

Capítulo 3

Estado del arte de la concentración de mercurio en alimentos del norte de Colombia

Moisés Hernández¹
Karen de Hoyos

Resumen

El objetivo de esta revisión es hacer un análisis de la problemática creciente de la contaminación por Mercurio en la región norte de Colombia; el mercurio (Hg) es uno de los contaminantes más estudiados por su alta toxicidad y gran impacto sobre el ambiente y las personas; la contaminación por este metal pesado está altamente relacionada con la minería del oro, debido a que se requiere del mercurio para amalgamar el metal precioso y facilitar su extracción. En Colombia, la principal zona de explotación aurífera se encuentra entre el noreste de Antioquia y el sur del departamento de Bolívar con más de 12.400 minas en explotación, para el año 2002 la cantidad de mercurio emitida no había sido calculada con exactitud, pero se estimaba entre 80-100 toneladas al año. El área con mayores reportes es el sur del departamento de Bolívar, allí se ha estudiado la concentración de mercurio en sedimentos, agua, peces y humanos; seguida de la subregión de la Mojana, siendo en esta última escaso el conocimiento que se tiene de la problemática. En las dos últimas décadas el uso creciente de este metal ha generado un aumento significativo de la contaminación ambiental, en agua y alimentos, y la incidente intoxicación en humanos. Los principales alimentos reportados son los pescados, *Hoplias malabaricus*, *Pseudoplatystoma fasciatum*, *Prochilodus magdalenae*, *Triportheus magdalenae*; y

¹ Ingeniero Agroindustrial, Docente CECAR, Candidato a Ms.C en Ciencias Ambientales, SUE – Caribe sede Universidad de Sucre.

recientemente han reportado mercurio en frutas, aves de corral, cerdo y carne e hígado de ganado vacuno.

Palabras clave: Mercurio, Alimentos, Contaminación.

Introducción

Los metales pesados son un problema creciente de contaminación ambiental a nivel mundial, pues a diferencia de los compuestos orgánicos, estos no pueden ser biodegradados, razón por lo que las concentraciones en los compartimientos ambientales aumentan continuamente (Islam, 2007). Uno de los contaminantes más estudiados por su alta toxicidad y gran impacto sobre el ambiente y la humanidad es el mercurio, el cual está relacionado con alteraciones en el sistema nervioso central (SNC), riñones (nefrotoxicidad), pulmones (asociado con neumonitis intersticial) y daños hepáticos, especialmente cuando hay exposición a formas orgánicas como metilmercurio (MeHg), la cual es una sustancia altamente neurotóxica y que ha sido listada por la International Program of Chemical Safety (IPCS) como una de las seis sustancias químicas más nocivas para el medio ambiente (Who, 1990; Telmer Y Veiga, 2008). Este documento pretende brindar una visión general del estado del conocimiento acerca del mercurio, en el norte de Colombia, como elemento contaminante de la biota así como la concentración de este metal pesado en alimentos, principalmente peces.

Características fisicoquímicas del mercurio

Los metales pesados son aquellos elementos químicos que presentan una densidad igual o superior a 5 g cm^{-3} cuando están en forma elemental, o cuyo número atómico es superior a 20 (excluyendo a los metales alcalinos y alcalinotérreos) (Navarro *et al.*, 2007). Estos metales son un problema creciente de contaminación ambiental a nivel mundial (Vidal *et al.*, 2010), y los daños que causan son tan severos y en ocasiones tan ausentes de síntomas, que las preocupaciones sobre la toxicidad y la salud humana han crecido debido al riesgo de Hg que se encuentra depositado en eco- sistemas y de manera bioacumulado como MeHg en el pescado, esto ha generado esfuerzos para regular las emisiones antropogénicas de ese elemento (Mergler *et al.*, 2007). Dentro de este grupo los principales contaminantes ambientales son el cadmio, el plomo y el mercurio, siendo

este último considerado como uno de los metales pesados de mayor toxicidad (Mancera Y Álvarez, 2006).

El mercurio es un componente natural de la corteza terrestre con un contenido medio de 0,05 mg/Kg, presentando variaciones locales muy significativas. En su estado elemental, es un metal líquido a temperatura ambiente, de color blanco plateado, junto con el cadmio y zinc se ubica en el grupo IIb de la tabla periódica, su estructura cortical externa es 5d¹⁰, 6s² (Academia Nacional De Medicina De Colombia, 2006). Presenta una presión de vapor de 0.00212 mm de Hg, lo cual lo hace volátil y fácilmente distribuable a nivel atmosférico. Este metal posee una alta densidad (13,456 g/ml) y es poco soluble en agua, trayendo como consecuencia su acumulación en los sedimentos de los ecosistemas acuáticos. Las solubilidades de los compuestos de metilmercurio (CH₃Hg⁺) en agua varían en gran proporción y dependen de la naturaleza del anión. Si el anión es nitrato o sulfato, la tendencia del compuesto es a ser iónico, es decir se comporta como una sal, presentando una alta solubilidad en agua (Luna, 2007).

