela	40	34	H	Insectívora
<i>Leporinus striatus</i>	Rojiso	14	24	M	Omnívora
<i>Leporinus striatus</i>	Rojiso	16	31	M	Omnívora
<i>Leporinus striatus</i>	Rojiso	16	30	M	Omnívora
<i>Megaleporinus muyscorum</i>	Denton	33	304	H	Omnívora
<i>Megaleporinus muyscorum</i>	Denton	36	285	M	Omnívora
<i>Megaleporinus muyscorum</i>	Denton	33	351	H	Omnívora
<i>Pimelodus punctatus</i>	Charre	38,5	42	M	Omnívora
<i>Pimelodus punctatus</i>	Charre	21	64	M	Omnívora
<i>Pimelodus punctatus</i>	Charre	23	78	M	Omnívora
<i>Pimelodus</i> sp.	Gunguma	23	65	H	Omnívora
<i>Pimelodus</i> sp.	Gunguma	26	108	M	Omnívora
<i>Pimelodus</i> sp.	Gunguma	22	52	H	Omnívora
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Bocachico	28	249	H	Detritívora
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Bocachico	30	314	M	Detritívora
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Bocachico	27	237	M	Detritívora
<i>Pseudopimelodus schultzi</i>	Bagre	34	489	M	Omnívora
<i>Pseudopimelodus schultzi</i>	Bagre	39	680	H	Omnívora
<i>Sternopygus aequilabiatus</i>	Beringo	47	147	M	Omnívora

y los dientes las estructuras que más se relacionan con cada grupo trófico.

Por otro lado, en el análisis de correlación de Spearman se observa que las variables peso y longitud total están correlacionadas (correlación de Spearman=0,3691; valor -p 0,05), donde se observa que a medida que la longitud aumenta el peso de los individuos también lo hacen. Los individuos de mayor biometría se observaron en las especies de *Pseudopimelodus schultzi*, *Mega-*

*leporinus muyscorum*, *Prochilodus magdalenae* y *Ageneiosus pardalis* (Tabla 2).

**Análisis de las concentraciones de mercurio total en peces.** Se evaluaron en total 29 muestras agrupadas en 12 especies ícticas de alta importancia de consumo y comercial (Tabla 3). Evidentemente todas las muestras contienen concentraciones importantes de mercurio total (Hg-T). En este contexto y, teniendo como base lo mencionado por Bradl (2005), quien sostiene

**Tabla 4. Concentración mínima, máxima y media de mercurio encontrada en el músculo de peces presente en el río Quito**

Especies	Unidades	n	Media	DE	Min	Max
<i>Ageneiosus pardalis</i>	Hg (µg/g)	3	1,33	0,4136	0,97	1,78
<i>Astyanax</i> sp.	Hg (µg/g)	3	0,29	0,09504	0,2	0,39
<i>Caquetaia kraussii</i>	Hg (µg/g)	1	0,74	0	0,74	0,74
<i>Chaetostoma</i> sp.	Hg (µg/g)	3	0,49	0,4937	0,2	1,06
<i>Eigenmannia humboldtii</i>	Hg (µg/g)	2	0,59	0,2687	0,4	0,78
<i>Leporinus striatus</i>	Hg (µg/g)	3	0,76	0,225	0,58	1,01
<i>Megaleporinus muyscorum</i>	Hg (µg/g)	3	0,31	0,04359	0,28	0,36
<i>Pimelodus punctatus</i>	Hg (µg/g)	3	0,36	0,1345	0,21	0,47
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Hg (µg/g)	3	0,50	0,04163	0,47	0,55
<i>Pseudopimelodus schultzi</i>	Hg (µg/g)	2	1,63	1,202	0,78	2,48
<i>Pimelodus</i> sp.	Hg (µg/g)	3	0,68	0,2658	0,4	0,93

