

Mercurio en la minería del oro: impacto en las fuentes hídricas destinadas para consumo humano

Mercury in ASGM and its impact on water resources used for domestic water supply

Farith A. Díaz-Arriaga

Department of Civil, Architectural and Environmental Engineering, Cockrell School of Engineering, The University of Texas at Austin, U.S.A. farithdiaz@yahoo.com

Recibido 30 Julio 2014/Enviado para Modificación 30 Agosto 2014/Aceptado 30 Septiembre 2014

RESUMEN

En regiones afectadas por la minería del oro, la inhalación de vapores de mercurio junto con la ingesta de peces contaminados, constituyen las principales fuentes de contaminación con este metal, el cual afecta la salud humana de múltiples maneras. No obstante, otra fuente adicional reconocida por la Organización Mundial de la Salud (OMS) es el consumo de agua contaminada. Aunque por lo general las aguas superficiales contienen bajos niveles de mercurio debido a que este es rápidamente consumido por microorganismos acuáticos, se ha encontrado que bajo ciertas circunstancias su concentración en el agua puede alcanzar valores alarmantes, superando incluso los 2,0 µg/L —valor estipulado en la legislación colombiana para aquellas fuentes hídricas destinadas para consumo humano y doméstico—. En algunos municipios colombianos se han detectado concentraciones de mercurio en aguas superficiales por encima de los 3,0 µg/L y en otros lugares del mundo por encima de los 8,0 µg/L. Si bien es cierto que el consumo de agua contaminada con mercurio constituye un problema menor en comparación con otras fuentes de contaminación, estas bajas concentraciones también contribuyen gradualmente a la carga contaminante que afecta la salud humana, tal como ha sido reportado por diferentes investigadores.

Palabras Clave: Mercurio, abastecimiento de agua, minería, contaminación del agua, salud pública (*fuentes: DeCS, BIREME*).

ABSTRACT

In regions affected by artisanal and small-scale gold mining (ASGM), the inhalation of mercury vapor and the ingestion of fish contaminated with this metal constitute the main sources of mercury contamination that affect human health. Nevertheless, according to the World Health Organization, another source of contamination is polluted water. Although mercury in freshwater is usually found in

very low concentrations because it is swiftly consumed by aquatic microorganisms, evidence shows that under specific circumstances its concentration in water can reach high levels, even surpassing the 2.0 µg/L stipulated by Colombian legislation for use as a domestic water supply. Mercury concentrations above 3.0 µg/L have been found in some Colombian municipalities, and above 8.0 µg/L in other regions around the world. Even though mercury consumption via water is a minor concern, along with other alimentary sources this low mercury concentration contributes to the total burden that affects human health.

Key Words: Mercury, water supply, mining, water pollution, public health (*source: MeSH, NLM*).

En los últimos meses, los principales medios de comunicación del país han publicado importantes artículos sobre la problemática del mercurio en Colombia. Estos han reportado sobre las consecuencias negativas del mercurio en la salud humana y en el medioambiente, las escandalosas concentraciones de mercurio encontradas en la ciénaga de Ayapel (Córdoba), los estragos que causa la minería ilegal del oro en el río Cauca, los daños causados por los más de 350 entables mineros, 800 retroexcavadoras y 50 dragones en las selvas chocoanas, la tragedia que se vive en el nordeste de Antioquia donde una zona comprendida entre los municipios de Segovia y Remedios es considerada la tercera más contaminada del mundo debido a sustancias tóxicas como mercurio, cromo y cianuro; la controversia sobre el contenido de mercurio presente en el atún enlatado, la injerencia de narcotraficantes y grupos armados al margen de la ley en el negocio minero, la intención del gobierno de regular de manera gradual la comercialización y uso del mercurio, y sobre el último informe de la Contraloría General afirmando que 17 departamentos y 80 municipios del país están afectados por la minería del oro.

No obstante, otro aspecto importante de esta problemática es el relacionado con el consumo de agua por parte de pobladores en regiones afectadas por la minería del oro, o localizadas aguas abajo de las mismas; así como su impacto en la salud humana. Adicionalmente, poco se dice sobre el incumplimiento de la ley cuando se trata de garantizar bajos niveles de contaminantes en las fuentes hídricas, con el fin de proteger la vida acuática y la destinación del recurso para consumo humano y doméstico.