A nivel ambiental el mercurio existe en varias formas químicas: mercurio elemental, Hg⁰ (conocido coloquialmente como azogue); mercurio monovalente: ion mercurioso o mercurio (I), (Hg-Hg); mercurio divalente: ion mercúrico o mercurio (II), Hg y las formas orgánicas. Estas últimas son compuestos organometálicos en los cuales el mercurio está unido covalentemente a uno o dos átomos de carbono para formar compuestos del tipo RHgX y RHgR', respectivamente. Donde R y R' son grupos orgánicos, siendo algunos de los compuestos más comunes las sales de metilmercurio (CH₃HgX), fenilmercurio (CH₆Hg₃X), metoxietilmercurio (CH₃OC₂H₄HgX) y el dimetilmercurio (CH₃)₂Hg. Entre las propiedades químicas más importantes que caracterizan a las especies de mercurio II o Hg²⁺ y las alquilmercúricas RHg⁺ se encuentra su alta afinidad por los grupos sulfihídricos de las proteínas para dar complejos muy estables (EPA, 1997; Olivero Y Johnson 2002).

El mercurio en el ambiente

El mercurio, cuya raíz etimológica proviene del latín hydrargyrum, es el único metal líquido a presión y temperatura ambiente, tiene una densidad de 13,546 Gr/ml a 293°K y una presión de vapor a la misma temperatura de 1,22 x 10⁻³ mm-Hg (ALVAREZ y ROJAS, 2006). Este elemento se encuentra

presente en el medio ambiente debido a fenómenos naturales o antrópicos, lo que ha permitido su acumulación en la biota, afectando los ecosistemas y la salud del hombre (Falandysz, 2002; Tarras-Wahlberg et al., 2001; Satoh, 2000; Shenker et al., 1998; citados por Olivero Y Jhonson, 2002). Según Clarkson (2002), la principal fuente natural de mercurio la constituyen los volcanes (Molina, Arango Y Serna, 2003), seguida de por la liberación del elemento desde rocas y suelos por meteorización, evaporación o incendios forestales (Pnuma, 2002, Alvarez Y Rojas 2006); por causas antropogenicas una de las principales fuentes es el uso del mercurio en el proceso del beneficio del oro (Malm, 1998; Pacina, Pacina Y Steenhuisen, 2006; Olivero Y Jhonson, 2002), asimismo Fitzgerald (1989) señalan que el aporte antropogenico esta seguido de la combustión de desechos sólidos, el consumo de combustibles fósiles y algunos procesos de otros metales en la actualidad el mercurio, como contaminante ambiental, posee tres aspectos importantes para su análisis toxicológico: riesgo por consumo de pescado, amalgamas dentales y etilmercurio en forma timerosal, molécula antiséptica ampliamente utilizada en vacunas.

Adicionalmente, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente –Pnuma (2010) identificó las fuentes antropogénicas de emisión de Hg, entre las cuales se destacan las siguientes:

- Producción y uso de combustibles/fuentes de energía.
- Producción de metales y metales reciclados.
- Producción de materias primas y productos químicos.
- Procesos y producción de productos de consumo con uso intencional de Hg; uso y disposición de productos y sustancias con contenido de Hg.
- Disposición de residuos rellenos sanitarios y tratamiento de aguas residuales.
- Incineración de residuos, hornos crematorios y cementerios

Mercurio en el mundo y Colombia

El mercurio fue la primera sustancia en recibir reconocimiento mundial como contaminante ambiental, después de que grandes cantidades de mercurio inorgánico fueron vertidas a la bahía de Minamata – Japón,

por una fábrica de cloruro de vinilo. Se estima que la fabrica desecho 220 toneladas de mercurio inorgánico entre 1949 y 1953 (Osame Y Takizawa, 2001). Posterior a este depósito el mercurio fue transformado a metilmercurio (MeHg), acumulándose en peces y mariscos, que fueron consumidos por pescadores locales y sus familias, al poco tiempo 121 personas resultaron intoxicadas y 46 murieron (Eto, 2000; Kondo, 2000; Olivero Y Jhonson, 2002).

Otro caso reportado por intoxicación masiva le sucedió a 6530 personas de Irak, entre las cuales 459 fallecieron en el lapso de dos meses. Este nefasto hecho ocurrió al consumir alimentos elaborados con granos de cereales importados que habían sido tratados con metilmercurio como fungicida, (Elhassani, 1982).

En España, la comarca de Almaden, considerada como la productora de la tercera parte del mercurio consumida por las personas en el mundo, se estimada que se han extraído cerca de $2,5875 \times 10^8$ kilogramos del metal líquido. En la actualidad la cantidad producida por Almaden es dos veces y media superior a la producción de la mina Idria, segunda mina de extracción de mercurio del mundo, y casi cuatro veces superior a la de Monte Amiata, considerada como la tercera mina más grande, las dos minas mencionadas están agotadas, Almaden sigue siendo considerada reserva de mercurio mundial (Luna, 2007).

En América Latina, principalmente en los suelos amazónicos, la existencia de mercurio se atribuye al empleo de este en la amalgamación de oro y plata, producto del envío desde Almaden. Osame Y Takiwaza (2001) estiman que fueron lanzados al ambiente doscientas mil toneladas de mercurio entre 1550 y 1880, asimismo Nriagu et al., (1992) refiere que debido al incremento en la explotación del oro en 1980 se estima que 2000 toneladas de mercurio fueron dispersadas en la Amazonía, durante la misma década, Brasil fue considerado como el primer país productor de Oro en Suramérica, con una producción anual entre 100 y 200 toneladas de oro, de las cuales entre un 70% y un 90% de la producción de oro provinieron de la extracción artesanal (Luna, 2007).

