

## Capítulo 2

# Niveles de exposición a hg en los habitantes de Mina Santa Cruz – Sur de Bolívar y San Marcos – Sucre

Liseth Pérez Flórez<sup>1</sup>  
Marcela Argumedo García<sup>2</sup>  
Daniel Romero Suárez<sup>3</sup>  
Jhon Víctor Vidal Durango<sup>4</sup>

### Resumen

---

Los metales se encuentran en todos los alimentos, siendo de mayor preocupación la presencia de metales tóxicos como el mercurio, debido a los efectos adversos que causa en la salud del hombre. Se planteó como objetivo evaluar los niveles de exposición a HgT en los habitantes de Mina Santa Cruz – Sur de Bolívar y San Marcos – Sucre. En Mina Santa Cruz se tomaron muestras de pelo de cerdo y plumas de gallina y pato y se determinó la concentración de mercurio total (HgT). En San Marcos se tomaron muestras de los alimentos de mayor consumo por los habitantes y muestras de cabello para determinar mercurio total tomando un grado de significancia  $P < 0.05$ . Para realizar comparaciones entre las distintas muestras se realizaron t-test y Anovas, tomando un grado de significancia  $P < 0.05$ . Las concentraciones más altas de HgT en Mina Santa Cruz se presentaron en cerdo ( $8156,9 \pm 882,2$  ng/g), seguido de gallina ( $3391,9 \pm 639,5$

---

1 Bióloga, M.Sc. en Biotecnología. Corporación Universitaria del caribe CECAR. lipaof@gmail.com

2 Bióloga, M.Sc. en Biotecnología. Corporación Universitaria del caribe CECAR. marce404@hotmail.com

3 Biólogo, M.Sc. (C) en Bioquímica Universidad de Cartagena

4 Ingeniero Químico, M.Sc. en Ciencias Ambientales, PhD (C) Gestión de la innovación. Corporación Universitaria del caribe CECAR. jhon.vidal@cecar.edu.co

ng/g) y pato (1426,5 ± 263,9 ng/g). En San Marcos este tipo de alimentos presentaron bajas concentraciones del metal y la mayor concentración de Hg-T en cabello se presentó en el rango de edad de más de 50 años (0,91+/-1,39 µg/g). Se concluye El consumo de patos, gallinas y cerdos establecidos en Mina Santa representan un riesgo importante a la salud pública, debido a las concentraciones acumuladas en los organismos estudiados, mientras que la exposición a HgT en los habitantes del municipio de San Marcos por consumo de alimentos fue relativamente bajo.

**Palabras clave:** contaminación, minería aurífera, mercurio, salud pública.

## Abstract

---

Metals are found in all foods, with the presence of toxic metals such as mercury being of greater concern because of its adverse effects on human health. The objective was to evaluate the levels of exposure to HgT in the inhabitants of Mina Santa Cruz - Sur de Bolívar and San Marcos - Sucre. In Mina Santa Cruz, samples of pig hair and chicken and duck feathers were taken and total mercury (HgT) concentration was determined. In San Marcos, samples of the foodstuffs most consumed by the inhabitants and hair samples were taken to determine total mercury by taking a degree of significance  $P < 0.05$ . In order to make comparisons between the different samples, t-tests and Anovas were carried out, taking a degree of significance  $P < 0.05$ . The highest concentrations of HgT in Mina Santa Cruz were found in pig (8156.9 ± 882.2 ng/g), followed by chicken (3391.9 ± 639.5 ng/g) and duck (1426.5 ± 263.9 ng/g). In San Marcos this type of food presented low concentrations of the metal and the highest concentration of Hg-T in hair occurred in the age range of more than 50 years (0.91+/-1.39 µg/g). Conclusions The consumption of ducks, chickens and pigs established in Mina Santa represents a significant risk to public health, due to the accumulated concentrations in the organisms studied, while exposure to HgT in the inhabitants of the municipality of San Marcos from food consumption was relatively low.

**Keywords:** contamination, gold mining, mercury, public health.

## Introducción

El principal factor de contaminación por mercurio en los países en desarrollo es la minería aurífera. En Colombia, la mayor zona de explotación de oro se encuentra ubicada entre el norte de Antioquia y sur de Bolívar, donde existen más de 12.400 minas en explotación, involucrando a un número de personas superior a 50.000 que reciben influencia directa o indirecta de esta actividad. La cantidad de mercurio liberado no ha sido calculada con exactitud, pero ha sido estimada en cerca de 80-100 toneladas al año (Olivero y Johnson, 2002).