El presente ensayo pretende brindar información adicional para enfatizar la importancia de eliminar el uso de mercurio en la minería del oro, así como hacerle un llamado de atención al gobierno colombiano para que

tome las acciones pertinentes con el fin de proteger a los ciudadanos y a las fuentes hídricas de este peligroso contaminante.

¿Cuándo comenzó esta problemática?

El problema de la contaminación ambiental, ocasionado por la liberación intencional de mercurio, no es algo nuevo. Debido a la fiebre del oro, muchos ecosistemas empezaron a ser contaminados desde la época del descubrimiento de América. Expertos de universidades brasileñas afirman que el mercurio en la minería del oro viene siendo utilizado desde hace más de 450 años en la Américas (1,2) En efecto, se estima que entre 1550 y 1880 cerca de 200 000 toneladas métricas de este metal fueron depositadas por colonizadores españoles tan solo en América del Sur (1). Actualmente, según datos del sitio web mercurywatch.com, Colombia es uno de los países del mundo que más contamina el planeta con mercurio, debido al uso irresponsable de este metal en la minería del oro. En el 2010, nuestro país ocupó el segundo lugar (75,0 Ton/año) después de China (444,5 Ton/año), y es, en efecto, el que más contaminante en América Latina (Tabla 1) (3).

No obstante, cabe resaltar que, según datos del World Gold Council (WGC), recopilados en el sitio web horizonteminero.com, en el año 2011 Colombia fue el 6° país latinoamericano con mayor producción de oro y el 19° a nivel mundial (Tabla 1) (4). De esta manera, y aunque la locomotora minera marche lentamente, el hecho de que Colombia sea uno de los principales productores de oro se debe en gran parte a la minería ilegal. Esto fue destacado por el analista Paul Burton, editor de la publicación World Gold Analyst, en una edición especial sobre Colombia, publicada en el 2011, donde resalta que la mayor parte de la producción de oro del país proviene del tipo de minería menos deseado, de aquella informal e ilegal (5).

De los países que aparecen en la Tabla 1, los Estados Unidos [5], Brasil [4], Argentina [4], Perú [4], China [3], México [2] y Colombia [1] también importan o producen mercurio para ser utilizado en procesos industriales como la producción de cloro y soda cáustica, PVC, espumas de poliuretano, y lámparas de vapor de mercurio, entre otros. La cifra entre corchetes indica el número de plantas cloro-álcali existentes en dichos países según información actualizada, hasta el año 2010, por el sitio web mercurywatch.com (3). Vale la pena añadir que al igual que la minería del oro, la minería del carbón también arroja una importante cantidad de mercurio al medioambiente.

Tabla 1. Valores estimados de mercurio utilizado en la minería artesanal del oro junto con las cantidades de oro producido en diferentes países del mundo*

País	Mercurio importado ^a (Ton/año)	Mercurio utilizado en minería del oro ^b (Ton/año)	Ton. Oro producido en 2011 ^c	Ranking mundial en producción de oro (2011) ^c
China	0,583 (2011)	444,5	371	1
Colombia	101,3 (2012)	75	36,9	19
Perú	111,0 (2012)	70	188	6
Ecuador	4,49 (2012)	50	N.D.	N.D.
Brasil	36,15 (2013)	45	67,5	12
Venezuela	0,111 (2011)	15	N.D.	N.D.
Bolivia	15,8 (2012)	7,5	N.D.	N.D.
Suráfrica	32,3 (2013)	7,5	198	5
México	26,6 (2012)	7,5	86,6	10
Chile	2,23 (2013)	4,0	44,5	17
Argentina	N.D.	N.D.	59,3	14
EE-UU	155,0 (2008)	N.D.	233	3
Australia	33,7 (2012)	N.D.	258	2

^aValor promedio. La fecha en paréntesis corresponde al año en que se actualizó la información;

