

Evaluación de la contaminación por vertimiento de mercurio en la zona minera, Pacarní - San Luis departamento del Huila

Assessment of water pollution due to mercury pouring (Huila – mining area of Pacarní, San Luis)

García Gómez Angela Goretty.

Resumen

En el presente trabajo se realizó un muestreo de tipo exploratorio en agua y sedimento en las quebradas cercanas a la zona minera de Pacarní-San Luis en el municipio de Iquira Departamento del Huila, así como en el Rio Pacarní y Yaguará principal afluente de la zona Brazo de Yaguará de la Represa de Betania; con el fin de determinar el grado de extensión de la contaminación por el uso de mercurio en la minería aurífera desarrollada en esta zona. Aunque los niveles encontrados en agua no superan los estándares nacionales para uso como recurso humano, domestico, pecuario o para la preservación de flora y fauna; si excede los criterios establecidos por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos EPA para los niveles de exposición crónica de la vida acuática; y en los sedimentos es posible evidenciar la dispersión de la contaminación desde la zona Minera de Pacarní-San Luis hasta la Represa de Betania, gestandose así una grave problemática en este ecosistema.

Palabras claves: Pacarní-San Luis, Mercurio, Minería, Oro, Huila

Abstract

This paper reports an exploratory study where samples of water and sediment are taken from gullies surrounding the mining area of Pacarní, San Luis (Iquira – Huila). Samples are also taken from the main streams of the area, namely Pacarní and Yaguará rivers, which supply water to a whole area called “Brazo de Yaguará” (Betania reservoir). The present study is intended to determine the extent of environmental damage caused by the use of mercury in the gold-mining processes conducted in the area. Although the pollution levels found in water do not exceed those stated by national regulations regarding consumption by humans, domestic use, consumption by cattle, or flora-and-fauna preservation; these pollution levels do exceed the criteria established by the Environmental Protection Agency (EPA) regarding regular exposure for underwater life. Furthermore, sediment samples reveal that there is considerable pollution dispersion from the mining area of interest (Pacarní-San Luis) up to Betania reservoir, which may represent potential problems for this ecosystem in the near future.

Keywords: Pacarní-San Luis, Mercury, Mining, Gold, Huila

Recibido: Mayo 03 de 2013 Aprobado: Mayo 30 de 2013

Tipo de artículo: Investigación científica y tecnológica.

Afiliación Institucional de los autores: Corporación Universitaria del Huila CORHUILA

El autor declara que no tienen conflicto de interés.

Introducción

La minería del oro es uno de los procesos extractivos que genera mayor cantidad de problemas ambientales, en parte por la utilización de mercurio y cianuro [1], la mayor contaminación se lleva a cabo durante el proceso de beneficio en la etapa de amalgamación y quema de esta, causando así la emisión y vertimiento de este metal al aire y a los cuerpos de agua; generando un alto riesgo para los trabajadores, sus familias y la población cercana en general. [2].

Se estima que la minería del oro artesanal y en pequeña escala produce entre el 20% y el 30% del oro del mundo, es decir, entre 500 y 800 toneladas anuales [3]. A pesar de que la técnica de amalgamación es ampliamente difundida ya que requiere menor tecnología y menor inversión de capital, conllevan gran contaminación para el medio ambiente; dado que el mercurio inorgánico se puede acumular en los sedimentos y en los cuerpos de agua [4]; en este punto los microorganismos como bacterias sulfato reductoras que viven allí, pueden convertirlo a la forma orgánica conocida como metilmercurio para luego ser acumulado por los peces y así llegar al hombre [5].

Algunas investigaciones sobre el mercurio concluyen que las personas o poblaciones expuestas a niveles bajos de mercurio orgánico pueden desarrollar alteraciones en las funciones del sistema nervioso con consecuencias neurofisiológicas graves; particularmente en el desarrollo de los fetos y en los niños pequeños [6]; [7]. El mercurio inorgánico también puede ser absorbido, pero por lo general en menores cantidades y con menor eficiencia que el metilmercurio; los problemas de salud causados por la intoxicación aguda con mercurio metálico y sus compuestos orgánicos se producen por la inhalación de vapores o ingestión de compuestos mercurícos [8].