El manejo inadecuado de este metal en las zonas de explotación ha generado la contaminación de suelos y sistemas acuáticos, incrementando la exposición de mercurio en humanos por el consumo de agua y alimentos contaminados (Alonso et al., 2000). Debido a la alta afinidad de este contaminante con los grupos sulfidrilos de las proteínas, es rápidamente incorporado a la cadena alimentaria, bioacumulado en los organismos acuáticos por la exposición a concentraciones superiores a las que puede excretar (Pouilly et al., 2008), y biomagnificado de un nivel trófico a otro (Ochoa-Acunae et al., 2002).

En el hombre, la exposición al mercurio puede generar graves efectos toxicológicos: teratogénesis, déficit en el desarrollo neurológico y comportamiento (Telmer y Veiga, 2008), inflamaciones severas de la piel (Sepúlveda et al., 2007; Collasiol, Pozebon y Maia, 2004), irritación del tracto gastrointestinal y daño hepático severo (Aranda et al., 2008), especialmente cuando hay exposición a formas orgánicas como metilmercurio (MeHg); ampliamente conocido como una sustancia 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; Gerbersmann et al., 1997).

Estudios previos han mostrado que el pescado es la principal fuente de exposición al metil mercurio en el hombre. Sin embargo, investigaciones recientes han demostrado la existencia de otros alimentos que podrían estar contaminados por mercurio y generar riesgo de exposición al consumirlos.

Mina Santa Cruz, en el municipio Barranco de Loba, departamento de Bolívar es una zona dedicada a la explotación aurífera. Sus habitantes

en su mayoría son mineros y sus familiares, dedicados a la cría de animales domésticos, especialmente gallinas (*Gallus gallus*), patos (*Cairina moschata*) y cerdos (*Sus scrofa*), lo que pone en riesgo la salud de sus pobladores al presentar estas altas concentraciones del metal pesado (Argumedo, Vidal y Marrugo, 2013).

En esta zona minera la técnica utilizada es la amalgamación en molino que se lleva a cabo a campo abierto. En dicho proceso, una parte de la amalgama se queda en el molino y otra parte sale, siendo parcialmente recuperada por métodos gravimétricos (canaletas, trampas, etc.). Sin embargo, las pérdidas de mercurio en las colas, especialmente en forma de mercurio finamente molido o harina de mercurio son muy altas. Estos residuos que se pierden son los que se dirigen hacia la ciénaga La Redonda, la cual conecta con el río Magdalena, afectando su calidad y la biota acuática (Olivero y Johnson, 2002), que a su vez son aprovechados como fuente de alimento por los animales. Así entonces, los habitantes pueden estar expuestos a concentraciones relativamente altas del metal cuando consumen vegetales, pescados o mariscos contaminados que hacen parte de su dieta alimenticia (Argumedo, Vidal y Marrugo, 2013).

Por otro lado, gran parte de la zona de explotación aurífera en el norte de Colombia se circunscribe sobre la región Mojana, zona de desborde principalmente de los ríos Cauca y San Jorge, incluidas las confluencias de éstos con el río Magdalena (Olivero y Johnson, 2002). Aunque en San Marcos no se ha establecido la minería aurífera a gran escala, sus aguas y suelos han sido contaminados con mercurio procedente del norte de Antioquía y el sur de Bolívar, debido principalmente a las interconexiones generadas por la cuenca del río San Jorge (Olivero y Johnson, 2002). Se cree entonces que su población puede estar vulnerable a la contaminación por mercurio a través de productos de cultivos provenientes de estos sectores contaminados.

Hasta la fecha, son pocos los estudios realizados sobre el grado de contaminación al que están expuestos los habitantes de Mina Santa Cruz y San Marcos por el consumo de alimentos contaminados con Hg por lo que este informe tiene como objetivo evaluar los niveles de exposición a HgT y los riesgos que pueden traer para su salud en los habitantes de ambas zonas de estudio.

## Metodología

### Tipo y sitio de estudio

Este estudio es de tipo descriptivo-exploratorio y se realizó en los municipios de Mina Santa Cruz, ubicado entre los 8° 42' y 8° 45' latitud norte y entre los 74° 10' y 74° 14' longitud occidente, en el municipio Barranco de Loba, Sur de Bolívar y San Marcos (latitud 8° 35' 06" N-Longitud, 75° 07' 16.39" O), localizado al Sur del departamento de Sucre, puerta de entrada a la subregión de la Mojana.