^bPromedio actualizado a 2010; ^cFuente: <http://www.horizonteminero.com> (con cifras del World Gold Council del 2011); *Estos valores pueden variar según la fuente

Por otro lado, según cifras del Sistema de Información Minero Colombiano (SIMCO), en los últimos cinco años, prácticamente todo el oro producido en el país fue extraído en su orden de los siguientes departamentos: Antioquia (43,0 %), Chocó (37,0 %) Bolívar (8,0 %), Cauca (4,0 %), Caldas (3,0 %) y Nariño (2,0 %) (Tabla 2) (6). Como era de esperarse, son estos mismos departamentos los que presentan un mayor grado de contaminación debido al uso de mercurio en la explotación minera.

Tabla 2. Producción de oro por Departamentos. Colombia 2009-2013

Departamento	Kilogramos de oro producido (2009-2013)	%
Antioquia	113 533,7	43
Chocó	98 580,2	37
Bolívar	20 388,2	8
Cauca	11 192,4	4
Caldas	6 780,3	3
Nariño	6 458,7	2
Otros	8 179,2	3
Total	265 112,7	100

Fuente: Sistema de Información Minero Colombiano (SIMCO)

Concentraciones de mercurio en aguas superficiales

Debido al comportamiento aleatorio de este metal, algunas veces no es claro si las altas concentraciones de mercurio, encontradas en un determinado ecosistema, son por causas naturales o por factores antropogénicos. Este fenómeno ha sido analizado en Brasil, tal como fue documentado en

algunos lugares de la Amazonía brasileña, donde se encontraron elevadas concentraciones de mercurio en sitios apartados y ajenos a cualquier tipo de influencia humana (7,8). En efecto, otras fuentes generadoras de mercurio en el ambiente son las emisiones volcánicas, los incendios forestales, las deposiciones atmosféricas, la deforestación, la erosión de suelos naturalmente enriquecidos con mercurio y la quema de biomasa (9-16).

Sin embargo, hay que tener presente que una cosa son los bajos niveles de mercurio ambiental —es decir, de origen natural— encontrados en lugares no contaminados (Tabla 3), y otra las escandalosas concentraciones reportadas en algunas regiones del mundo afectadas por la minería del oro. De hecho, en dichas regiones se han encontrado concentraciones de mercurio en sedimentos de hasta 20,0 $\mu\text{g/g}$ y en el agua superiores a 8,0 $\mu\text{g/L}$ (17), como en los alrededores del distrito minero Diwalwal (Filipinas) con 103,0 $\mu\text{g/L}$ (18), en el río Talawaan (Indonesia) con 13,5 $\mu\text{g/L}$ (19), y en el río Madeira y tributarios (Brasil), con 10,0 $\mu\text{g/L}$ (20); solo por mencionar algunos casos.

Tabla 3. Concentraciones de mercurio ambiental —debida a causas naturales— encontrada en aguas superficiales no contaminadas

Concentraciones de mercurio ambiental ($\mu\text{g/L}$)		Referencia
< 0,5	Ríos y aguas subterráneas	(24)
0,07	Ríos y lagos	(26)
0,0003 – 0,1	Ríos	(9)
0,001 – 0,01	Ríos y lagos prístinos	(30)
Otros valores de interés		
Concentraciones de mercurio ambiental ($\mu\text{g/L}$)		Referencia
< 0,1	Aguas Lluvias	(24)
< 0,1	Agua potable	(24)
< 0,05	Agua de mar	(9,26)
<0,24	Ríos Canadienses	(26)

La norma para el mercurio en agua potable según la OMS es 1,0 $\mu\text{g/L}$.

La legislación colombiana establece que las fuentes hídricas podrán ser destinadas para consumo humano siempre y cuando su concentración de mercurio sea menor a 2,0 $\mu\text{g/L}$ (Tabla 4). Desafortunadamente, según información publicada en agosto del 2013 por el diario El Espectador, se han detectado niveles de mercurio de hasta 5,0 $\mu\text{g/L}$ en la ciénaga de Ayapel (Córdoba) (21); e igualmente, análisis de laboratorio del año 2010 mostraron que las aguas del río Cabi (Quibdó), el cual sirve como fuente de abastecimiento para el acueducto de la ciudad, presentaban concentraciones superiores a 3,0 $\mu\text{g/L}$. Paradójicamente, se supone que las fuentes de abastecimiento deben ser limpias, y estar protegidas de la influencia del hombre, algo que claramente no ocurre en muchas regiones del país.