El mayor problema del metil mercurio es su capacidad de bioacumulación y biomagnificación en las especies acuática, siendo responsable de la existencia de especies de pescado con contenidos de mercurio que pueden resultar nocivos para la salud humana. [9], la ingesta de pescado es la principal fuente por la cual el hombre puede estar expuesto al metil mercurio, [10] si cuenta con altos contenidos en metil mercurio representa un elevado factor de riesgo para el hombre, tanto en muy altas concentraciones, como en concentraciones no tan altas pero de forma continuada. [9]

Materiales y metodos

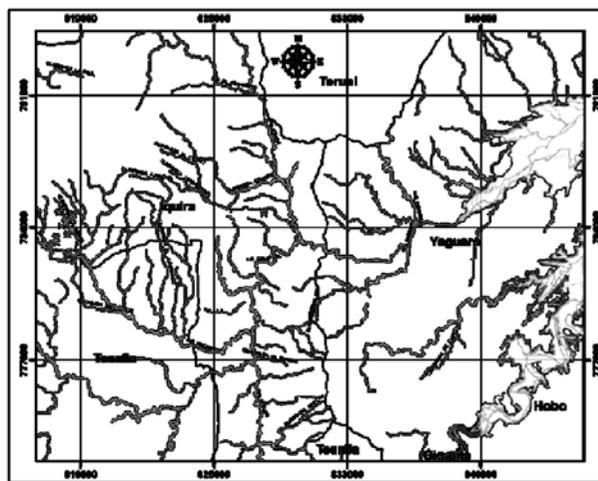
Para este estudio se realizó un análisis no experimental de clase transversal, con un alcance descriptivo.

Area de estudio

Esta comprende el municipio de Iquira y Tesalia, ubicado en la parte occidental del departamento del Huila, en estribaciones de la cordillera Central y la rivera del rio Magdalena; esta zona ha tenido como actividad principal la agricultura [11] pero ante la alta rentabilidad de la minería, están dejando esta actividad y prefieren dedicarse en su mayoría, a la minería del oro en pequeñas unidades productivas; con extracción y beneficio de mineral rudimentario. [12].

La principal corriente hidrográfica que cruza el área de estudio es el Rio Yaguará, el cual desemboca en la Repesa de Betania utilizada para la generación de energía y para desarrollar actividades de piscicultura; en este rio, confluyen una serie de Quebradas y ríos secundarios provenientes de la zona minera de Pacarní-San Luis; entre los que se destaca: Yaguaracito, Iquira, Pedernal, Callejon, La Maria, Pacarní, Macurí y San Francisco. La cuenca presenta formas aluviales en los valles, con relievos planos y ondulados.

Figura 1: Hidrografía y ubicación de minas auríferas.



Fuente: Autor del documento basado en información digital suministrada por la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena CAM.

Tabla I: Títulos mineros otorgados por Ingeominas en la Zona de Estudio.

Municipio	Código del título minero	Punto arcifinio	Descripción punto arcifinio
iQUIRA	FEE-12C	30658	Confluencia quebrada yerbabuena con quebrada la arenosa
	ELM-156	35807	Confluencia de la quebrada Narvaez con la quebrada Mazamorras
	IDR-10331	84899	Confluencia de la quebrada la Damita con el río Pacarní
TESALIA	ELM-156	35807	Confluencia de la quebrada Narvaez con la quebrada Mazamorras
	EE6-091	28921	Confluencia de la quebrada Aguacate y los Chorros
YAGUARÁ	ICQ-08542	85579	Confluencia del Río Pedernal con el Río de Yaguara
	ICQ-090083	40618	Confluencia de la quebrada Chamberrina en el embalse Betania Cota máxima de inundación
	ICQ-09131		
	IF1-14158X	46856	Límites de los municipios de Palermo, Yaguara y Campoalegre

Fuente: (INGEOMINAS, 2011)