que los metales pesados se encuentran naturalmente en el medio ambiente en cantidades mínimas y la mayoría de ellos son esenciales para el metabolismo normal de los peces, pero en altas concentraciones inducen toxicidad directa, se cree que la alta bioacumulación de mercurio en los peces en la cuenca del río Quito, siguen siendo producto de la inadecuada forma de extraer el oro, dando como resultado el incremento de mercurio en los tejidos musculares de los peces a través del tiempo. Cuando el mercurio entra en el ambiente acuático es distribuido en distintas matrices ambientales como el aire, suelo, agua y sedimentos, constituyéndose estos últimos en los principales depósitos, donde es fácilmente absorbible por organismos acuáticos especialmente los peces y con capacidad de biomagnificarse en la cadena alimenticia, alcanzando hasta el 95% del total de Hg en los peces y productos pesqueros (Kannan *et al.* 1998, Freije y Awadh 2009, Hajeb *et al.* 2010).

La presencia de este elemento en los peces se debe a la capacidad de los mismos, de acumular el metal, por su gran solubilidad en los lípidos, donde la concentración en estos organismos puede ser 10.000 mil a 100.000 mil veces mayor a la encontrada en el propio sustrato u otras matrices,

es por esto, que el consumo de peces contaminados con Hg se constituye como la principal fuente de exposición a este metal y como una amenaza para la salud de la población (PNUMA 2014), generando un riesgo elevado de aparición de efectos nocivos en la salud, producidos por la exposición crónica al Hg en quienes consumen el pescado potencialmente contaminado (Olivero y Johnson 2002), particularmente para niños y mujeres embarazadas (National Research Council 2000, Gorski *et al.* 2003, EFSA 2004, Dusček *et al.* 2005, Chaves 2016).

**Concentraciones de mercurio de acuerdo con las especies y sus gremios tróficos.** El análisis que se realizó a través de las comparaciones de especies carnívoras y no carnívoras, evidencia que las especies carnívoras presentaron niveles de Hg significativamente diferente en el tejido muscular respecto a las no carnívoras ( $p < 0,05$ ). Lo anterior evidencia que el hábito alimenticio de las especies es un factor determinante en la bioacumulación de mercurio, lo cual permite entender los resultados en *Pseudopimelodus schultzi* y *Ageneiosus pardalis* (Tabla 4), los cuales presentaron la mayor bioacumulación en relación con las especies restantes. Esto es consistente con los hallazgos de Palacios-Torres *et al.* (2018) y Murillo-Asprilla



(2019) en peces del río Atrato, donde los niveles altos de mercurio los contienen las especies de conducta carnívora (*H. malabaricus* 0,09-1,96, *A. pardalis* 0,17-2,50, *Pseudopimelodus schulzi* 1,19-2,94). Este resultado también concuerda con los reportados en diferentes investigaciones realizadas en Colombia (Ramos *et al.* 2000, Olivero y Johnson 2002, Cobaleda 2005, Marrugo *et al.* 2007, Álvarez 2013, Lancheros 2014) quienes encontraron las concentraciones de mercurio más altas en las especies que se ubican en la cúspide de la pirámide.

Un dato que llama la atención es el valor de la media en *Prochilodus magdalenae* (bocachico), debido a que muestra un valor aislado, si se tiene en cuenta el patrón de bioacumulación de Hg en esta especie, la cual, por su forma de alimentarse (detritívora) se considera una especie de poca bioacumulación mercurial. Diferentes autores han reportado concentraciones de Hg en bocachico disímil a lo encontrado en este estudio; en consecuencia, Marrugo *et al.* (2018b) reportó en el departamento de Bolívar, 0,15(μg/g) para el bocachico; Olivero *et al.* (2015), en el mismo departamento encontró en el bocachico 0,03 (μg/g). En Córdoba el bocachico reportó 0,11 (μg/g) (Ruiz *et al.* 2014), y 0,14 (μg/g) (Marrugo *et al.* 2010); en este mismo sentido, Murillo-Asprilla (2019), encontró 0,05 μg/g para la especie en mención, en ciénagas de la cuenca del río Atrato. Estas comparaciones evidencian la diferencia de niveles de mercurio en *P. magdalenae* en comparación con la presente investigación, la cual mostró una media de 0,50 (μg/g), un resultado muy diferente a lo que normalmente se espera. Ante esta situación, se hace necesario prestar una atención especial a la especie, máxime si se tiene en cuenta que es la de mayor importancia comercial y de consumo en la región del Atrato.