Tabla 4. Concentraciones admisibles de mercurio según la destinación del recurso hídrico de acuerdo con la legislación colombiana

Variable	Concentración admisible de mercurio en fuentes hídricas destinadas para:	Valor ($\mu\text{g/L}$)	Referencia
Colombia	Consumo humano y doméstico	2,0	Art. 38 y 39, Dec. 1594/84*
	Actividades pecuarias	10,0	
	Actividades agrícolas	-	
	Preservación de flora y fauna	10,0	
California (EE-UU)	Protección vida acuática	0,05	(31)
Canadá	Protección vida acuática	0,026 (Inorgánico)	(32)
		0,004 (Orgánico)	
Estados Unidos	Protección vida acuática (EPA)	1,4	(31)

*En el caso colombiano, aunque el decreto 1594 de 1984 fue derogado en el año 2010, todavía siguen vigentes los artículos 20 y 21, y los artículos del 37-48, entre otros —ver Decreto 3930 de 2010— mientras el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial expide las regulaciones respectivas.

Vale la pena resaltar que las elevadas concentraciones de mercurio en aguas superficiales pueden deberse a factores como: altas concentraciones de mercurio tanto en sedimentos como en el material suspendido, la profundidad a la cual se toma la muestra, el clima y las condiciones hidrológicas, la limnología del cuerpo de agua, la cantidad de mercurio vertido y transformado en otras especies, etc. De todas maneras, son un indicio de que hay lugares contaminados con este metal, cuyas fuentes hídricas pueden ocasionarles problemas adicionales a las comunidades que viven a lo largo de ellas, donde los pobladores, además de consumir alimentos contaminados con mercurio, también consumen el agua (12,22).

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA por sus siglas en inglés) determinó que procesos como coagulación/filtración, filtración con carbón activado granular, ablandamiento con cal, y ósmosis inversa, son útiles para remover mercurio en agua por debajo de los 2,0 $\mu\text{g/L}$ (23). Seguramente, en las regiones afectadas, los sistemas de potabilización no están diseñados para eliminar este tipo de contaminantes, puesto que se supone que las fuentes de abastecimiento deben ser seguras y de buena calidad.

Exposición al mercurio a través del consumo de agua

Puesto que en las regiones afectadas por la minería del oro el mayor riesgo de contaminación con mercurio se debe al consumo continuo de peces contaminados y a la inhalación de vapores de mercurio, por lo general suelen omitirse otras formas de contaminación, que si bien no son tan tóxicas como las antes mencionadas, también contribuyen de manera gradual al deterioro de la salud humana. Una de estas fuentes potenciales es el agua

consumida. La misma Organización Mundial de la Salud (OMS) declara que el mercurio en el agua potable es considerado una fuente de exposición menor excepto cuando la polución es significativa (24) (Cuadro 1).

Cuadro 1

Suponiendo que el agua consumida tenga 4,0 µg/L de mercurio inorgánico (especie con menor grado de toxicidad) y una persona consume 1 litro de agua al día, la cantidad de mercurio consumido sería de 4,0 µg/día. La ingesta diaria admisible (IDA) de mercurio a través de alimentos está en el rango de 2-20 µg (según la OMS). Ahora, si la concentración de mercurio en el agua es mucho más alta, si también hay mercurio orgánico presente en la misma, y si se consumen otro tipo de alimentos contaminados con este metal (22,25) el impacto sobre la salud sería muchísimo mayor.

Hay que destacar que algunos autores argumentan que el riesgo de contaminación puede ser bastante bajo debido a que este metal reside principalmente en los sedimentos y una vez resuspendido es rápidamente consumido por microorganismos y especies acuáticas ubicadas en la base de la cadena alimenticia (26). De todas maneras, muchos investigadores están de acuerdo en que la toxicidad del mercurio depende principalmente de la vía y duración de la exposición, la dosis consumida y la edad de la persona (la etapa prenatal es crítica) (9,27).