En la región norte de Colombia se estima una incidencia de contaminación con mercurio (Hg) de 50-100 ton/año, la cual está mayormente asociada a la extracción y amalgamación de oro (Marrugo *et*

al., 2008), asociada principalmente a la minería aurífera, de la cual según el censo minero de 2010 se estima que en Colombia hay 14.357 Unidades de Producción Minera -UPM- (Minminas, 2012), de las cuales 4.133 se dedican a la explotación de oro, y de estas 3.584 no tienen título minero. Existen 1.596 UPM en Antioquia, 967 en Bolívar y 33 en Córdoba, sobre este hecho, para el año 2009 se liberaron aproximadamente 345.570 kg de Hg, de los cuales 151.650 kg al suelo; 74.420 kg al aire; 45.400 por tratamiento o disposición; 31.260 kg al agua; 28.190 kg como subproductos o impurezas y 14.650 kg en residuos generales (Gdcon, 2010).

En el desarrollo de los procesos anteriores, se genera el derramamiento directo de grandes cantidades de mercurio a suelos, ríos y en cuerpos de agua como ciénagas y lagunas (Vidal *et al.*, 2010). La volatilización del mercurio usualmente se realiza a campo abierto liberando este contaminante directamente a la atmósfera; además estos procesos son realizados muy cerca de las viviendas de los mineros, de tal forma que las familias respiran gran parte del vapor de mercurio e ingieren alimentos y agua con concentraciones perjudiciales para la salud (Olivero Y Jhonson 2002).

En Colombia, el Instituto Nacional de Salud (2015) reporta zonas con presencia de mercurio, tales como:

- El bajo Cauca y Norte de Antioquia (Remedios, Segovia, Bagre, Zaragoza, Cáceres, Caucasia)
- Sur de Bolívar (San Pablo, San Martín de Loba)
- Sur de Córdoba (Monte Líbano, Ayapel)
- En menor proporción en las zonas de Vetas y California en Santander, el Tambo y Suarez en el departamento del Cauca, en la zona del Occidente de Nariño (Distrito la Llanada, Guachavez, Sotomayor, Samaniego, Barbacoas), en Ginebra y Zaragoza en el Valle del Cauca.
- La Depresión Momposina, la Mojana sucreña, las desembocaduras de ríos Patía, SanJuan y Atrato,
- El sector de Mamonal en Cartagena por una planta de cloroálcali, en el corregimiento de Samaria del municipio de Filadelfia (Caldas) una mina clausurada de Hg y en La Calera (Cundinamarca) en una planta de cemento clausurada.

Mercurio en alimentos del norte de Colombia

En la región norte de Colombia, Marrugo *et al.*, (2010); Olivero Y Jhonson (2002); Olivero *et al.*, (2004); Marrugo *et al.*, (2007); Marrugo *et al.*, (2010) han reportado de contaminación con Hg en peces provenientes de zonas dedicadas a la minería de oro. El estudio de Olivero Y Solano (1998) señala que la concentración de mercurio en varias especies de peces depende de que tan alta se encuentre ésta en la cadena alimenticia y de sus hábitos alimenticios; ante ello, en especies iliófagas como el Bocachico (*Prochilodus magdalenae*) las concentraciones de mercurio establecidas son menores, en comparación con especies más altas en la cadena trófica (carnívoras) como el Moncholo (*Hoplias malabaricus*) y Bagre Pintao (*Pseudoplatystoma fasciatum*). Asimismo, Olivero *et al.* (1997), encontraron en peces del Canal del Dique, similares resultados al comparar la acumulación de mercurio en Arenca (*Triporthus magdalenae*), Bagre Pintao (*Pseudoplatystoma fasciatum*), Bocachico (*Prochilodus magdalenae*) y Barbudo negro (*Rhamdia sebae*), con ello se corrobora lo indicado anteriormente. Adicionalmente, el estudio señala que la mayor concentración de mercurio total la presentó la arenca *T. magdalenae*, que es una especie con hábitos detritívoros-zooplancónicos, al igual que el Viejito (*Curimata magdalenae*), Si bien la alta concentración de mercurio no supero los límites permisibles, los investigadores sugieren a estas especies como indicadores de la contaminación de mercurio, debido al transporte de este metal en los sedimentos que llegan al Canal del Dique y que constituyen el alimento de las especies anteriormente mencionadas.

Olivero *et al.* (1998), encontraron concentraciones bajas en la Ciénaga de Simití, los valores reportados están el orden de 0,25 µg/g, asimismo determinaron que sí existe una diferencia evidente en la acumulación de mercurio entre las especies carnívoras y las fitoplanctónicas, lo cual sugiere que en esta ciénaga el mercurio está siendo biomagnificado en la cadena trófica. En la misma investigación, en la Ciénaga Grande de Achí (río Cauca), Olivero *et al.* (1998), encontraron que las especies ubicadas en los eslabones más altos de la cadena trófica como la Doncella (*Ageneiosus caucanus*), la Mojarra Amarilla (*Caquetaia kraussii*) y el Moncholo (*Hoplias malabaricus*) presentan las concentraciones de mercurio más altas, superando los límites permisibles internacionalmente de la Organización Mundial de la Salud (0,5 µg/g), para el consumo de peces (Who, 1991), llegando a 1,236 µg/g

de mercurio en la Doncella. Cabe destacar que también se establecieron diferencias estadísticamente significativas entre estas especies en distintos períodos climáticos (época de más lluvias y de menos lluvias), siendo mayores durante los más secos. Asimismo, los investigadores determinaron que el consumo de pescado de la Ciénaga de Achí representa un alto riesgo de contaminación por mercurio para los pescadores y sus familias, que tienen como fuente única de proteína los peces de este ecosistema.