**Importancia de las variables biométricas y sexo en la concentración de mercurio en peces.** Los criterios de información consideran que la variable longitud total no tiene un aporte significativo

para describir el comportamiento de la concentración de mercurio, debido a que las variables peso y longitud total están correlacionadas (correlación de Spearman=0,3691; valor -p 0,05), donde se observa, que a medida que la longitud aumenta el peso de los individuos también lo hacen. Lo anterior sugiere que las dos variables no deben ser incluidas al mismo tiempo en el modelo, sino que se debe seleccionar la variable peso, la cual, para este estudio es la de mayor diferenciación entre los individuos. En consecuencia, en el análisis se indicó que el peso de los individuos tiene un efecto significativo (p<0,05) en la concentración de Hg, es decir, la concentración de mercurio aumenta con el tamaño y peso de los individuos.

Por otro lado, aunque se ha considerado que las hembras de peces debido al proceso de desove bioacumulan Hg-T en menor proporción que los machos; en la presente investigación las concentraciones de mercurio en machos y hembras no presentaron diferencia estadística significativa (p>0,05). Sin embargo, en la Figura 2, se percibe una leve y mayor bioacumulación en los ejemplares macho. Al respecto, se cree que numerosos factores, además del sexo, podrían influir el proceso de acumulación de Hg en los peces.

**Concentración de mercurio de acuerdo con la normativa nacional.** Se encontró que, del total de muestras analizadas, 48,3% exhibieron una concentración de Hg superior al 0,5 mg/kg permisible para el consumo humano (Figura 3), establecido en la Resolución N° 000122 de 2012 del Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia. Sin embargo, esta cifra aumenta al 86,7% al compararla con el 0,2 mg/kg fijado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y la Organización Mundial de la Salud (FAO/OMS) de permisibilidad al consumo de pescado con mercurio, contemplado para consumidores frecuentes, mujeres embarazadas, lactantes, y menores de 15 años. Solo 14% de los individuos mostraron niveles en límite de 0,2 mg/kg. En general las especies que

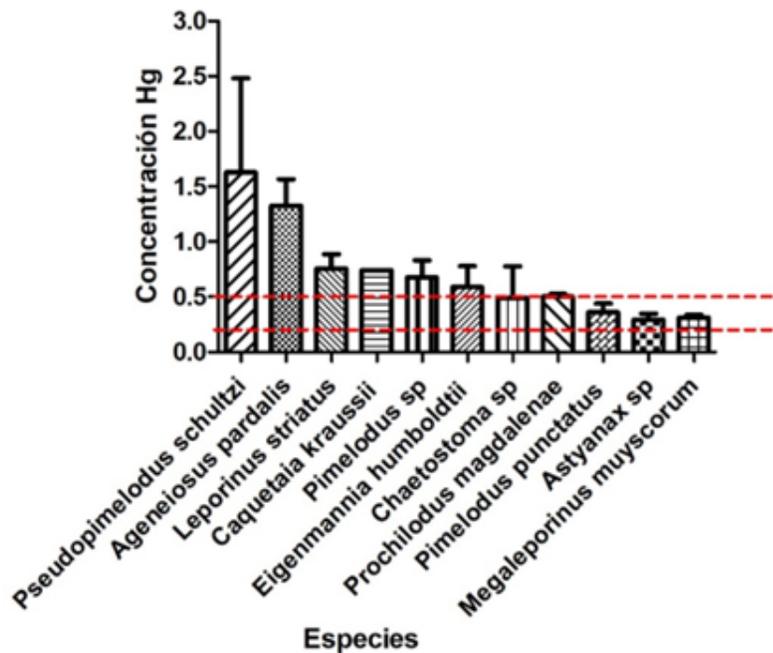


Figura 3. Concentración de mercurio en el músculo de los ejemplares capturados en el río Quito. Las líneas punteadas son el límite de consumo.