Se realizó en tres fases que se describen a continuación.

### Fase 1. Toma de muestras

Inicialmente se realizó un censo para determinar el número de animales domésticos provenientes del corregimiento Mina Santa Cruz en el departamento de Bolívar. Posteriormente, se visitaron cada una de las viviendas para coleccionar muestras de pelo en cerdos (*Sus scrofa*) y de plumas en gallinas (*Gallus gallus*) y patos (*Cairina moschata*).

En el municipio de San Marcos se obtuvo información sobre los hábitos alimenticios y sitios de procedencia de los alimentos de consumo de la población. Se realizó un análisis clúster que permitió la selección de 20 individuos de los 100 entrevistados, de los cuales se escogieron 4 individuos por rango de edad y 2 por sexo con características similares y con particularidades representativas de la muestra poblacional. Se coleccionaron muestras de alimentos a cada individuo seleccionado, para ello se tuvo en cuenta la frecuencia, cantidad de consumo y los alimentos que han sido reportados en la literatura científica como acumuladores de mercurio. Además, se tomaron muestras de cabello de la parte occipital de la cabeza. Las muestras de alimentos fueron empacadas en bolsas de polietileno de cierre hermético y las de cabello en sobres de papel. Todas las muestras se almacenaron a 4 °C en recipientes de poliestireno expandido y fueron transportadas al laboratorio de Aguas y Química Ambiental de la Universidad de Córdoba.

## Fase 2. Análisis de laboratorio

Una vez en el laboratorio, las muestras fueron digeridas con soda cáustica para la determinación de Hg inorgánico y con cloruro de cadmio para la determinación de HgT. Posteriormente, las muestras fueron analizadas mediante la técnica de espectrofotometría de absorción atómica por vapor frío adaptado de Sadiq et al., (1991) y USEPA (1998), previamente validado en el laboratorio de Aguas y Química Ambiental de la Universidad de Córdoba.

## Fase 3. Análisis de datos

Los datos de concentración de Hg-T de las diferentes muestras fueron presentadas como media +/- error estándar. Para realizar comparación de medias se realizaron t-test y anovas con posttest de Tukey, previa verificación de normalidad (Kolmogorov Smirnov) y homogeneidad de Varianza (Barlett) tomando un grado de significancia  $P < 0.05$ . Para la realización de estos análisis se utilizaron los programas estadísticos Statgraphics centurión versión 15.2.06 e Infostat3.

# Resultados

## Concentración de Hg-T en alimentos consumidos por los habitantes de Mina Santa Cruz y el municipio de San Marcos - Sucre.

La tabla 1 muestra que las concentraciones más altas estuvieron en *S. scrofa* (cerdos) seguido de *G. gallus* (gallinas) con valores intermedios y *C. moschata* (patos) con menos cantidad de HgT.

Esto significa que las especies en estudio están expuestas a una considerable cantidad de mercurio gracias a la actividad minera propia de la zona. Además, el Hg por su gran lipoficidad es un metal que se difunde fácilmente en ellos, lo que permite aumentar su potencial de toxicidad, esto explica por qué las mayores concentraciones se encontraron en los cerdos, una especie caracterizada por su alto contenido de grasa. (Argumedo, Vidal y Marrugo, 2013, p. 374)

**Tabla 1**

*Concentración media de HgT en las diferentes especies y sitios de colecta (Fuente: Argumedo, Vidal y Marrugo, 2013).*

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

La tabla 2 muestra los alimentos del municipio de San Marcos que presentaron acumulación de mercurio. El análisis de varianza ( $p=0,0023$ ) mostró diferencias estadísticamente significativas entre las medias de concentración de HgT de los tipos de carnes de consumo en la población, posiblemente por las diferencias en la exposición al metal como ubicación de las presas y estrategias de alimentación (Argumedo, 2009).

En otros alimentos evaluados como leche de vaca, aceite vegetal, queso, papa, ñame, cebolla roja, huevo, maracuyá, lechuga, pepino, repollo, ají dulce, frijol, cebolla larga, ahuyama, lenteja, limón, cilantro, pimentón y suero no hubo presencia de Hg-T. Esto debido a que la mayoría de estos productos provienen de zonas distintas a San Marcos donde la contaminación del suelo con este metal es mínima o nula.