Por su parte, en la Ciénaga de Capote en el municipio de Soplaviento (Bolívar, Colombia), se encontraron las concentraciones más bajas de los tres sitios estudiados, lo cual coincide con ser el sitio de referencia o estación blanco por estar ubicada aproximadamente a 290 km de las minas de oro, lo cual explica que la distribución espacial de la concentración de metales en peces está directamente relacionada a la unión entre estos cuerpos de agua y las minas de oro, evidenciando que los procesos de biomagnificación tienen lugar a lo largo de la cadena trófica. Se observó que *Prochilodus magdalenae*, especie de mayor importancia económica, presenta niveles bajos de acumulación, por lo que su consumo representa un riesgo bajo. Olivero Y Johnson (2002), destacan que se detectaron en el sur de Bolívar concentraciones bajas de mercurio en los peces fitoplanctónicos en un rango de 0,015-0,110 $\mu\text{g/g}$ de mercurio (promedio de 0,045 $\mu\text{g Hg/g}$), seguido por los peces detritívoros en un rango de 0,013-0,550 $\mu\text{g/g}$ de mercurio (promedio de 0,12 $\mu\text{g Hg/g}$). Las concentraciones más altas fueron observadas en peces carnívoros en un rango de 0,030- 1,060 $\mu\text{g/g}$ de mercurio (promedio de 0,24 $\mu\text{g Hg/g}$).

Debido a las interconexiones hídricas de la Mojana con los ríos Cauca, San Jorge y Magdalena, la contaminación por mercurio en esta subregión, está explotación de oro ubicada a las márgenes de estos ríos. Olivero Y Jhonson (2002) señalan que la explotación aurífera ubicada en la zona nororiental del departamento de Antioquia y del sur de Bolívar permiten que el metal líquido se incorpore al ecosistema hídrico por deposición atmosférica, luego de la combustión con amalgama oro-mercurio y por la descarga directa de los desechos de la explotación artesanal de oro.

A continuación, y atendiendo a Mancera Y Álvarez (2006), en la tabla 1 se presentan las concentraciones de mercurio en peces del norte de Colombia.

Tabla 1
Contenido de mercurio en peces del norte de Colombia

Peces	Cuenca	Mercurio	Fuentes
Prochilus magdalenae	Mina Santa Cruz (Bolívar)	11 -129 µ/Kg	Olivero y Solano (1998)
	Cuatro Bocas	0,9 - 2,5 µ/g	Ramírez (1993)
	Ciénaga de Lorica	> 0,3 - 0,7 µ/g	Ramírez (1993)
	Ciénagas del bajo magdalena	< 0,2 µ/g	Olivero y Jhonson (2002a)
	Ciénaga Grande de Achí	> 0,2 µ/g	Olivero y Jhonson (2002)
	Río San Jorge (Caimito - Sucre)	< 0,10 µ/g	Paz (2000)
	Ciénaga de Caimito - Sucre	0,076 µ/g	Olivero y Jhonson (2002)
	Ciénaga de Ayapel	0.130±0.056 µg/g	Marrugo, Lans y Benítez (2007)
	Ciénaga grande (Río Cauca)	0,019 - 0,226 µ/g	Olivero et al. (1998)
	Ciénaga de Simití (río magdalena)	nd - 0,194 µ/g	Olivero et al. (1998)
	Ciénaga de Ayapel	0,151 µ/g	Marrugo, Gracia y Albis (2010)
	Región Mojana	0.106 ± 0.057 µ/g	Marrugo et al. (2008)
	Ciénaga de Capote (Río Magdalena)	nd - 0,045 µ/g	Olivero et al. (1998)

Peces	Cuenca	Mercurio	Fuentes
Hoplias malabaricus	Río Caribona - Río Cauca	> 0,5 µ/g	Olivero et al. (2001)
	Mina Santa Cruz (Bolívar)	322 µ/g	Olivero y Solano (1998)
	Ciénaga de San Marcos	< 0,3 - 2,1 µ/g	Ramírez (1993)
	Ciénaga de Ayapel	< 0,3 - 1,3 µ/g	Ramírez (1993)
	Ciénaga Grande de Achí	0,740 - 1,122 µ/g	Olivero y Jhonson (2002) Olivero et al. (1998)
	Ciénagas del bajo magdalena	hasta 1,0 µ/g	Olivero y Jhonson (2002a)
	Río San Jorge (Caimito - Sucre)	0,297 µ/g	Olivero y Jhonson (2002)
	Ciénaga de Ayapel	0,457 µ/g	Marrugo, Gracia y Albis (2010)
	Ciénaga de Simití	0,081 - 0,391 µ/g	Olivero et al. (1998)
	Ciénaga de Ayapel	0.315±0.110 µ/g	Marrugo, Lans y Benítez (2007)
	Región Mojana	0.278 ± 0.155 µ/g	Marrugo y Olivero (2008)
	Ciénaga de Capote	0,052 - 0,119 µ/g	Olivero et al. (1998)
Leporinus muyscoruma	Ciénaga de Ayapel	0,222 ± 0,030 µ/g	Marrugo, Gracia y Albis (2010)
	Región Mojana	0.341 ± 0.106 µ/g	Marrugo y Olivero (2008)
	Ciénaga de Ayapel	0.261±0.104 µ/g	Marrugo, Lans y Benítez (2007)
	Río Caribona-Río Cauca	>0,50 µ/g	Olivero et al. (2001)

