

Análisis documental del efecto de vertimientos domésticos y mineros

en la calidad del agua del río condoto (Chocó, Colombia)

Analysis of water quality issues associated with mining and residential

wastewaters in the condoto river (Chocó, Colombia)

Recibido para evaluación: 19 de Febrero de 2010

Aceptación: 04 de Noviembre de 2010

Recibido versión final: 30 de Noviembre de 2010

Didier E. Sánchez Arriaga¹

Julio E. Cañón Barriga²

RESUMEN

El río Condoto es uno de los principales afluentes del río San Juan en el departamento del Chocó; sus aguas son usadas para fines domésticos, recreativos, mineros, de pesca artesanal, de navegación y como fuente abastecedora del acueducto de Condoto. Su lecho, rico en oro y platino, se ha caracterizado por sus niveles de cristalinidad y por su riqueza ictiológica. Sin embargo, en los últimos 20 años, la calidad del agua del río Condoto ha disminuido debido principalmente a actividades antrópicas, y en especial a las explotaciones mineras con retroexcavadoras. El presente trabajo hace un análisis de los vertimientos de minería y de los alcantarillados de las poblaciones urbanas y rurales que descargan sus aguas directamente al río. Además, presenta la localización de estas fuentes contaminantes mediante diagramas conceptuales y hace un estimativo de su aporte de caudal y carga contaminante (SST y mercurio) al río. Las cargas de SST provenientes de estas actividades se estiman en 21- 26 ton/día en la desembocadura sobre el río San Juan. La cantidad anual de mercurio vertida al río desde las explotaciones mineras (estimada entre 200 y 1000 kg/año con base en la producción local de oro y platino) indica que alcanza niveles detectables directamente en el río, los cuales pueden rastreadse incluso en algunas especies de peces afectadas, y representan un riesgo de salud pública para los habitantes.

Palabras Clave: Explotaciones mineras, vertimientos, caudales, carga contaminante de SST, mercurio.

ABSTRACT

The Condoto River (Chocó, Colombia) is an important source of domestic water supply, recreation, fishing, mining and navigation of several towns in the basin. The river, which has been known in the past for its purity and fish diversity, has experienced in the last 20 years a decrease in water quality, mainly due to human activities such as untreated sewage disposals and mining operations to extract gold and platinum from its riverbed. This paper studies the effects of mining and sewage disposal from urban and rural populations that discharge directly into the river. Using conceptual flow diagrams, the study shows the location of these sources of pollution and estimates their discharges and pollutant loads (TSS and mercury) along the river. TSS at the river's outlet was estimated in 21-26 ton/day. The estimated annual amount of mercury that is discharged into the river from gold mines (based on the local production of gold and platinum) was estimated in 0.2 to 1.0 ton/year, a load that may be easily traced in the river and which concentrations may have already impacted some fish species and therefore may pose risk to human health in the local communities.

Key Words: Mining, dumping, flow, pollutant load, mercury.

1. Ing. Ambiental, Esp. en Manejo y Gestión del Agua, Universidad de Antioquia

2. Ingeniero Civil, MSc, PhD en Hidrología Profesor Universidad de Antioquia

jecanon@udea.edu.co

1. INTRODUCCIÓN

El río Condoto es uno de los principales afluentes del río San Juan en el departamento del Chocó, Colombia (figura 1). Este río es de gran importancia para el municipio de Condoto debido a su uso como fuente abastecedora del acueducto municipal y además porque sirve como vía de comunicación fluvial entre la zona urbana y los corregimientos ubicados a lo largo del río. En su parte alta, las aguas son puras y cristalinas. Su lecho es rico en oro y platino, siendo el mayor productor del segundo en Colombia (Ministerio de Minas y Energía, 2008), lo que ha dado origen al desarrollo de actividades mineras a lo largo de su cauce.