En cuanto a los efectos del consumo de mercurio en la salud humana, existen discrepancias entre los investigadores, en lo que se refiere al consumo de bajas concentraciones de este metal, durante un tiempo prolongado (9). Este precisamente podría ser el caso en las regiones afectadas por la minería del oro, donde a diferencia del consumo de pescado, el agua si debe ser consumida diariamente, de hecho varias veces al día. En estos mismos sitios las fuentes hídricas son además utilizadas para la preparación de alimentos, para fines recreativos y para la producción agrícola (25).

Recientemente, investigadores de la Universidad de Cranfield (Inglaterra) determinaron que el consumo continuado de alimentos, aún con bajos niveles de este metal, también contribuye a la carga total de mercurio que afecta la salud humana (27).

El mercurio proveniente de los entables mineros no solo afecta la zona donde es vertido, sino también aquellas ubicadas aguas abajo de los mismos. Este finalmente llegaría a zonas agrícolas, de pesca y a fuentes de abastecimiento de agua potable, donde por lo general, las bocatomas, o sistemas de captación, se encuentran ubicadas más cerca de los sedimentos, donde es mayor la contaminación (8,13), que de la superficie de los ríos.

Retos para el gobierno colombiano

En el caso de las grandes compañías mineras que operan en el país y utilizan cianuro para la extracción del oro, se sabe que este tipo de tecnología requiere un mayor nivel de inversión y conocimiento especializado, pero su alta eficiencia permite recuperar mayores cantidades de oro que cuando se utiliza mercurio (28). El punto crítico es el manejo de los vertimientos, y el grado de responsabilidad ambiental con que se realiza la explotación minera. Cuando se utiliza al mismo tiempo tanto cianuro como mercurio, esto da lugar a la creación de un nuevo tipo de contaminantes que son especialmente peligrosos para la salud humana (28).

La situación es bastante compleja. Por un lado están los narcotraficantes y grupos armados al margen de la ley que se benefician del negocio, y por el otro los pequeños mineros que obtienen su sustento diario de la extracción del oro, poniendo en riesgo su salud y la de poblaciones enteras. El gobierno colombiano debe saber que aún si se suspende el uso del mercurio en la minería del oro, el metal que ya está acumulado en suelos y sedimentos seguirá contaminando durante décadas; será resuspendido y transportado en el ambiente a menos que se inicien procesos de remediación, lo cual minimizaría el daño causado. Adicionalmente, es posible que en el futuro las regulaciones sobre mercurio en el agua tiendan a ser cada vez más exigentes a medida que surja nueva información sobre la toxicidad de este metal.

La solución de fondo es, definitivamente, eliminar el uso de mercurio en la minería del oro. No obstante, y mientras esto ocurre, es útil implementar alternativas eficientes y ecológicas para minimizar su uso en el corto y mediano plazo. De todas maneras, es importante saber si la negligencia del gobierno radica en la falta de capacidad, o en la falta de interés. El gobierno colombiano tiene presente que la minería ilegal ayuda en gran medida a que Colombia sea uno de los 20 primeros productores de oro a nivel mundial, y que por ahora no tiene que preocuparse por la problemática social que resultaría al dejar a miles de mineros sin el sustento diario.

DISCUSIÓN

En aquellas regiones del país afectadas por la minería del oro deberían implementarse mecanismos para detectar concentraciones de mercurio superiores a las naturales, o a las permitidas por ley, con el fin de alertar a la población y a los operadores de los sistemas de potabilización. Estos últimos tomarían las acciones pertinentes para evitar que este tipo de aguas

lleguen a las plantas de tratamiento (si es que estas existen), y a su vez, informar a la autoridad ambiental para que investigue dicha situación.

El llamado es entonces a que el gobierno colombiano tome medidas en el asunto, que evalúe la magnitud del daño ambiental, que proteja la salud de todos los colombianos, que identifique aquellos sitios y fuentes hídricas con niveles de mercurio por encima de las concentraciones naturales, y que obligue a los responsables a resarcir el daño causado.