Peces	Cuenca	Mercurio	Fuentes
Ageneiosus caucanus	Ciénaga Grande de Achí	0,231-1,236 µg/g	Olivero y Johnson (2002a, 2002b)
	Río San Jorge (Caimito - Sucre)	0,381 µg/g	Olivero y Johnson (2002)
	Región Mojana	0.512 ± 0.158 µ/g	Marrugo et al. (2008)
	Ciénaga de Ayapel	0.504±0.103 µg/g	Marrugo, Lans y Benítez (2007)
	Ciénaga de Capote (Río Magdalena)	0,045-0,107 µg/g	Olivero et al. (1998)
	Mina Santa Cruz (Bolívar)	nd-221 µg/Kg	Olivero y Solano (1998)
Curimata magdalenae	Río Caribona-Río Cauca	0,23 a 0,50 µg/g	Olivero et al. (2001)
	Río San Jorge	0,4-0,9 µg/g	Ramírez (1993)
	Región Mojana	0.092 ± 0.039 µ/g	Marrugo et al. (2008)
	Ciénaga Grande (río Cauca)	0,082-0,240 µg/g	Olivero et al. (1998)
	Región Mojana	0.186 ± 0.025 µ/g	Marrugo et al. (2008)
Curimata mivartii	Mina Santa Cruz (Bolívar)	31-38 µg/Kg	Olivero y Solano (1998)
	Ciénaga Grande (río Cauca)	0,017-0,195 µg/g	Olivero et al. (1998)

Peces	Cuenca	Mercurio	Fuentes
Triportheus magdalenae	Río Caribona-Río Cauca	0,23 a 0,50 µg/g	Olivero et al. (2001)
	Mina Santa Cruz (Bolívar)	37-180 µg/Kg	Olivero y Solano (1998)
	Canal del Dique	26-219 µg/Kg	Olivero et al. (1997)
	Región Mojana	0.341 ± 0.106 µ/g	Marrugo et al. (2008)
	Ciénaga Grande (río Cauca)	0,044-0,766 µg/g	Olivero et al. (1998)
	Ciénaga de Capote (Río Magdalena)	0,030-0,135 µg/g	Olivero et al. (1998)
	Canal del Dique	17-129 µg/Kg	Olivero et al. (1997)
Pseudoplatystoma fasciatum	Ciénagas del bajo Magdalena	hasta 1,0 µg/g	Olivero y Johnson (2002a)
	Ciénaga de Simití (Río Magdalena)	0,065-0,180 µg/g	Olivero et al. (1998)
	Ciénaga de Ayapel	0,51 ± 0,075 µg/g	Marrugo, Gracia y Albis (2010)
	Región Mojana	0.413 ± 0.085 µ/g	Marrugo et al. (2008)
	Ciénaga de Ayapel	0.423±0.113 µg/g	Marrugo, Lans y Benítez (2007)
	Ciénaga de Capote (Río Magdalena)	0,060-0,110 µg/g	Olivero et al. (1998)
	Región Mojana	0.395 ± 0.217 µ/g	Marrugo et al. (2008)
Rhamdia sebae	Canal del Dique	9-102 µg/Kg	Olivero et al. (1997)
	Mina Santa Cruz (Bolívar)	29-50 µg/kg	Olivero y Solano (1998)
Aequidies pulcher	Ciénagas del bajo Magdalena	hasta 1,0 µg/g	Olivero y Johnson (2002a)

Peces	Cuenca	Mercurio	Fuentes
	Río San Jorge (Caimito - Sucre)	0,315 µg/g	Olivero y Johnson (2002b)
	Región Mojana	0.390 ± 0.203 µ/g	Marrugo et al. (2008)
	Río Caribona-Río Cauca	>0,50 µg/g	Olivero et al. (2001)
	Mina Santa Cruz	40-230 µg/g	Olivero y Solano (1998)
Caquetaia kraussii	Ciénaga Grande de Achí	0,359-1,057 µg/g	Olivero et al. (1998), Olivero y Johnson (2002b)
	Ciénaga de Ayapel	0.401±0.109 µg/g	Marrugo, Lans y Benitez (2007)
	Ciénaga de Simití (Río Magdalena)	0,065-0,180 µg/g	Olivero et al. (1998)
	Ciénaga de Capote (Río Magdalena)	0,060-0,110 µg/g	Olivero et al. (1998)
	Mina Santa Cruz	195 µg/kg	Olivero y Solano (1998)
Plagioscion magdalenae	Ciénaga de Capote (Río Magdalena)	0,037-0,187 µg/g	Olivero et al. (1998)
Plagioscion magdalenae	Río San Jorge (Caimito - Sucre)	0,311 µg/g	Olivero y Johnson (2002b)
	Ciénaga de Simití (Río Magdalena)	0,118-0,292 µg/g	Olivero et al. (1998)

Peces	Cuenca	Mercurio	Fuentes
Sorubín <i>cuspicaudus</i>	Ciénaga de Ayapel	0.330±0.070 µg/g	Marrugo, Lans y Benítez (2007)
	Ciénaga de Capote (Río Magdalena)	0,059-0,112 µg/g	Olivero et al. (1998)
	Región Mojana	0.465 ± 0.091 µ/g	Marrugo et al. (2008)
	Ciénaga de Ayapel	0,743 ± 0,197 µg/g	Marrugo, Gracia y Albis (2010)
	Río San Jorge (Caimito - Sucre)	0,363 µg/g	Olivero y Johnson (2002b)
	Ciénaga Grande (río Cauca)	0,046-0,241 µg/g	Olivero et al. (1998)
Pimelodus clarias	Ciénaga de Simití	0,027-0,097 µg/g	Olivero et al. (1998)
	Ciénaga de Capote (Río Magdalena)	0,017-0,121 µg/g	Olivero et al. (1998)
Petenia kraussi	Ciénaga de Ayapel	0,283 ± 0,01 µg/g	Marrugo, Gracia y Albis (2010)
	Ciénaga de Ayapel	0,684 ± 0,199 µg/g	Marrugo, Gracia y Albis (2010)
Plagioscion surinamensis	Ciénaga de Ayapel	0.277±0.132 µg/g	Marrugo, Lans y Benítez (2007)
	Región Mojana	0.307 ± 0.126 µ/g	Marrugo et al. (2008)

Fuente: Mancera y Ricardo (2006) y los autores con base a artículos publicados.