De acuerdo con la memoria explicativa de la Plancha 344, los recursos minerales identificados en el área de estudio son escasos y se han explotado de tiempo atrás en pequeña escala. Los más promisorios son, entre otros, el oro de filón que se encuentra en algunas zonas mineralizadas en el sector de Pacarní – San Luis, donde se presentan filones de oro, plata y sulfuros, principalmente de hierro. Las características de los yacimientos en esta zona son típicas de zonas mineralizadas de origen hidrotermal, es decir zonas oxidadas en superficie como consecuencia de los procesos de meteorización que dejan vetas de cuarzo, oro y óxidos. [13] En esta zona hay otorgados por el Instituto Colombiano de Minas y

Energía INGEOMINAS nueve títulos mineros para la explotación de oro, bajo la modalidad contrato de concesión (L 685), y se encuentran identificadas siete (7) plantas beneficiadoras de oro a saber: Las Villas, La mina, La Esperanza, Grano de Oro, Las Brisas, La Mariana, La Milagrosa. Las plantas de beneficio que procesan mayor cantidad de bultos semanales son la milagrosa y grano de oro; algunas minas cuentan con sus propios cocos amalgamadores, si se tiene en cuenta que son 6 los entables que procesan el material extraído, con una total de mercurio aplicado de 23,2Kg Hg/semana [12], que las únicas contribuciones de mercurio al río corresponden al sector minero de Pacarní-San Luis, se puede decir que

Tabla II: Puntos de Beneficio y Recuperación del Material en el Área de Estudio

Punto de beneficio	Coordenadas	Vereda	Mineral procesado kl/Sem	Mercurio por coc (Kg)	Cocos cargados	Mercurio Total Kg /sem
Las Villas	N: 755022,76 E: 819446,38	Buenos Aires	300	0,250	6	1,5
La mina	N: 784314,53 E: 818230,96	Alto Damitas	1260	0,167	25	4,2
La Esperanza	NR NR	Cedro Damitas	400	0,250	8	2
Grano de Oro	N: 782756,24 E: 818494,68	Cedro Damitas	105	0,250	2	0,5
Las Brisas	N: 784360,58 E: 818265,01	Alto Damitas	1200	0,125	24	3
La Mariana	N: 782975,85 E: 817400,98	Cedro Damitas	No realiza amalgación	No realiza amalgación	No realiza amalgación	No realiza amalgación
La Milagrosa	N: 784784,17 E: 818614,77	Buenos Aires	1200	0,5	24	12

Fuente: (Centro provincial de Gestión Minero Agroempresarial CPGMAE Alto Nordeste Antioqueño, 2007).

de la cantidad de mercurio utilizado aproximadamente el 50% se dispone en el suelo y en el agua y un 25% se emite a la atmósfera. [14], es de esperar una pérdida del 30% de este metal en la zona; realizando un estimativo la emisión de mercurio sería de 6,96KgHg/semana. Al año se tendría un promedio aproximado de 362Kg Hg/Año.

Toma de datos

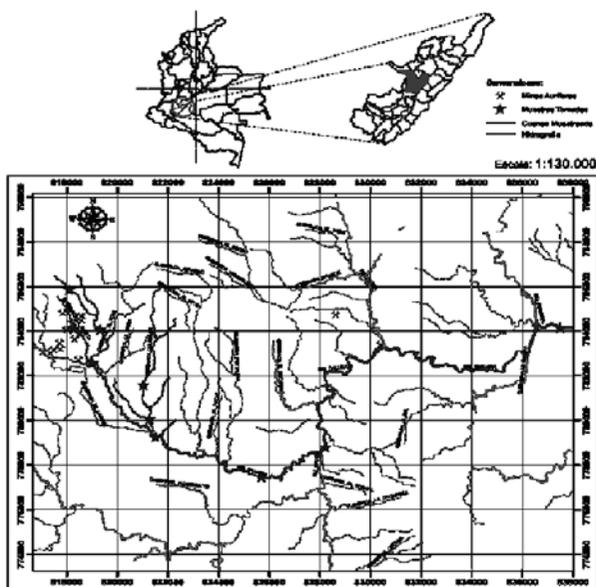
Para determinar el grado y la extensión de la contaminación producida por el uso de mercurio debido a la minería aurífera artesanal en la zona Minera de Pacarní-San Luis, se utilizó la metodología propuesta para la realización de