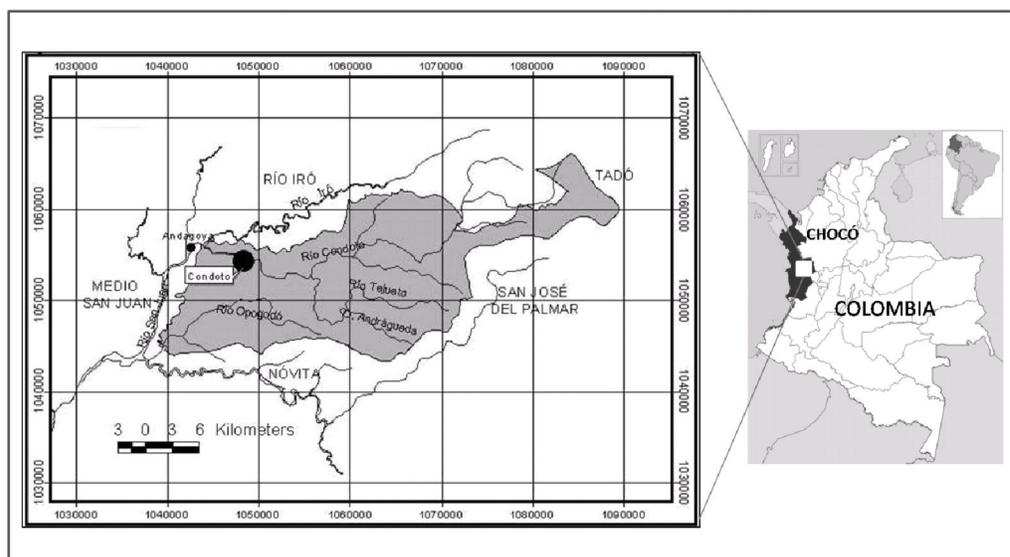


Figura 1. Localización del río Condoto, Chocó, Colombia (adaptado de IAP, 2007)

En los últimos 20 años, las características del río Condoto han cambiado por el aporte de fuentes de contaminación, dando origen a un deterioro de la calidad del recurso hídrico (Alcaldía de Condoto, 2008).

El presente trabajo tiene como finalidad identificar los principales problemas de calidad de aguas en el río Condoto con base en estudios existentes y realizar estimaciones del aporte de los vertimientos de fuentes contaminantes. Inicia con el análisis de los proyectos, estudios e investigaciones existentes sobre el río Condoto, que permitieron la identificación de las principales causas o actividades que han originado el deterioro del río; y enfatiza en los vertimientos de las actividades de explotaciones mineras y los vertimientos de aguas residuales de alcantarillados urbanos y rurales del municipio.

El estudio hace una estimación de los aportes de caudal y carga contaminante de sólidos suspendidos totales (SST) de las fuentes contaminantes estudiadas (vertimientos mineros y de alcantarillados) y de la cantidad anual de mercurio que es vertida al río, proveniente de las explotaciones mineras, con base en la producción local de oro y platino. Las fuentes contaminantes se localizan mediante diagramas conceptuales del río Condoto para facilitar su comprensión.

Finalmente, concluye que las actividades de explotaciones mineras son la principal fuente de contaminación en el río y formula algunas recomendaciones para adelantar controles más exhaustivos en el río y para futuras investigaciones de sus aguas.

2. METODOLOGIA

El trabajo partió de una revisión de la bibliografía en varias entidades que han desarrollado proyectos, estudios e investigaciones relacionados con el río Condoto o sus afluentes, tales como la Universidad Tecnológica del Chocó Diego Luis Córdoba, la Corporación Autónoma Regional para el Desarrollo Sostenible del Chocó, CODECHOCO, y el Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico, IIAP; consultó además los temas tratados en los Consejos comunitarios. Analizó los estudios clasificados sobre el río Condoto para identificar las principales causas o actividades que han originado el deterioro del río, en especial la minería. Los estimativos del aporte de caudal y carga contaminante de SST de las principales fuentes de contaminación y los aportes de mercurio procedentes de las actividades mineras de explotación de oro se hicieron con base en datos proporcionados por varios autores acerca del uso del mercurio para la extracción de oro en regiones de Colombia, Perú y Brasil. Los datos se localizaron espacialmente mediante diagramas conceptuales del río Condoto, que muestran una continuidad hidráulica simplificada de los aportes. Para obtener información relacionada con el cumplimiento de las exigencias legales en cuanto a la preservación del recurso hídrico del río Condoto se consultaron fuentes como CODECHOCO a nivel departamental, e INGEOMINAS a través de su página de internet.