El estudio adelantado por SAUMETH (2010), en Mina Santa Cruz (corregimiento de Barranco Loba – Bolívar), reporta concentraciones de mercurio en las frutas: Naranja (NC), Guayaba (*Psidium guajava*) y Almendro (*Terminalia cattapa*), si bien las concentraciones reportadas no tienen establecido un límite mínimo permisible, el hecho que se encuentre mercurio en dichos alimentos representa un riesgo a la salud humana en cuanto a la particularidad del mercurio para bioacumularse hasta alcanzar niveles críticos y afectar a la población humana, (Ver tabla 2). García Y Dorronsoró (2005) señalan que todos los frutos pueden concentrar mercurio, debido a la absorción por las plantas, lo que genera otra fuente

de exposición indirecta a los seres humanos, acrecentando el proceso de biomagnificación, debido a la ocupación del último nivel en la cadena trófica de los seres humanos.

Tabla 2
Concentración de mercurio en frutos de Mina Santa Cruz – Sur de Bolívar

Fruto	Concentración de Hg total (ng/g)	Valor promedio de la concentración de HgT (ng/g)
Almendro	4535,2	907.04 ± 769.2
Naranja	2425,5	485.1 ± 367.3
Guayaba	2555,8	511.16 ± 248.9

Fuente: Saumeth (2010)

En el mismo sitio de estudio de la investigación de Saumeth (2010); Argumedo *et al.*, (2013) reportan concentración de mercurio total (HgT) en animales domésticos destinados a consumo humano, cerdos (*Sus scrofa*), gallinas (*Gallus gallus*) y patos (*Cairina moschata*), las concentraciones encontradas se muestran en la tabla 3.

Tabla 3
Concentración de mercurio en animales domésticos de Mina Santa Cruz – Sur de Bolívar

Procedencia de las muestras	[ngHgT/g] Cerdos	[ngHgT/g] Gallinas	[ngHgT/g] Patos
Mina Santa Cruz	8156,9 ± 882,2	3391,9 ± 639,5	1426,5 ± 263,9
Sincelejo	426,79 ± 49,2	448,7 ± 55,6	268,4 ± 24,6

Fuente: Argumedo *et al.*, (2013)

Asimismo, Madero Y Marrugo (2010) reportan concentraciones de mercurio en músculo e hígado de ganado vacuno en el orden de (0.008–0.104 µg/g) y (0.003–0.110 µg/g) respectivamente, estas concentraciones son superiores a las registradas por otros autores y aunque los valores promedios de concentración de mercurio no representan riesgo para la salud humana, el índice de peligrosidad (HI) estimado por los autores, para el consumo tanto de músculo como de hígado con las concentraciones máximas de Hg registradas por el estudio, muestra un riesgo ligeramente incrementado para la salud de las personas.

Riesgos en salud pública por exposición al mercurio

La toxicidad del mercurio depende de su forma química y, por lo tanto, los síntomas y signos varían según se trate de exposición al mercurio elemental, a los compuestos inorgánicos de mercurio, o a los compuestos orgánicos de mercurio. De acuerdo a muchos de los resultados obtenidos por los investigadores, que han estudiado la problemática de la contaminación por mercurio, la principal exposición humana es al mercurio elemental (Hg^0) y a los compuestos inorgánicos (Hg^{2+}), debido a las actividades mineras, características de las zonas estudiadas.

La exposición a Hg^0 y Hg^{2+} se presentan principalmente por inhalación de los vapores del metal (entre 80 - 90%) cuando la amalgama mercurio-oro obtenida es calentada a altas temperaturas y a campo abierto, liberando el tóxico metálico en forma de vapor directamente a la atmósfera. Los compuestos inorgánicos de mercurio se pueden absorber entre un 10 - 20%, causando efectos adversos en la salud humana, principalmente porque el mercurio es un metal con capacidad para bioconcentrarse en los organismos vivos y biomagnificarse a través de la cadena alimenticia, lo que significa que las mayores concentraciones del metal estarán en el hombre por ser el último en la red trófica.

Asimismo, la exposición a metilmercurio en humanos proviene casi exclusivamente del consumo de pescado y de animales expuestos a altas concentraciones de mercurio. Varios estudios han demostrado la relación entre el nivel total del metal en el cabello y sus preferencias alimentarias, encontrando que la concentración de mercurio es más alta entre las personas que prefieren los peces (3.305 ng/g), seguido por las que prefieren la carne (2.150 ng/g) y la menor entre aquellas que prefieren las verduras (1.790 ng/g) (Kales y Goldman, 2002).

De acuerdo con la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) la concentración de mercurio que puede ser consumida diariamente a lo largo de la vida sin que se presente ningún efecto adverso es de 0.1 ng Hg/g de peso corporal/día

Conclusión

La contaminación por mercurio en diferentes alimentos consumidos por la población de la región caribe de Colombia demuestra que existe un riesgo para la salud de los mismos, principalmente por el consumo de ciertas especies provenientes de las cuencas hidrográficas estudiadas.