Hubo un tiempo en que los humildes habitantes de las zonas mineras utilizaban métodos ancestrales en la pequeña minería del oro, los cuales son por sí mismos ecológicos, ya que se trataba de una minería de subsistencia, utilizada para cubrir las necesidades básicas de quienes la practicaban, y cuyas herramientas principales son la barra, el almocafre, canalón, cachos y batea (29). Sin lugar a dudas, este tipo de minería se sigue practicando, prueba de ello es Oro Verde, una iniciativa creada por mineros chocoanos que utilizan técnicas ancestrales de la minería artesanal las cuales garantizan la protección del medioambiente y el uso sostenible de los recursos de la región. Esta iniciativa compite en desventaja con los grandes y pequeños mineros, con sus dragones, retroexcavadoras y toneladas de mercurio ▲

Conflicto de interés: Ninguno.

REFERENCIAS

1. Malm O. Gold mining as a source of mercury exposure in the Brazilian Amazon. *Environmental Research*. 1998;77(2):73–78.
2. De Lacerda LD, Salomons W. Mercury from Gold and Silver Mining. *A Chemical Time Bomb?* Berlin: Springer; 1998.
3. Artisanal Gold Council. Mercurywatch: Mercury released from ASGM. [Internet]. Disponible en: <http://www.mercurywatch.org/>. Consultado julio 2014.
4. Horizonte Minero. "TOP 20" mundial de países productores de oro [Internet]. Disponible en: <http://www.horizonteminero.com/articulos/amineria/799-top-20-mundial-de-paises-productores-de-oro.html>. Consultado julio 2014.
5. Burton P. The Colombian Gold Mining Industry - World Gold Analyst Special Report. [Internet]. Disponible es: <http://www.baterogold.com/i/pdf/Articles/ColGoldReport.pdf> Consultado julio 2014.
6. Ministerio de Minas y Energía. Sistema de Información Minero Colombiano. [Internet]. Disponible en: <http://www.simco.gov.co/>. Consultado julio 2014.
7. Fadini PS, Jardim WF. Is the Negro River Basin (Amazon) impacted by naturally occurring mercury? *Science of the Total Environment*. 2001;275(1-3):71–82.
8. Nevado JJB, Martín-Doimeadios RCR, Bernardo FJG, Moreno MJ, Herculano AM, et al. Mercury in the Tapajós River basin, Brazilian Amazon: a review. *Environment International* 2010;36(6):593–608.