3. RESULTADOS

Debido a diferentes actividades antrópicas como las explotaciones mineras y los vertimientos de alcantarillados, la calidad del recurso hídrico del río Condoto ha disminuido, ocasionando problemas de sedimentación, turbiedad, afectación de la vida acuática, disminución de la disponibilidad de agua para los diversos usos, bioacumulación de mercurio, entre otros (CODECHOCO, 2008a), razón por la cual es necesario analizar las principales causas del deterioro del río y plantear posibles medidas de control, recuperación y manejo, que conlleven a la conservación de este recurso hídrico.

3.1. Análisis estimativo de usos y aportes de caudales en el río Condoto

Se presenta un estimativo de la captación y aporte de caudales de las actividades desarrolladas a lo largo del cauce del río Condoto. Los vertimientos provienen de alcantarillados del casco urbano del municipio y de corregimientos como El Paso y Santana. Adicionalmente, existen vertimientos de aguas residuales de las explotaciones mineras. La figura 2 contiene un diagrama conceptual de la localización de los principales vertimientos y captaciones a lo largo del río.

3.1.1. Caudales de la población

Según el Esquema de Ordenamiento Territorial de Condoto (Alcaldía de Condoto, 2005), el río Condoto tiene un caudal de aguas bajas de aproximadamente 15.3 m³/s y en sus niveles normales, es navegable en lancha de calado aceptable, con motores fuera de borda, y en chalupas desde su desembocadura hasta la localidad de El Paso.

De acuerdo con el censo DANE de 2005, el municipio de Condoto cuenta con una población de 12.404 habitantes, de los cuales 8.745 se encuentran en la cabecera municipal y 3.659 en la zona rural. El corregimiento del Paso tiene 477 habitantes y el corregimiento de Santana, 710 habitantes aproximadamente.

El caudal aportado por estas poblaciones se estima con base en cuatro referencias: RAS 2000 (MDE, 2000), Romero (2001), Metcalf y Eddy (1995) y Ramalho (1996).

De acuerdo con el RAS 2000 (MDE, 2000), el municipio de Condoto presenta un nivel de complejidad bajo. De la tabla B.2.2 del RAS 2000, se asume una dotación de 100 l/hab-día para la población, el caudal promedio de aguas residuales domésticas se obtiene así:



$$Q(l/s) = \frac{P \times D_{bruta} \times R}{86400} \quad y \quad D_{bruta} = \frac{D_{neta}}{1 - \%p}$$