La principal fuente de exposición a mercurio total y metilmercurio es el consumo de pescado y el riesgo aumenta en la medida en que sean consumidas mayormente especies carnívoras. Hecho que se agrava debido a la posición en el nivel trófico de los humanos, por cuanto el mercurio se bioacumula y al final llega al ser humano sea en carne bovina, peces o frutas, que provengan de zona contaminada con este metal pesado.

Las principales cuencas hidrográficas estudiadas están al sur del departamento de Bolívar, seguida de la ciénaga de Ayapel, en el departamento de Córdoba y la ciénaga de Caimito en el departamento de Sucre. Cada uno de los estudios señala que la principal fuente de proteína son los pescados, por lo que no puede cambiarse este hábito cultural y alimenticio de las poblaciones, por tanto se debe enfocar esfuerzos en mitigar o disminuir la presencia de mercurio en la biota del norte de Colombia.

Agradecimientos

El presente artículo se genera a partir del desarrollo de la investigación titulada EXPOSICIÓN A MERCURIO EN HABITANTES DEL MUNICIPIO DE SAN MARCOS, SUCRE – COLOMBIA, DEBIDO A LA INGESTA DE ALIMENTOS CONTAMINADOS, realizada en el marco de la Maestría en Ciencias Ambientales del Sistema de Universidades Estatales del Caribe – SUR Caribe, sede Universidad de Sucre.

Referencias

- ACADEMIA NACIONAL DE MEDICINA, (2006). Seminario internacional sobre clínica del mercurio. Memorias. Bogotá D.C. Kimpres.
- Álvarez, L.; Rojas, L. (2006). Presencia de mercurio total en habitantes de los asentamientos indígenas el casabe, municipio autónomo Raúl Leoni y el plomo, municipio autónomo Manuel Carlos Piar – estado Bolívar. Saber, Universidad de Oriente, Vol. 18 N° 2: 161 - 167

- Álvarez, R. (2009). Efectos del aprovechamiento de metales preciosos en Colombia: Los metales pesados en las aguas continentales, estuarias y marinas. Presentación en el segundo congreso internacional sobre geología y minería en la ordenación del territorio y en el desarrollo. *Revista Utrillas* (6): 67 – 84.
- Argumedo, M., Vidal, J., Marrugo, J. (2013). Mercurio total en animales domésticos en mina Santa Cruz, Sur de Bolívar – Colombia. *Rev. Colombiana cienc. Anim.* 5 (2): 366-379, 2013.
- Elhassani, S. (1982). The many faces of methylmercury poisoning. *J. Toxicol. Clin. Toxicol.* 19 (8): 875 - 906.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 1997. Mercury Study Report to Congress. Chicago: Environmental Protection Agency. p. 171.
- Eto, K. (2000). Minamata disease. *Neuropathol.* 20:Suppl:S14-19.
- Fitzgerald, W. (1989). Atmospheric and oceanic cycling of mercury. In: Riley, J., Chester, R. (Eds.), *Chemical Oceanography*. Academic Press, New York, pp. 151–186.
- GDCON. (2010). Cuantificación de liberaciones antropogénicas de mercurio en Colombia, Cálculos y cuantificaciones para el año 2009. Medellín, Colombia: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. República de Colombia y la Universidad de Antioquia; p. 81.
- Hinton, J. (2002). Earthworms as a bioindicator of mercury pollution in an artisanal gold mining community. Cachoeira do Piriá, Brazil. Master thesis. University of British Columbia, Canada: 140 - 198.
- Kales, S.; Goldman, R. (2002). Mercury exposure: current concepts, controversies, and a clinic's experience. *J. Occup. Environ. Med.* 44(2):143-154.
- Kondo, K. (2000). Congenital Minamata disease: warnings from Japan's experience. *J. Child Neurol.* 15(7):458-464.
- INSTITUTO NACIONAL DE SALUD. 2015. documentos de evaluación de riesgos en inocuidad de alimentos: Evaluación de riesgo de mercurio en peces de aguas continentales en Colombia. ISBN: 978-958-13-0173-7. Bogotá, D.C.