podrían generar mayor riesgo a la contaminación por ingesta son: *Pseudopimelodus schultzi*, *Ageneiosus pardalis*, *Caquetaia kraussii* y *Leporinus striatus*; sin embargo, para tener mayor claridad de este análisis es importante contemplar otras variables, así como mayor número de muestras.

### Conclusiones

Las especies de peces registradas presentan formas diferentes de alimentarse, por lo tanto, se identificaron varios tipos de conducta trófica registrando cinco gremios: carnívora, omnívora, insectívora, herbívora y detritívora.

En el río Atrato los peces presentan una constante exposición a sustancias contaminantes responsables del deterioro de los ecosistemas acuáticos, por tanto, y aunque en el presente estudio no se pretendió evaluar la capacidad de los peces como bioindicadores de contaminación, los resultados aquí presentados muestran la importancia de los peces como indicadores químicos de la contaminación por metales pesados en la

cuenca del Atrato, en donde se encontró que todas las muestras analizadas contienen mercurio en el tejido muscular. También se evidenció que la concentración de mercurio en los peces está determinada por diversos factores y no solo por la forma de alimentación, lo que sugiere que estos factores no se deben evaluar por separado, debido a la fuerte relación que existe entre las variables longitud, peso y sexo de las especies.

La presencia de mercurio en el tejido muscular de los peces colectados, indica que posiblemente existe contaminación mercurial en los diferentes compartimientos del río Atrato, la cual de no reemplazar o reducir el uso del mercurio en la actividad minera en este sector es posible que los peces y otras especies que habitan en este ecosistema experimenten constantemente un proceso de bioacumulación y biomagnificación a través del tiempo. Por lo tanto, es de carácter urgente sustituir el mercurio en la de recuperar el oro.

Sin duda los resultados de esta investigación ponen de manifiesto la gran problemática del mercurio en el río Quito, sin embargo, para alcanzar



conclusiones mucho más claras y contundentes respecto al aparente incremento del mercurio en el músculo de las especies, es pertinente incluir mayores variables biológicas y ambientales, que permitan concluir de manera más integral sobre lo que está sucediendo con el metal en esta cuenca. Se hace necesario entonces seguir avanzando en estudios que involucren los diferentes ciclos hídricos de cuenca, especies residentes y predadoras, variables fisicoquímicas, análisis de diferentes formas químicas del Hg, entre otros.

Los resultados arrojados en el bocachico sugieren de manera urgente, monitoreos permanentes de los niveles de mercurio, porque esta es la especie de mayor consumo en la región del Atrato.

Casi 50% de las especies de peces estudiadas están por encima de los límites establecidos por la OMS (2017) para el consumo humano (0,5 µg/g), lo que pone en riesgo la salud de los consumidores de este tipo de especies.