una prospección geoquímica de reconocimiento [15]. Se tomaron en total 10 muestras en el mes de septiembre del año 2011 en agua y sedimentos, las cuales fueron puntuales; las muestras fueron tomadas de acuerdo con la metodología propuesta por el IDEAM 2010, estas fueron tomadas en un mismo día, en las quebradas cercanas a la zona minera de Pacarní-San Luis, y posteriormente se realizaron tomas de muestras en el Rio Pacarní y en el Rio Yaguará, esto con el fin de abarcar desde la zona minera hasta la desembocadura del rio Yaguará en la Represa de Betania. Las coordenadas y la ubicación se muestran en la tabla III y figura II.

Tabla III: Coordenadas de los puntos muestreados en el cauce de las quebradas cercanas a la zona minera y el rio Yaguará. Origen: Bogotá, DC: Observatorio Bogotá (Colombia Bogotá zone)

Muestra	Descripción	Este (m)	Norte(m)	Este	Norte
R-1	San Luis Alto	818.112,811	785.902,731	75°42'58,691" W	2°39'42,58" N
R-2	San Luis Bajo	819.314,865	784.058,195	75°42'19,715" W	2°38'42,604" N
R-3	Damita Alto	818.257,887	784.120,371	75°42'53,92" W	2°38'44,583" N
R-4	Damita Bajo	819.024,716	782.545,262	75°42'29,04" W	2°37'53,357" N
R-5	Colorada	821.035,053	781.591,906	75°41'23,947" W	2°37'22,416" N
R-6	Colorada	521.304,479	780.120,423	75°41'15,168" W	2°36'34,54" N
R-7	Rio Pacarni Alto	821.503,757	779.285,387	75°41'8,685" W	2°36'7,374" N
R-8	Rio Pacarni	825.690,522	777.473,766	75°38'53,134" W	2°35'8,587" N
R-9	Pacarni Yaguará	828.215,938	778.832,481	75°37'31,469" W	2°35'52,907" N
R-10	Inicio Represa	837.501,279	784.203,599	75°32'31,198" W	2°38'48,072" N

Figura II: Puntos de muestreo en la zona de estudio



Las muestras de agua fueron recolectadas con botella muestreadora Vandor Wilco, todas las muestras de agua fueron preservadas con Acido Nítrico concentrado y refrigeradas (4°C) [16], para su posterior análisis en el laboratorio de Geoquímica de Ingeominas; estas fueron analizadas para mercurio mediante la técnica de Absorción Atómica con generación de hidruros con vapor frio. Con un sistema para análisis por inyección en flujo (FIA) FIAS400 (Perkin-Elmer). Esta técnica tiene un limite de detección de 0.6 µg Hg/Kg para agua. [17]

Las muestras de sedimentos fueron recolectadas empleando una draga tipo Ekman; estas fueron almacenadas en doble bolsa Ziplock, con el fin de evitar posibles contaminaciones de material, fueron refrigeradas (0-4°C), y enviadas para su analisis en el laboratorio de Geoquímica de Ingeominas de la ciudad de Bogotá; las muestras fueron analizadas mediante descomposición térmica y amalgamación con oro acoplada a absorción

atómica-vapor en frío; de acuerdo al método 7473 de la EPA. el límite de detección de este método según el laboratorio está establecido en $7 \mu\text{g Hg/Kg}$. [17]

Resultados

De las muestras de agua tomadas en las quebradas cercanas a la zona minera y el cauce del río Yaguará, la mayoría de las muestras analizadas no reportaron valores de mercurio, solo la muestra de agua identificada como R1 que corresponde a San Luis Alto, punto tomado cerca a la ubicación de las minas; se reporta un valor igual al límite de detección del equipo 0.6 ppb ; por tratarse de agua cruda superficial, la muestra se comparó con los lineamientos establecidos en el decreto 1594 de 1984 del Ministerio de Salud; este valor no supera los lineamientos establecidos por dicho decreto. Por otro lado todas las muestras de sedimentos presentaron niveles considerables de mercurio