**Tabla 2**

*Concentración media de mercurio total ( $\mu\text{gHg-T/g}$ ) en alimentos consumidos por los habitantes de San Marcos.*

Alimento	Concentración+/- error estándar
Carne de gallina	0,23 +/- 0,48
Carne de Pisingo	0,09 +/- 0,03
Carne de pato	0,08+/- 0,04
Carne de cerdo	0,06 +/-0,02
Carne de res	0,03 +/- 0,02
Arroz de San Marcos	0,02 +/- *
Yuca	0,01 +/- 0,0002
Maíz	0,01+/- 0,0004

Marrugo y Madero (2011) evaluaron las concentraciones de mercurio en carne de res de la región del San Jorge y del Sinú en el departamento de Córdoba, reportando una concentración de Hg-T en músculo de 0.008

$\pm 0.104 \mu\text{g/g}$ . En este estudio, el 96% de las reses presentaron niveles de metales por debajo de los límites permisibles de México y Europa. A pesar de que los niveles de mercurio se encontraron en los límites permisibles, la evaluación del riesgo basado en el índice de peligrosidad, sugiere que el consumo diario de 100 gramos de productos cárnicos con niveles de 0.08 ppm, podría incrementar el riesgo de envenenamiento a una persona de 70 Kg.

Los vegetales como el arroz, el maíz y la yuca cultivados en San Marcos también presentaron trazas de mercurio en sus tejidos, es importante mencionar que para la determinación de Hg-T en estos alimentos se estudiaron las partes comestibles de las plantas (granos y raíces). El arroz tuvo una concentración de Hg-T de  $0,021 \mu\text{g/g}$ , es el alimento de mayor consumo en la población estudiada (1216,72 g/semanales) lo que puede llegar a constituir un riesgo para la salud los habitantes de este municipio. Barret (2010) en su estudio reportó contaminación de este cereal y de otros productos agropecuarios (carne, maíz y verduras) en cuatro regiones de la provincia de Guizhou, área del interior de China, representando el 89-97% de la exposición a mercurio total. Asimismo, Novoa et al (2008), evaluaron las concentraciones de Hg en diferentes tejidos de plantas de maíz cultivadas en España, encontrándose que las concentraciones de Hg en las hojas fueron significativamente más altas que en otras partes de la planta y, por lo general, se redujo en el orden hojas > raíces > tallos > granos.

### **Concentración de Hg-T en cabello de los habitantes del Municipio de San Marcos – Sucre.**

La mayor concentración de Hg-T hallada en cabello se presentó en el rango de edad de más de 50 años ( $0,91 \pm 1,39 \mu\text{g/g}$ ), mientras que el rango de 39-50 tuvo la menor concentración ( $0,18 \pm 0,09 \mu\text{g Hg-T/g}$ ) (tabla 3). Sin embargo, la prueba de Kruskal-Wallis (P calculado 0,33) determinó que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas por rangos de edad.

**Tabla 3**  
*Media de concentración de mercurio total en cabello ( $\mu\text{g Hg-T/g}$ ) por rango de edad*

<b>Rangos de Edad</b>	<b>Media Hg-T <math>\mu\text{g/ cabello}</math> +/- error estándar</b>
0-12	0,22+/-0,12
13-24	0,23+/-0,07
25-38	0,87+/-0,84
39-50	0,18+/-0,09
más de 50	0,91+/-1,39

Estudios recientes han reportado que existe una relación directa entre la edad y la concentración de mercurio en cabello **Ping** et al., (como se citó en Argumedo et al., 2013). Sin embargo, la tabla anterior muestra que en este estudio no hubo una relación directa entre las dos variables, lo que indica que posiblemente una cantidad considerable de mercurio en los alimentos consumidos por los habitantes del municipio ha podido ser de Hg inorgánico, que es mucho menos tóxico que el MeHg, cuya tasa de absorción por el cuerpo humano ha sido estimada en sólo el 7% mientras que el 95% de MeHg es asimilado Clarkson y Magos, 2006; OMS 1991 (como se citó en Argumedo et al., 2013).

Según el sexo, los hombres presentaron mayor grado de concentración del contaminante en cabello (tabla 4). No obstante, el Anova evidenció que no existen diferencias estadísticamente significativas ( $P=0,35$ ). Esto posiblemente a la exposición ocupacional de los hombres, así como por la mayor cantidad de consumo de alimentos en relación a las mujeres.