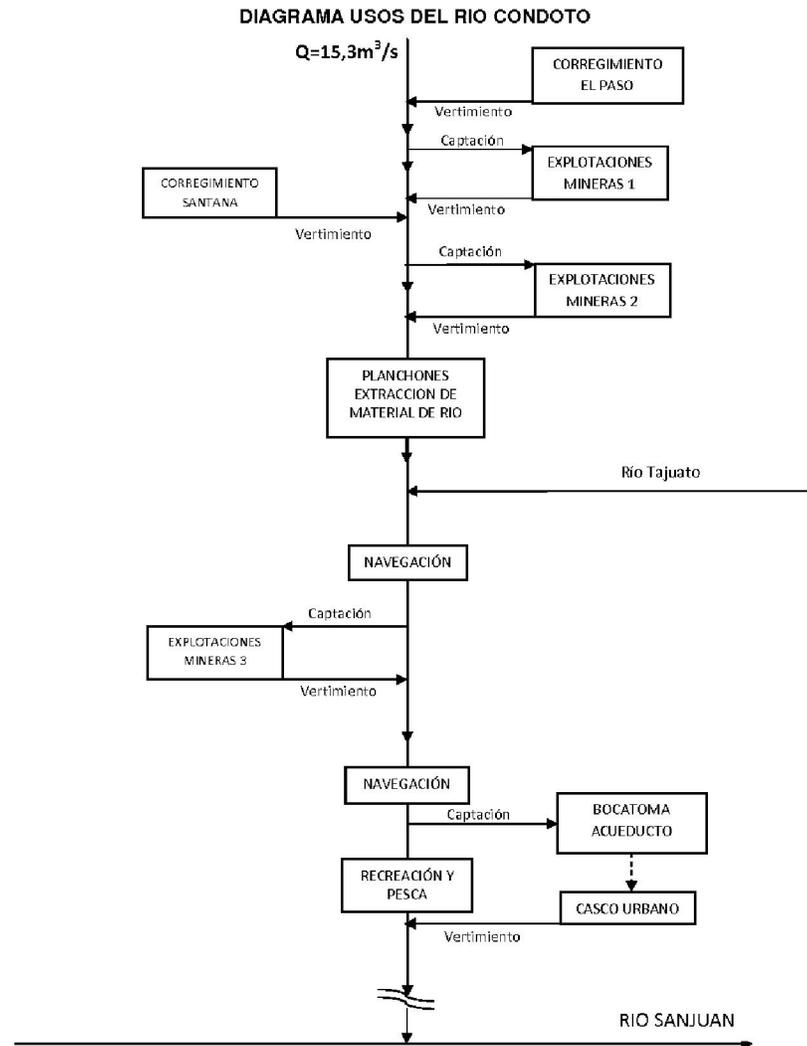


Figura 2. Actividades de vertimiento y captación en el río Condoto (mapa conceptual)

donde: P= población, D_{neta} =dotación (asumido de 100 l/hab- día), R= porcentaje de retorno (asumido de 85%), %p: pérdidas (asumido de 39%).

Según Romero (2001), en la ciudad de Medellín, las aguas residuales domésticas sin infiltración presentan un caudal de 175 l/hab- día en la zona urbana y de 150 l/hab- día en la zona rural. Es necesario tener en cuenta que el municipio de Condoto, al igual que sus corregimientos, presenta hábitos de consumo distintos a los de otras zonas del país ya que muchos de sus hogares se abastecen directamente de las aguas del río Condoto y de las lluvias. Metcalf y Eddy (1995) presentan unos rangos típicos de los caudales de aguas residuales, de los cuales el que más se asemeja a los hábitos de consumo en el municipio de Condoto es la clasificación de vivienda antigua que presenta este autor, donde se establece un intervalo de 115 a 225 l/hab- día, siendo el valor típico de 170 l/hab- día. Finalmente, Ramalho (1996) presenta valores de aguas

residuales domésticas entre 150 y 350 l/hab- día, siendo la media de 250 l/hab- día, un valor que puede considerarse en el límite superior, considerando los hábitos de consumo en el municipio de Condoto. La tabla 1 presenta el aporte de caudal de la población que se ha estimado con base en estas cuatro fuentes bibliográficas. La figura 3 muestra los rangos de caudales estimados para los vertimientos y captaciones a lo largo del río.

	Población (habitantes)	Aportes de Caudal al río (l/s)			
		RAS, 2000	ROMERO, 2001	METCALF y EDDY, 1995	RAMALHO, 1996
Cabecera Municipal	8745	14,10	24,68	23,98	35,26
El Paso	477	0,77	1,15	1,31	1,92
Santana	710	1,15	1,72	1,95	2,86

Tabla 1. Caudal estimado de las Poblaciones

3.1.2. Caudales de las explotaciones mineras

En la cuenca del río Condoto, se realizan actividades de extracción y beneficio de oro y platino, usando retroexcavadoras e insumos como mercurio y aceites. Estas actividades mineras se desarrollan en las márgenes del río Condoto a pocos metros de su cauce natural, incumpliendo la distancia de zonas de protección para ríos que debe ser de 30 metros como mínimo a lado y lado del cauce del río, según el Código Nacional de Recursos Naturales (Decreto 2811, 1974). Adicionalmente dentro del río Condoto, se ejecutan actividades mineras que ocupan el cauce sin autorización, incumpliendo con lo establecido en el título III del Decreto mencionado anteriormente referente a la explotación y ocupación de los cauces, playas y lechos.

Debido a la ilegalidad de la mayoría de las explotaciones mineras, al poco sedentarismo y a la falta de estudios previos de exploración, no existen datos concretos de la cantidad y ubicación de los entables mineros en el municipio de Condoto. Sin embargo, se observa que la mayoría de las explotaciones mineras se realiza a orillas del río. Además, se debe considerar otro factor importante: los problemas de orden público que dificultan el acceso a muchas zonas, específicamente en la parte alta del río Condoto, cerca del corregimiento El Paso.