Tabla IV: Resultados De Muestreo En El Cauce Del Río Yaguará

Puntos de Cauce del Río Yaguará	Concentración de Mercurio en el Agua $\mu\text{g} / \text{L}$	Concentración de mercurio en sedimentos $\mu\text{g} / \text{L}$
R-1	0.6	69
R-2	<0.6	206
R-3	<0.6	1497
R-4	<0.6	173
R-5	<0.6	40
R-6	<0.6	14
R-7	<0.6	55
R-8	<0.6	41
R-9	<0.6	41
R-10	<0.6	72

Análisis de Resultados

En la mayoría de las muestras de agua no se reportaron niveles de mercurio, esto se puede atribuir a que la fracción de mercurio soluble es menor que la fracción particulada aproximadamente el 5,5% [18] lo cual influye en que no se detecte mercurio en la columna de agua; de acuerdo con Iskander 1994 las concentraciones en

el medio agua suelen ser más bajas que las encontradas en los sedimentos, o en las especies de fauna y flora presentes en los cuerpos de agua, por esto en ocasiones un nivel bajo de contaminación en la columna de agua no necesariamente indica contaminación baja.

Si se compara el valor detectado en la columna de agua en el punto R1 ($0.6 \mu\text{g/L}$); con estudios realizados a nivel internacional, este valor se encuentra por encima de lo reportado en el Río Madeira en Brasil ($<0.04 - 0.46 \mu\text{g/L}$); pero es menor que los reportado en Colombia para otras zonas con mayor tradición minera, como es el caso del sector de Gramalotes en la quebrada El Bazal en Antioquia, donde se reportan valores de $1,1 \mu\text{g/L}$ durante el monitoreo llevado a cabo en el año 2009 como parte del Programa de Monitoreo de Pasivos Ambientales, desarrollado por la compañía B2GOLD [4]. Esto puede ser un indicio que en Colombia las técnicas utilizadas en la minería de oro tradicional trabajan con mayores cantidades de mercurio, ocasionando mayores emisiones de este metal pesado al medio ambiente. Ahora si se compara el nivel de mercurio detectado en la columna de agua con la normatividad Colombiana, a través del decreto 1594 de 1984 del Ministerio de Salud, este valor no excede el límite establecido para ninguno de los usos como recurso humano, doméstico, pecuario o para la preservación de flora y fauna; sin embargo excede los criterios establecidos por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos EPA para los niveles de exposición crónica de la vida acuática $0,012 \mu\text{g/L}$. [9]

Las concentraciones de mercurio encontradas en los sedimentos son siempre mayores que las reportadas en el agua, ya que el mercurio al ser un metal pesado tiende a depositarse en los sedimentos [15]. Debido a que no se cuenta con información geoquímica de mercurio natural, publicada oficialmente al momento de este estudio por Ingeominas, entidad encargada de realizar el mapa de prospección geoquímica de la zona; los resultados no se referencian con valores de fondo o valores naturales de mercurio en esta área de estudio, sin embargo estos no son descartados; ya que al haber presencia de oro el mercurio puede llegar a presentarse de manera natural.

El valor más alto de mercurio en sedimentos encontrado en este estudio fue de $1497 \mu\text{gHg/Kg}$ en la quebrada Damita alto, lugar de concentración de la mayor cantidad

de títulos mineros otorgados por Ingeominas en la zona; resultado que es superior al reportado como niveles naturales de mercurio en otros estudios los cuales indican un rango entre 5 - 50 $\mu\text{gHg/Kg}$ [19], si comparamos este valor con los obtenidos en las otras fuentes cercanas como quebrada la Damita y la Colorada (60 - 206 $\mu\text{gHg/Kg}$; y 40 - 14 $\mu\text{gHg/Kg}$); este valor anómalo se puede atribuir a contaminación de tipo antrópica, producida por el beneficio del oro; pero esta concentración se reduce drásticamente kilómetros mas abajo de este punto, ya que se reportan un valor de 173 $\mu\text{gHg/Kg}$ teniendo una disminución de 1324 $\mu\text{gHg/Kg}$; disminución que puede ser atribuida al ciclo del mercurio en la naturaleza; dado que una vez que es emitido al ambiente este presenta gran afinidad por las materia orgánica y por la fracción fina del sedimento, el cual es atrapado por este, posteriormente se puede presentar una descomposición producto algunas veces de microorganismos y así poder llegar al ambiente nuevamente [20].