## Literatura citada

- Álvarez S. 2013. Acumulación de mercurio (Hg) en tejido muscular y hepático en especies ícticas en diferentes ciénagas del Magdalena medio. Medellín: Universidad de Antioquia, Corporación Académica Ambiental. Maestría en Ciencias Ambientales. 31 pp. <https://bit.ly/4639nnr>
- Bradl HB. 2005. Chapter I: Sources and origins of heavy metals. *Interface Science and Technology*. 6: 1-27. <https://bit.ly/47ijTsm>
- Chaves I. 2016. Metodologías analíticas utilizadas actualmente para la determinación de mercurio en músculo de pescado. *Rev Pensamiento Actual*. 16(26): 113-22. <https://bit.ly/3FG0o15>
- Cobaleda JA. 2005. Caracterización de la preparación y conocimiento de la publicación, acerca de los problemas de la salud humana con el uso y manejo de mercurio en la explotación de oro y el consumo de pescado proveniente de las fuentes hídricas, en el municipio de Caucasia, Antioquia. Protocolo del proyecto. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Dahl G. 1971. Los peces del norte de Colombia. Bogotá: Ministerio de Agricultura, Instituto de Desarrollo de los Recursos Naturales Renovables (INDERENA). 407 pp. <https://bit.ly/3MrIQto>
- DoNascimento C, Gregory JD, Albornoz Garzón JG, Méndez López A, Villa Navarro FA, Herrera Collazos EE, Agudelo Zamora H, Arce HM. 2021. Lista de especies de peces de agua dulce de Colombia. Bogotá: Asociación Colombiana de Ictiólogos. <https://bit.ly/3FIEEBu>
- Dus̃ek L, Svobodová Z, Janous̃ková D, Vykusová B, Jarkovský J, Šmíd R, Pavlis̃ P. 2005. Bioaccumulation of mercury in muscle of fish in the Elbe River (Czech Republic): multispecies monitoring study 1991-1996. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 61 (2): 256-67. <https://bit.ly/3SlvT89>
- Eigenmann CH, Henn AW, Wilson CH. 1914. New fishes from western Colombia, Ecuador, and Peru. *Indiana University Studies*. 19: 1-15. <https://bit.ly/3MqThxh>
- Eigenmann CH. 1918. The Pygidiidae, a family of South American catfishes. *Memoirs of the Carnegie Museum*. 7 (5): 259-398.
- Eigenmann C. 1922. Fishes of western South America. Part I. The fresh-water fishes of northwestern South America, including Colombia, Panamá, and the Pacific slopes of Ecuador and Perú, together with an appendix upon the fishes of the Rio Meta in Colombia. *Memoirs Carnegie Museum*. 9(9): 1-346. <https://bit.ly/49hPZpL>
- ENSIN. Encuesta Nacional de la Situación Nutricional en Colombia. 2010. <https://bit.ly/47gOdTZ> nutrición
- EFSA. European Food Safety Authority. 2004. Opinion of the Scientific Panel on Contaminants in the Food. <https://bit.ly/3sjNB16>
- Freije A, Awadh M. 2009. Total and methylmercury intake associated with fish consumption in Bahrain. *Water and Environment Journal* 23 (2):155-64. <https://bit.ly/3FHCFgX>
- García-Alzate CA, Román-Valencia C, Taphorn DC. 2010. A new species of Hyphessobrycon (Teleostei: Characiformes: Characidae) from the San Juan River drainage, Pacific versant of Colombia. *Zootaxa*. 2349: 55-64. <https://bit.ly/3Mp8YoD>
- Gorski PR, Cleckner LB, Hurley JP, Sierszen ME, Armstrong DE. 2003. Factors affecting enhanced mercury bioaccumulation in inland lakes of Isle Royale National Park, USA. *Sci Total Environ*. 304 (1-3): 327-348. <https://bit.ly/460DyMj>
- Goulding M, Carvalho ML, Ferreira EG. 1988. Río Negro, rich life poor water. Amazonian diversity and foodchain ecology as seen through fish communities. SPB Academic Publishing. 107 pp. <https://bit.ly/3tTiytk>
- Gutiérrez-Mosquera H, Sujitha SB, Jonathan MP, Sarkar SK, Medina-Mosquera F, Ayala-Mosquera H, *et al.* 2018. Mercury levels in human population from a mining district in Western Colombia. *Journal of Environmental Sciences*: 68, 83-90. <https://bit.ly/3QisZ1c>