**Tabla 4**  
*Media de concentración de mercurio total en cabello ( $\mu\text{g Hg-T/g}$ ) por sexo.*

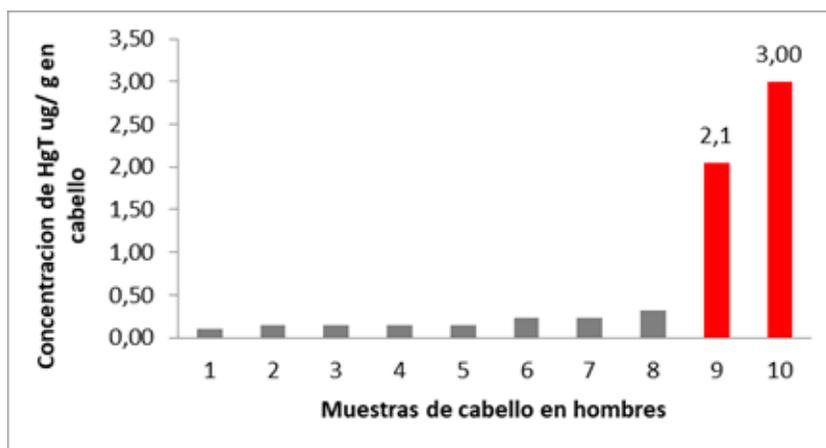
<b>Sexo</b>	<b>Media Hg-T <math>\mu\text{g/ cabello}</math></b>
Hombres	0,64+/-1,02
Mujeres	0,31+/-0,22

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 y cereales (1,790 ng/g) Eisler (como se citó en Argumedo et al., 2013).

Algunos de los alimentos en estudio pueden influir en la concentración de HgT halladas en las muestras de cabello. Según Burger (como se citó en Argumedo et al., 2013), los mayores niveles de Hg dependen de las concentraciones del metal en los alimentos y no de la cantidad o tamaño. Así la elevada concentración de mercurio en los alimentos está influenciada también por la procedencia de los mismos, lo que indica que entre más contaminación haya en el lugar mayores serán los niveles del metal en los alimentos que hacen parte de la dieta alimenticia de la población (Argumedo et al., 2013)

Al comparar los resultados arrojados del análisis de las muestras de cabello de los individuos en estudio con los límites permisibles establecidos por la OMS (6  $\mu\text{g}$  Hg-T/g para poblaciones que viven en zonas mineras y 2  $\mu\text{g}$  Hg-T/g para los que viven alejados de dichas zonas), se tiene que un 10% de la muestra estudiada sobrepasa el límite (figura 1), lo cual implica ciertos niveles de riesgo en la salud de los habitantes.



**Figura 1.** Concentración de HgT en cabello del sexo masculino.

■ Por encima de los límites de seguridad recomendados por el comité mixto (FAO/OMS) de Hg-T en cabello igual a 2,0  $\mu\text{g}/\text{g}$ .

Las concentraciones de mercurio en cabello de los habitantes de San Marcos, son menores que las reportadas en un estudio realizado por Olivero et al (2000) en habitantes de Caimito - Sucre, donde la mayoría de los

datos para el total de personas monitoreadas osciló entre 0,5 y 10  $\mu\text{g Hg/g}$ . Por otro lado, en un estudio realizado en los asentamientos indígenas del Casabe y del Plomo ubicados en el Estado Bolívar en Venezuela, los cuales presentan condiciones geográficas similares al municipio de San Marcos y que son receptores de la contaminación por mercurio debido a la minería aurífera, se reportó una concentración promedio de este metal pesado en cabello de los pobladores de  $6,481 \pm 3,616 \mu\text{g/g}$  para los habitantes de El Casabe y  $5,816 \pm 7,093 \mu\text{g/g}$  para los habitantes de El Plomo. Ambos estudios revelan valores que se encuentran por encima de los datos reportados en la presente investigación y también exceden el límite permisible de mercurio en cabello establecido para habitantes de zonas alejadas de la minería mencionados anteriormente (Olivero et al., 2002).