Según el estudio de «Formulación del Plan de Ordenamiento Minero- Ambiental (CODECHOCO, 2008b), en el año 2008, existían aproximadamente 24 entables mineros. De acuerdo con este dato y con la opinión de las personas que habitan o han tenido experiencia en el sector (incluido el autor principal del presente artículo), las 24 minas se pueden agrupar en tres sectores a lo largo del río Condoto (Figura 2): el primer sector con ocho minas (35%); el segundo con 10 minas (40%) y el tercero con seis minas (25%). El primer sector de ocho minas se ubica aguas abajo del corregimiento El Paso; el segundo sector se localiza justo después del corregimiento de Santana; finalmente, a una hora aproximadamente del casco urbano por vía fluvial, se observa el tercer grupo de explotaciones mineras.

Otro factor importante es la presencia de planchones, unas embarcaciones que se ubican dentro del cauce del río y extraen el material directamente de la fuente hídrica, por medio de retroexcavadoras, para la obtención y el beneficio de oro y platino. El principal problema de este tipo de explotación es el cambio que originan en las características hidráulicas y geomorfológicas del río Condoto debido a la acumulación de material extraído, a la desviación del cauce y a los cambios en la capacidad de transporte de sedimentos (depósito y arrastre).

De acuerdo con Ortiz (2004), un metro cúbico de mineral necesita 400 galones de agua para batir y lavar en la tolva y 200 galones adicionales en el clasificador, para un total de 600 gal/m³ de mineral. Si la capacidad de producción en el frente de explotación es de 51 m³/hora, se tiene:

$$Q_{\text{captado}} = 600 \frac{\text{gal}(\text{agua})}{\text{m}^3(\text{mineral})} \times 51 \frac{\text{m}^3(\text{mineral})}{\text{hora}} \times \frac{3,79\text{l}}{1\text{gal}} \times \frac{1\text{hora}}{3600\text{s}} = 32,2 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Asumiendo que cada mina revierte el 85% del caudal captado:



$$Q_{vertido} = 32,2 \frac{l}{s} \times 0,85 = 27,4 \frac{l}{s}$$

En la primera zona de explotación minera, donde existen aproximadamente ocho minas, el uso del agua se calcula como:

$$Q_{captadoE_1} = 8 \times 32,2 \frac{l}{s} = 257,6 \frac{l}{s} \quad \text{y} \quad Q_{vertidoE_1} = 8 \times 27,4 \frac{l}{s} = 219,2 \frac{l}{s}$$

Los caudales de los otros dos grupos de explotaciones mineras se obtienen de igual manera, teniendo en cuenta el número de minas existentes.

Según Gómez (2002), «a manera de comparación, se puede decir que en la gran minería de aluvión para producir un gramo de oro, se requiere mover 12 metros cúbicos de material aluvial, se utilizan 34 metros cúbicos de agua y dos gramos de mercurio, en tanto que en la minería de subsistencia se mueven dos metros cúbicos de material, se utilizan ocho metros cúbicos de agua y seis gramos de mercurio».

De acuerdo con el estudio del IIAP (2005), los sistemas de explotaciones mineras que emplean retroexcavadora en el municipio de Condoto, obtienen de 80 a 120 g/día de oro aproximadamente. Tomando un valor medio de 100 gramos de oro al día, con una relación de 1 g de oro, 12 m³ de material aluvial, y 34 m³ de agua, se tiene para el caso del municipio de Condoto en un día: 100 g de oro, 1200 m³ de material aluvial y 3400 m³ de agua

$$Q_{captado} = 3400 \frac{m^3 (agua)}{día} \times \frac{1000l}{m^3} \times \frac{día}{86400s} = 39,4 \frac{l}{s}$$

$$Q_{vertido} = 39,4 \frac{l}{s} \times 0,85 = 33,5 \frac{l}{s}$$

Teniendo en cuenta estos datos, en la primera zona de explotación minera, donde existen ocho minas, el uso del agua se calcula como:

$$Q_{captadoE_1} = 8 \times 39,4 \frac{l}{s} = 315,2 \frac{l}{s} \quad \text{y} \quad Q_{vertidoE_1} = 8 \times 33,5 \frac{l}{s} = 268 \frac{l}{s}$$

De igual forma, se procede para los otros dos sectores de acuerdo con la cantidad de minas consideradas.

Los resultados de las captaciones y vertimientos de los tres sectores se presentan en la tabla 2, de acuerdo con el procedimiento sugerido por las dos referencias bibliográficas (Ortiz, 2004 y Gómez, 2002). Los sectores agrupados de las explotaciones mineras y su localización espacial se pueden observar en la figura 2. De igual forma, los caudales estimados se presentan en la figura 3.