9. Bank MS. Mercury in the environment: pattern and process. 1st ed. Univ of California Press; 2012.
10. Diaz E. Mercury Pollution at Gold Mining Sites in the Amazon Environment. University of Idaho, Idaho, 2000.
11. Fostier AH, Forti MC, Guimarães JR, Melfi AJ, Boulet R, et al. Mercury fluxes in a natural forested Amazonian catchment (Serra do Navio, Amapá State, Brazil). *Science of the Total Environment*. 2000;260(1-3):201–11.
12. UNEP United Nations Environment Programme. Mercury–Time to Act. 2013 [Internet]. Disponible en: http://www.unep.org/PDF/PressReleases/Mercury_TimeToAct.pdf. Consultado agosto de 2014.
13. Maurice-Bourgoin L, Quiroga I, Chincheros J, Courau P. Mercury distribution in waters and fishes of the upper Madeira rivers and mercury exposure in riparian Amazonian populations. *Science of the Total Environment*. 2000;260(1-3):73–86.
14. Veiga MM, Meech JA, Oñate N. Mercury pollution from deforestation. *Nature*. 1994;368(6474):816–7.
15. Roulet M, Lucotte M, Farella N, Serique G, Coelho H, Passos CS, et al. Effects of recent human colonization on the presence of mercury in Amazonian ecosystems. *Water, air, and soil pollution*. 1999;112(3-4):297–313.
16. Meech JA, Veiga MM, Tromans D. Reactivity of mercury from gold mining activities in darkwater ecosystems. *Ambio*. 1998;27(2):92–8.
17. Pfeiffer WC, de Lacerda LD, Malm O, Souza CMM, Silveira EG, Bastos WR. Mercury concentrations in inland waters of gold-mining areas in Rondônia, Brazil. *Science of the Total Environment*. 1989;87/88:233–40.
18. Appleton J, Williams T, Breward N, Apostol A, Miguel J, Miranda C. Mercury contamination associated with artisanal gold mining on the island of Mindanao, the Philippines. *Science of the Total Environment*. 1999;228(2–3):95–109.
19. Limbong D, Kumampung J, Rimper J, Arai T, Miyazaki N. Emissions and environmental implications of mercury from artisanal gold mining in North Sulawesi, Indonesia. *Science of the Total Environment*. 2003;302(1-3):227–36.
20. Malm O, Pfeiffer WC, Souza CM, Reuther R. Mercury pollution due to gold mining in the Madeira River basin, Brazil. *Ambio*. 1990;19(1):11–5.
21. Redacción Vivir. Mercurio en el agua de Ayapel. *El Espectador*. Bogotá; Agosto 26 2013. [Internet]. Disponible en: <http://www.elespectador.com/noticias/medio-ambiente/mercurio-el-agua-de-ayapel-articulo-442643>. Consultado agosto de 2013.
22. Olivero J, Johnson B, Arguello E. Human exposure to mercury in San Jorge river basin, Colombia (South America). *Science of the Total Environment*. 2002;289(1-3):41–7.
23. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). *Treatment Technologies For Mercury in Soil, Waste, and Water*. Washington, D.C.; 2007. p. 133.
24. WHO World Health Organization. *Mercury in Drinking-water*. Background document for development of WHO guidelines for Drinking Water Quality. Geneva; 2005. [Internet]. Disponible en: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/mercuryfinal.pdf. Consultado julio 2014.
25. Argumedo MP, Consuegra A, Vidal JV, Marrugo JL. Exposición a mercurio en habitantes del municipio de San Marcos (Departamento de Sucre) debida a la ingesta de arroz (*Oryza sativa*) contaminado. *Revista de Salud Pública*. 2013;15(6):903–15.
26. Veiga MM, Baker RF. *Protocols for environmental and health assessment of mercury released by artisanal and small-scale gold miners*. United Nations Publications; 2004. [Internet]. Disponible en: <http://www.unep.org/hazardoussubstances/Portals/9/Mercury/Documents/ASGM/PROTOCOLS%20FOR%20ENVIRONMENTAL%20ASSESSMENT%20REVISION%2018-FINAL%20BOOK%20sb.pdf>. Consultado Agosto de 2014.
27. Holmes P, James KAF, Levy LS. Is low-level environmental mercury exposure of concern to human health? *Science of the Total Environment*. 2009;408(2):171–82.

28. UNEP Chemicals – Assessment Report – Excess Mercury Supply In Latin America And The Caribbean, 2010-2050. 2009. [Internet]. Disponible en: <http://www.unep.org/chemicalsandwaste/Metals/Mercury/Informationmaterials/ReportsandPublications/tabid/3593/Default.aspx>. Consultado julio 2014.
29. Amichocó-Gomian. Pequeña Minería de Oro en Chocó, Colombia [Internet]. Gomiam, Small Scale Gold Mining in the Amazon. 2012. [Internet]. Disponible en: http://www.gomiam.org/wp-content/uploads/2015/04/infografia-pequen_a-mineria-final.pdf. Consultado julio de 2014.
30. Ravichandran M. Interactions between mercury and dissolved organic matter—a review. *Chemosphere*. 2004;55(3):319–31.
31. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). National Recommended Water Quality Criteria. Washington, D.C.; 2014. [Internet]. Disponible en: <http://water.epa.gov/scitech/swguidance/standards/criteria/current/index.cfm>. Consultado julio de 2014.
32. Environmental Canada Guidelines and Standards Division. Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life. Quebec; 2003. [Internet]. Disponible en: <http://www.env.gov.bc.ca/epd/>. Consultado julio 2014.