Es de resaltar que la persistencia del contenido metálico en los sedimentos al alejarnos de la fuente de emisión no parece tener nuevos aportes de este metal desde otras posibles fuente a lo largo del rio; ya que no se presentan en la zona industrias que puedan estar aportando dicho metal (Industrias de Cloro-álcali), así como tampoco se tienen registros de agroquímicos aplicados en la zona que en su formulación presenten mercurio.

A nivel internacional se tiene reportes mas altos de mercurio en los sedimentos producto del beneficio del oro, los cuales alcanzan valores de 7400 $\mu\text{gHg/Kg}$ en Carolina del Norte EEUU; 32000 $\mu\text{gHg/Kg}$ en Mindanao Filipinas [21], y 157000 $\mu\text{gHg/Kg}$ en Brasil [18], sin embargo es necesario tener en cuenta que en estos lugares la explotación minera está más desarrollada y la producción es mucho mayor que el zona de Pacarní-San Luis, razón por la cual reportan valores mas elevados de contaminación por este metal.

A nivel internacional no existe un conceso, sobre la dispersión del mercurio en las cuencas donde se realiza la extracción del oro de manera artesanal; y la importancia de esta actividad para el aporte del metal, por ejemplo Lechler et al (2000) argumento que el mercurio en la cuenca del rio Madeira en la Amazonia brasileña se debía mas probablemente a la erosión de los suelos que a

la minería artesanal en la cabecera de la cuenca; por otro lado Slotton et al (1995) encontró una clara señal de la contaminación por mercurio en la Sierra Nevada de California y la minería artesanal desarrollada cerca de esta área; sin embargo en este estudio se puede evidenciar la dispersión de la contaminación desde la zona Minera de Pacarní-San Luis hasta la Represa de Betania, ya que las corrientes arrastran el mercurio contenido en los sedimentos, desde la zona minera hasta la entrada de la represa de Betania en el punto R10, gestandose así una grave problemática en este ecosistema.

Conclusiones

La actividad minera llevada a cabo en la zona de Pacarní-San Luis en el Departamento del Huila, está generando una contaminación del recurso agua, tanto en las quebradas cercanas a está como en el Rio Yaguará principal afluente de la zona Brazo de Yaguará de la Represa de Betania.

El valor mas alto de mercurio encontrado en sedimentos cercanos a la zona de explotación aurífera, fue de 1497 $\mu\text{gHg/Kg}$ debido a contaminación antrópica producto del beneficio del oro; y aunque este se reduce drasticamente aguas abajo, se puede generar un riesgo para las personas que habitan este sector, dado que este metal se puede convertir a su forma organica, y llegar a los peces quedando disponible así para entrar en contacto con el hombre.

Ninguno de los valores reportados en la Zona de estudio en agua exceden los limites permitidos para la preservación de flora y fauna del Decreto 1594 del 84; pero algunos valores si se encuentran por arriba de lo recomendado por la EPA para mercurio en agua dulce.

Se evidencia la dispersión de la contaminación desde la zona Minera de Pacarní-San Luis hasta la Represa de Betania, ya que las corrientes arrastran el mercurio contenido en los sedimentos, desde la zona minera hasta la entrada de la represa de Betania en el punto R10, gestandose así una grave problemática en este ecosistema.