## Conclusión

A pesar de que el consumo de patos, gallinas y cerdos establecidos en Mina Santa Cruz, representan un riesgo importante a la salud pública, debido a las altas concentraciones acumuladas en sus organismos, la exposición a HgT en los habitantes del municipio de San Marcos por consumo de alimentos fue relativamente bajo. No obstante, el mercurio es un elemento altamente tóxico por lo que se recomienda consumir alimentos totalmente libres o con los menores niveles posibles de este contaminante. Además, tener en cuenta su frecuencia de consumo y su permanente monitoreo en la población.

## Referencias

- Alonso, D., Pineda, P., Olivero, J., González, H., Campos, N. (2000). Mercury levels in muscle of two fish species and sediments from the Cartagena Bay and the Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. *Environ. Pollution*. 109:157-163.
- Aranda, P.R., Gil, R.A., Moyano, S.I.E., De Vito, Martínez L.D. (2008). Cloud point extraction of mercury with PONPE 7.5 prior to its determination in biological samples by ETAAS. *Talanta* 75, 307–311.
- Argumedo, M. (2009). Evaluación de la concentración de mercurio presente en animales domésticos en mina Santa Cruz, Sur de Bolívar.

[Trabajo de grado] Sucre: Departamento de biología, Programa de Biología, Universidad de Sucre.

- Argumedo, M., Consuegra, A., Vidal, J., y Marrugo, J. (2013). Exposición a mercurio en habitantes del municipio de San Marcos (Departamento de Sucre) debida a la ingesta de arroz (*Oryza sativa*) contaminado. *Rev. salud pública*. 15 (6): 903-915
- Barrett, J.R. (2010). Rice is a significant source of methylmercury: research in China assesses exposures. *Environ Health Perspect*. 118(9): a398
- Collasiol, A., Pozebon, D., Maia, S.M. (2004). Ultrasound assisted mercury extraction from soil and sediment. *Anal. Chim. Acta* 518, 157–164.
- Gerbersmann, C.; Heisterkamp, M.; Adams, F.C.; Broekaert, J.A.C. (1997). Two methods for the speciation analysis of mercury in fish involving microwave-assisted digestion and gas chromatography-atomic emission spectrometry. *Anal. Chim. Acta* 350:273–285.
- Marrugo, J.L., y Madero, A. (2011). Detection of heavy metals in cattle, in the valleys of the Sinu and San Jorge rivers, department of Córdoba, Colombia. *Rev.MVZ Córdoba*. 16 (1): 2391-2401.
- Nóvoa, J., Pontevedra, X., Martínez, A., García, E. (2008). Mercury accumulation in upland acid forest ecosystems nearby a coal-fired power-plant in southwest Europe España. *Science of the Total Environment*. 394(2-3): 303-12.
- Olivero, J., Boris, J., Mendoza, C., Olivero, R., Hurtado, R., Paz, R., Gutiérrez, A., Consuegra, A. (2000). Niveles De Mercurio En Muestras Ambientales Y De Cabello En Habitantes Del Sur De Sucre. Resultados publicados en el Libro (El lado gris de la minería del oro: La contaminación con Mercurio en el Norte de Colombia). Universidad de Cartagena.
- Olivero, J., y Johnson, B. (2002). El lado gris de la minería del oro: La contaminación con mercurio en el norte de Colombia. Editorial Universitaria. Colombia.
- Pouilly, M., Pérez, T., Ovando, A., Guzmán, F., Paco, P., Duprey, J., Chinchero, J., Caranza, B., Barberi, F., Gardon, J. (2008). Diagnóstico de la contaminación por el mercurio en la cuenca de Iténez. Procesos biogeoquímicos y bioquímicos, exposición de las poblaciones humanas. Cochabamba Bolivia. WWF Bolivia y pd. Anmi Itenez.

- Sadiq, M., Zaidi, T., Al-mohana, M. (1991). Sample Weight and Digestion Temperature as Critical Factors in Mercury Determination in Fish. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 47:335-341.
- Sepúlveda, L.E., Gallego, L., Agudelo, L.M., Arengas A. (2007). El mercurio, sus implicaciones en la salud y en el ambiente. *Revista Científica Luna Azul*. Universidad de Caldas. ISSN 1909-2474.
- Telmer, K., y Veiga, M.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* p. 96–129 [UNEP-United Nations Environ. Programme. Chapter 6].
- USEPA (US Environment Protection agency) (1998). *Mercury Study Report to Congress*.
- WHO (1990). *Environmental Health Criteria 101 (IPCS). Methylmercury*. World Health Organization. Geneva.