- Islam, E., et al. (2007). Assessing potential dietary toxicity of heavy metals in selected vegetables and food crops. *Journal of Zhejiang University*. 8: 1-13.
- Luna, S. (2007). Exposición a mercurio de mujeres y niños de comunidades indígenas del río Beni (Bolivia), con relación a problemas de la salud (malnutrición, paritismo, anemia) endémicos en el área. *Universidad Mayor de San Andrés*: 12 – 27.
- Malm, O. (1998). Gold Mining as a Source of Mercury Exposure in the Brazilian Amazon. *Environ. Research Section A*. 77: 73 – 78.
- Madero, A.; Marrugo, J. (2011). Detección de metales pesados en bovinos, en los valles de los ríos Sinú y San Jorge, departamento de Córdoba, Colombia. *Rev. MVZ Vol. 16 (1)*: 2391-2401.
- Marrugo, J.; Gracia, L.; Alvis, E. (2010). Contaminación por mercurio en humanos y peces en el municipio de Ayapel, Córdoba. *Revista Facultad Nacional De Salud Pública* . v.28 fasc.2: 118 – 124.
- Marrugo, J.; Lans, E.; Benítez, L. (2007). Hallazgo de mercurio en peces de la ciénaga de Ayapel, Córdoba, Colombia. *Rev. MVZ Córdoba* 12 (1): 878-886.
- Marrugo, J.; Olivero, J. Lans, E.; Benítez, L. 2008. Total mercury and methylmercury concentrations in fish from the Mojana of Colombia. *Environmental Geochemistry And Health*. 30(1): 21 – 30.
- Marrugo, J.; Benítez, L.; Olivero, J. (2008). Distribution of Mercury in Several Environmental Compartments in an Aquatic Ecosystem Impacted by Gold Mining in Northern Colombia. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 55(2):305-16.
- Molina, C.; Arango, C.; Serna, M. (2003). Mercurio: Implicaciones en la salud y el medio ambiente. *Rev. De Toxicología en Línea* 44(2): 7 – 15.
- Mancera, N.; Álvarez, L. (2006). Estado del conocimiento de las concentraciones de mercurio y otros metales pesados en peces dulceacuícolas de Colombia. *Rev. Acta Biologica Colombiana*. Vol 11 No 1: 3 – 23.
- Mergler, D.; Anderson, H.; Chan, L.; Mahaffey, K.; Murray, M.; Sakamoto, M. (2007). Methylmercury exposure and health effects in humans: a worldwide concern. *Rev. Ambio*. 36 (1): 3-11

- MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. (2012). Censo minero departamental colombiano 2010 – 2011. ISBN 978-958-98603-5-9. Bogotá, DC.
- Navarro, I.; Aguilar, A.; López J. (2007). Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. *Ecosistemas*. 16 (2): 10-25.
- Nriagu, J.; Pfeiffer, W.; Malm, O.; Magalhaes, C.; Mierle, G. (1992). Mercury pollution in Brazil. *Nature*. 356(6368):389.
- Olivero, J.; Johnson, B.; Mendoza, C.; Paz, R.; Olivero R. (2004). Mercury in the Aquatic Environment of the Village of Caimito at the Mojana Region, North of Colombia. *Water, Air, & Soil Pollution*. 159(1):409-20.
- Olivero, J.; Johnson, B. (2002). El lado gris de la minería del oro: La contaminación con mercurio en el norte de Colombia. Editorial Universitaria. Colombia.
- Olivero, J.; Solano B. (1998). Mercury in Environmental Samples From a Waterbody Contaminated by Gold Mining in Colombia, South America. *The Science of the Total Environment*. 217: 83 - 89.
- Olivero J, Solano B, Acosta I. (1998). Total Mercury in Muscle of Fish From Two Marshes in Goldfields, Colombia. *Bull Environ Contam Toxicol*. 61: 182 - 187.
- Olivero J, Navas V, Pérez A, Solano B, Acosta I, Argüello E, Salas R. (1997). Mercury Levels in Muscle of Some Fish Species From the Dique Channel. *Bull. Environ Contam Toxicol*. 58: 865-870.
- Osame, M.; Takiwaza, Y. (2001). A brief introduction to Minamata disease. In Y Tikawaza and M Osame (eds): *Understanding of Minamata disease. Methylmercury poisoning in Minamata and Niigata Japan*. Tokyo: Japan Public Health Association: 33 – 49.
- Pacyna, E.; Pacyna, J.; Steenhuisen, F. (2006). Global anthropogenic mercury emission inventory for 2000, *Atmos. Environ*. 40: 4048 – 4063.
- PAZ R. 2000. Evaluación de la contaminación con mercurio en peces, sedimentos superficiales y macrófitas en ciénagas del bajo San Jorge, Caimito (Sucre). [Trabajo de grado] Cartagena: Facultad de Química y Farmacia, Universidad de Cartagena..

- PNUMA. (2010). Evaluación Mundial Sobre El Mercurio. Ginebra, Suiza: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Available from: <http://www.chem.unep.ch/mercury/GMA%20in%20F%20and%20S/final-assessment-report-Nov05-Spanish.pdf>.
- Ramos, C.; Estévez, S.; Giraldo, E. (2000). Nivel de contaminación por metilmercurio en la región de la Mojana. Universidad de los Andes. A.A. 4976. Bogotá: 1 – 6.
- Ramírez, A. (1993). Oleoducto Vasconia-Coveñas: Estudio de línea base, componentes biológicos y fisicoquímicos de los ecosistemas acuáticos. ECOPETROL /ICP/Oleoducto de Colombia S.A./Biología Aplicada/Ecology Ltda. Bogotá (Colombia). Informe final.
- Saumeth, J. (2010). Evaluación de la concentración de mercurio en tejido vegetal de especies frutales ubicadas en cercanía de la mina santa cruz- sur de bolívar. Universidad del Atlántico.
- Telmer, K.; Veiga, M. (2008). World emissions of mercury from small scale artisanal gold mining and the knowledge gaps about them. In: Pirrone N, Mason R, editors. Mercury fate and transport in the global atmosphere: measurements, models and policy implications: 96–129 [UNEP-United Nations Environ. Programme. Chapter 6].
- UPME (Unidad de Planeación Minera Energética). (2001). Estadísticas minero energéticas. Edición No. 13. Bogotá: 220 - 225.
- Vidal, J.; Marrugo, J.; Jaramillo, B.; Pérez, L. (2010). Remediación de suelos contaminados con mercurio utilizando guarumo (*Cecropia peltata*). En Revista Ingeniería y desarrollo. ISSN: 0122-3461 No. 27, pp. 113-129.
- WHO. (1990). Environmental Health Criteria 101 (IPCS). Methylmercury. World Health Organization. Geneva.