Bibliografía

- [1] Organización Munidal de la Salud. (2012, Apr.) Nota descriptiva: El mercurio y la salud. [Online]. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs361/es/>

- [2] Unidad de Planeación Minero Energetica UPME, *Producción mas limpia en la minería del oro en Colombia Mercurio, Cianuro y otras sustancias*. Bogotá, Colombia: Unidad de Planeación Minero Energetica, 2007.
- [3] Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente PNUMA, *Evaluación mundial sobre mercurio*. Ginebra, Suiza: PNUMA Productos quimicos, 2002.
- [4] L Machado, J Ospina, N Henao, and F. Marin, *Tesis: Problemática ambiental ocasionada por el Mercurio proveniente de la minería aurífera tradicional, en el corregimiento de Providencia, Antioquia. Medellín*. Medellín, Antioquia, Colombia: Universidad de Antioquia, 2010.
- [5] Barceló, *TESIS DOCTORADO: ESTUDIO DE LA MOVILIDAD DE Ca, Cd, Cu, Fe, Mn, Pb y Zn en sedimentos de la pre sa José Antonio Alzae en el Estado de Mexico*. Mexico: Univesidad Autónoma del Estado de Mexico, 2000.
- [6] J Lebel, M Roulet, D Mergler, M Lucotte, and F Larribe, "Fish diet and mercury expose in a riparian amazonian population," *Water, Air and Soil Pollution*, pp. 31-44, 1996.
- [7] et al Xue J, "Methyl mercury exposure from fish consumption in vulnerable racial/ethnic populations: Probabilistic SHEDS-Dietary model analyses," *Science of the Total Environment*, pp. 1-7, 2011.
- [8] Luis Gregorio Machado, Jorge Hernan Ospina, Nathalia Andrea Henao, and Fabian Dario Marin, , Enero 2010.
- [9] P. Higuera et al. RUIdeRA, el Repositorio Institucional de la UCLM. [Online]. https://ruidera.uclm.es/xmlui/bitstream/handle/10578/2965/fi_1359044071-consideraciones%20ambientales.pdf?sequence=1
- [10] J Olivero and B. Johnson, *El lado gris de la minería del oro: La contaminación con Mercurio en el norte de Colombia*. Cartagena: Universidad de Cartagena, 2002.
- [11] Gobernacion del Huila, "Anuario Estadístico del Huila," Huila, Gobernación del Huila, Neiva, Anuario 2003.
- [12] Centro provincial de Gestion Minero Agroempresarial CPGMAE Alto Nordeste Antioqueño, "Diagnostico ambiental para la explotación, explotación y beneficio de oro en el sector minero de Pacarni, entre Tesalia e Iquira departamento del Huila," Centro provincial de Gestion Minero Agroempresarial -CPGMAE- Alto Nordeste Antioqueño, Neiva, 2007.
- [13] Ingeominas, *Memoria Explicativa plancha 344*. Bogotá, 1999.
- [14] Didier Sánchez and Julio Cañón, "Análisis documental del efecto de vertimientos domésticos y mineros en la calidad del agua del río condoto (Chocó, Colombia)," *Revista Gestión y Ambiente*, vol. 13, no. 3, pp. 115-130, Diciembre 2010.
- [15] R Higuera and P Oyarzun, "Prospección geoquímica: conceptos básicos Yacimientos Minerales," Centro de Estudios Ramón Areces, Madrid, 1984. [Online]. http://www.uclm.es/users/higuera/MGA/Tema04/Prospeccion_geoquimica_0.htm
- [16] for Water and Wastewater Examination Standard Methods, *Standard Methods for Water and Wastewater Examination - 20th*. Washigton D.C: American Public Health Association, 1999.
- [17] Laboratorio de Geoquímica, "Informe de resultados y servicios," INGEOMINAS, Bogotá, Informe tecnico 2011.
- [18] Luiz Drude de and MALM, Olaf Lacerda, "Contaminação por mercúrio em ecossistemas aquáticos: uma análise das áreas críticas," *Estud. av. [online]*, pp. 173-190, 2008.
- [19] L Loredó, A Ordoñez, Fernandez-Martinez, and Rucandio. (2008) Biodisponibilidad del mercurio en suelos contaminados por explotaciones mineras. [Online]. http://ingenierosdeminasdelevante.org/documentos/biodisponibilidad_mercurio.pdf
- [20] Fabio Muñoz and Jorge Delgado, *Tesis: Determinación de mercurio en suelos de Bucaramanga, utilizando un pirolizador acoplado a un detector de mercurio basado en espectroscopía de absorción atómica diferencial de ZEEMAN*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2006.