- Hajeb P, Jinap S, Ahmad I. 2010. Biomagnifications of mercury and methylmercury in tuna and mackerel. *Environ Monit Assess.* 171: 205-17. <https://bit.ly/3u0heVG>
- Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico (IIAP). 2014a. Evaluación de la calidad fisicoquímica y ecológica del río Quito como herramienta de análisis de los impactos ocasionados por la minería y su importancia ecosistémica y sociocultural. Quibdó: IIAP. Informe técnico. Componente fauna íctica. 23 pp.
- Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico (IIAP). 2014b. Estudio de los efectos y perturbaciones fisicoquímica y biológica de fuentes hídricas presionadas por la actividad minera en el Distrito Minero del San Juan (Raspadura). Quibdó: IIAP. Informe técnico. Componente fauna íctica. 64 pp.
- Kannan KR, Smith Jr, Lee R, Windom H, Heitmuller P, Macauley J, *et al.* 1998. Distribution of total mercury and methyl mercury in water, sediment, and fish from South Florida estuaries. *Arch Environ Contam Toxicol.* 34 (2): 109-18. <https://bit.ly/3tTrdMm>
- Lancheros LJ. 2014. Contenido de mercurio en músculo de algunas especies ícticas de interés comercial presentes en ocho sitios de muestreo de la cuenca (baja, medio y alta) del río Magdalena. *Planeación Ambiental y Administración de los Recursos.* Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada. <https://bit.ly/3Qqa4RZ>
- MADR/FAO. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2015. Política Integral para el desarrollo de la pesca sostenible en Colombia. <https://bit.ly/3smcycj>
- Maldonado-Ocampo JA, Villa-Navarro FA, Ortega-Lara A, Prada-Pedrerros S, Jaramillo U, Claro A, *et al.* 2006. Peces del río Atrato, zona hidrogeográfica del Caribe, Colombia. *Biota Colombiana.* 7 (1): 143-54. <https://bit.ly/49kArS2>
- Maldonado-Ocampo JA, Vari RP, Usma JS. 2008. Checklist of the freshwater fishes of Colombia. *Biota Colombiana.* 9 (2): 143-237. <https://bit.ly/3tRi7jd>
- Maldonado-Ocampo JA, Usma Oviedo JS, Villa-Navarro FA, Ortega-Lara A, Prada-Pedrerros S, Jiménez LF. 2012. Peces dulceacuícolas del Chocó Biogeográfico de Colombia. WWF Colombia, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, Universidad del Tolima, Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá. 400 pp.
- Marrugo J, Lans E, Benítez L. 2007. Hallazgo de mercurio en peces de la ciénaga de Ayapel, Córdoba, Colombia. *Rev MVZ Córdoba.* 12 (1): 878-86.
- Marrugo J, Benítez LN, Olivero J, Lans E, Vázquez F. 2010. Spatial and seasonal mercury distribution in the Ayapel Marsh, Mojana region, Colombia. *Int J Environ Health Res.* 20 (6): 451-9. <https://bit.ly/45SJArO>
- Marrugo JL, Ruiz JA, Ruiz AC. 2018a. Biomagnification of mercury in fish from two gold mining-impacted tropical marshes in northern Colombia. *Arch Environ Contam Toxicol.* 74 (1): 121-30. doi: 10.1007/s00244-017-0459-9
- Marrugo JL, Ruiz JA, Ruiz AC. 2018b. Biomagnification of mercury in fish from two gold mining-impacted tropical marshes in northern Colombia. *Arch Environ Contam Toxicol.* 74 (1): 121-30. doi: <http://link.springer.com/10.1007/s00244-017>
- Mosquera-Lozano Y, Torres-Ibarguen A, Lozano-Largacha Y, Perea Mena B. 2005. Incidencia del mercurio por la explotación minera en algunas especies de peces en el río Condoto, Chocó, Colombia. En: *Memorias del VIII Simposio Colombiano de Ictiología.* ACICTIOS UTCH. Quibdó, Chocó, Colombia. 376 pp. <https://bit.ly/3SsYmsM>
- Murillo-Asprilla YD. 2016. Contenido de mercurio en músculo de algunas especies ícticas de consumo, presentes en el río Quito, sistema hídrico del río Atrato, Chocó, Colombia. *Bioetnia.* 13: 62-8. <https://bit.ly/49lp1gY>
- Murillo-Asprilla YD. 2019. Evaluación de mercurio en las cuatro especies de peces de mayor importancia en la cuenca del río Atrato. Tesis de maestría. Universidad de la Amazonia.
- National Research Council (NCR). 2000. Toxicological effects of methylmercury. Washington DC: National Academy Press. <https://bit.ly/473yf00>
- Olaya-Nieto CW. 2004. Hábitos alimenticios de la lista (*Leporinus Muyscorum* Steindachner 1901) en el río Sinú, Colombia.
- Ortega-Lara A, Milani N, DoNascimento C, Villa-Navarro F, Maldonado-Ocampo JA. 2011. Two new trans-Andean species of *Imparfinis* Eigenmann & Norris, 1900 (Siluriformes: Heptapteridae) from Colombia. *Neotropical Ichthyology.* 9: 777-93. <https://bit.ly/3u1d685>
- Olivero J, Johnson B. 2002. Contaminación con mercurio y salud pública en la costa atlántica colombiana. *Biomédica.* 22 (S1): 52-3.
- Olivero-Verbel J, Caballero-Gallardo K, Marrugo-Negrete J. 2011. Relationship between localization of gold mining areas and hair mercury levels in people from Bolivar, north of Colombia. *Biol Trace Elem Res.* 144 (1-3): 118-32. <https://bit.ly/3SrhMhv>
- Olivero-Verbel J, Caballero-Gallardo K, Turizo-Tapia A. 2015. Mercury in the gold mining district of San Martin de Loba, South of Bolivar (Colombia). *Environ Sci*