- [21] J Appleton, T Williams, H Orbea, and M Carrasco, "FLUVIAL CONTAMINATION ASSOCIATED WITH ARTISANAL GOLD MINING IN THE PONCE ENRÍQUEZ, PORTOVELO-ZARUMA AND NAMBIJA AREAS, ECUADOR," *Water, Air, and Soil Pollution*, no. 131, pp. 19–39, 2001.
- [22] Colombia Banco de la Republica. (2011) Series estadísticas de metales preciosos. [Online]. http://www.banrep.gov.co/series-estadisticas/see_met_prec_dia.htm
- [23] Wolfgang Griem and Susanne Griem-Klee. (2011, June) Apuntes Geología General. [Online]. <http://www.geovirtual.cl/EXPLORAC/TEXT/03000g~1.htm#M%E9todo%20geoqu%EDmico%20de%20exploraci%F3n>
- [24] Galo Montenegro. (2005) CIB Centro de Información bibliotecario. [Online]. <http://www.cib.espol.edu.ec/Digipath/Librospdf/Libro%20Geoqu%C3%ADmica.pdf>
- [25] Christopher Gammons et al., "Mercury concentrations of fish, river water, and sediment in the Rio Ramis-Lake Titicaca watershed, Peru," *Science of the Total Environment*, no. 368, pp. 637-648, 2006.
- [26] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, "Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra Metodología CORINE Land COVER adaptada para Colombia Escala 1:100.000," Bogotá, 2010.
- [27] C Buitrago, "Ocurrencias Minerales del Departamento del Huila," INGEOMINAS, Ibagué, internal report 1976.
- [28] Loredo J, Ordoñez A, Fernandez-Martinez R, and Rucandio. (2008) Biodisponibilidad del mercurio en suelos contaminados por explotaciones mineras. [Online]. http://ingenierosdeminasdelevante.org/documentos/biodisponibilidad_mercurio.pdf
- [29] Jhony Alberto Moreno Requena, , 2008.
- [30] Programa de las naciones unidas para el medio ambiente, Evaluación mundial sobre el mercurio, Diciembre 2002.
- [31] Néstor Javier Mancera Rodríguez and Ricardo Álvarez León, "Estado del conocimiento de las concentraciones de mercurio y otros metales pesados en peces dulceacuícolas de Colombia," *Acta Biologica Colombiana*, vol. 11, no. 1, pp. 3-23, 2006.
- [32] Claudia X. Ramos, Sandra L. Estévez, and Eugenio Giraldo., Nivel de contaminación por metilmercurio en la region de la Mojana, 2000.
- [33] Fredy Pantoja, "Tecnologías apropiadas para disminuir la contaminación ocasionada por el mercurio en la minería del oro", in *Jornada Internacional sobre el impacto ambiental del mercurio utilizado por la minería aurífera artesanal en Iberoamérica*, Peru, 2001.
- [34] ORGANIZACION PANAMERICANA DE LA SALUD, *CRITERIOS DE SALUD AMBIENTAL 1: MERCURIO*. Washington, D.C: OPS, 1978.
- [35] Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE). (2000) Publicaciones. [Online]. <http://www.gama-peru.org/libromedmin/index.html>
- [36] Gavin Hilson, "Abatement of mercury pollution in the small-scale gold mining industry: Restructuring the policy and research agendas," *Science of the Total Environment*, vol. 362, pp. 1-14, 2005.
- [37] Felib Iskander, Hector Vega-Carrillo, and Eduardo Manzanares, "Determination of mercury and other elements in La Zacatecana Dam sediment in Mexico," *The Science of the Total Environment ELSEVIER*, pp. 45-48, 1994.

La Autora



Ing. Química-MSc Angela Goretty García Gómez

Ingeniera química egresada de la Universidad Pontificia Bolivariana, con estudios de Maestría en Ingeniería Civil con énfasis en Gestión Ambiental de la Universidad de los Andes; directora del grupo de investigación Efecto Ambiental reconocido ante Colciencias en la convocatoria 2012, docente Auxiliar de la Corporación Universitaria del Huila Corhuila donde orienta las cátedras de química ambiental, Toxicología ambiental y control de la contaminación atmosférica.