- Pollut Res Int. 22 (8): 5895-907. <https://bit.ly/3FGkdVY>
- OMS. 2018. El mercurio y la salud. Geneva: OMS. <https://bit.ly/47iPSso>
- Palacios-Torres Y, Caballero-Gallardo K, Olivero-Verbel J. 2018. Mercury pollution by gold mining in a global biodiversity hotspot, the Chocó Biogeographic region, Colombia. *Chemosphere*. 193: 421-30. <https://bit.ly/46Vqadn>
- Programa de Naciones Unidas Para el Medio Ambiente. PNUD. 2014. Convenio de Minamata sobre el Mercurio y su implementación en América Latina y el Caribe. Informe técnico <https://minamataconvention.org/>
- Ramos C, Estévez S, Giraldo E. 2000. Nivel de contaminación por metilmercurio en la región de la Mojana. Bogotá: Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de los Andes.
- Ramírez JP, Castañeda-Sam LS, Moncayo-Estrada R, Caraveo-Patiño J, Balart EF. 2013. Trophic ecology of the exotic Lerma livebearer *Poeciliopsis infans* (Cyprinodontiformes: Poeciliidae) in the Lago de Pátzcuaro, Central Mexico. *Revista de Biología Tropical*. 61 (3): 1289-300. <https://bit.ly/3MpMPGE>
- Regan CT. 1913. The fishes of the San Juan River, Colombia. *Annals and Magazine of Natural History (Ser. 8)*. 12: 462-73. <https://bit.ly/47cpznm>
- Ruiz JA, Marrugo JL, Díez S. 2014. Human exposure to mercury through fish consumption: risk assessment of riverside inhabitants of the Urrá reservoir, Colombia. *Hum Ecol Risk Assess: An Int J*. 20 (5): 1151-63. <https://bit.ly/3tYsK43>
- Sánchez RM, Galvis G, Victoriano P. 2003. Relación entre características del tracto digestivo y los hábitos alimenticios de especies del río Yucao, sistema del río Meta (Colombia). *Gayana (Concepc.)*. 67 (1): 75-86. <https://bit.ly/3QL08Em>
- Torres-Rojas YE. 2011. Nicho trófico de pelágicos mayores capturados en la boca del Golfo de California. Tesis doctoral, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Instituto Politécnico Nacional, La Paz, Baja California Sur, México. 185 pp. <https://bit.ly/3ssNmAN>