Tabla 2. Caudales estimados de las actividades mineras

	Minas	Q vertido			
		Q captado (l/s)	Q vertido (l/s)	Q captado (l/s)	(l/s)
		Método de ORTIZ, 2004		Método de GOMEZ C, 2002	
Explotación minera					
1	8	257,6	219,2	315,2	268
Explotación minera					
2	10	322	274	394	335
Explotación minera					
3	6	193,2	164,4	236,4	201

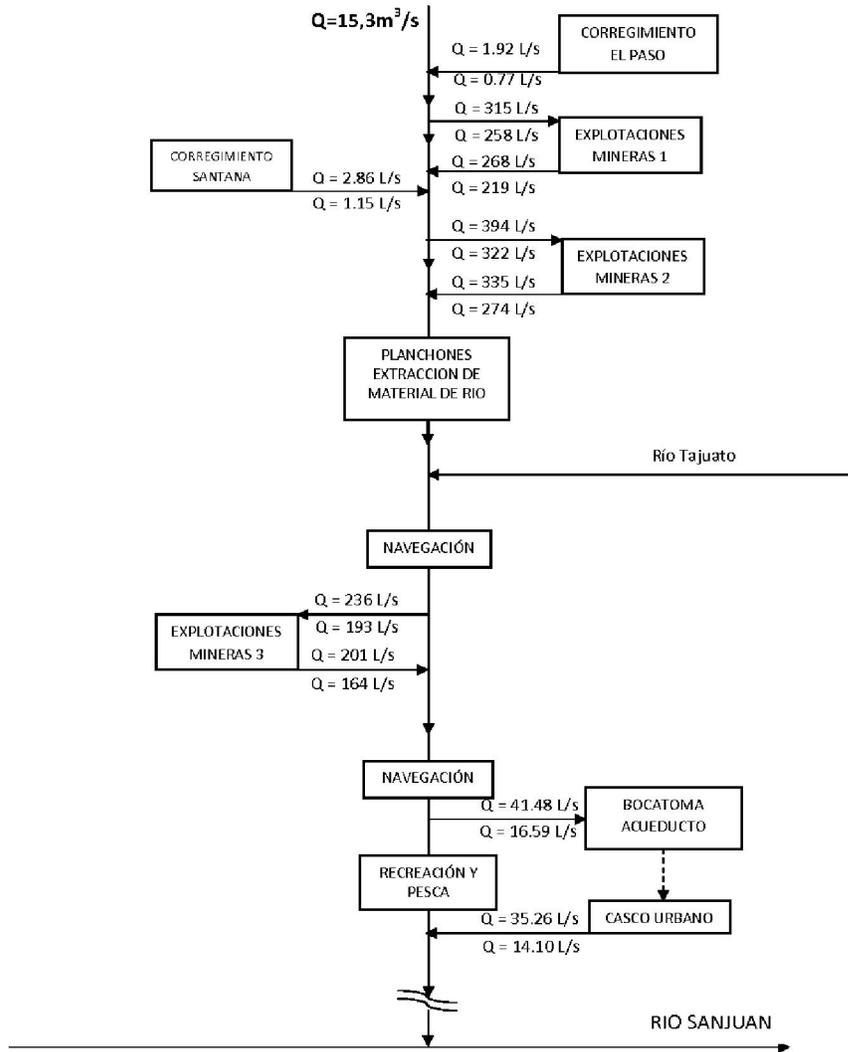


Figura 3. Rangos de caudales estimados para diversas actividades en el río Condoto

3.2. Análisis estimativo de aportes de SST de la población en el río Condoto

A continuación, se presenta un estimativo del aporte de SST de las actividades desarrolladas a lo largo del cauce del río Condoto. Los vertimientos provienen de los alcantarillados del casco urbano del municipio y de corregimientos como El Paso y Santana. Adicionalmente existen vertimientos de aguas residuales de las explotaciones mineras.

Debido a que no hay datos acerca de los vertimientos de las poblaciones del municipio de Condoto, se procede con cálculos estimativos de acuerdo con varias referencias bibliográficas. En cuanto a las concentraciones de sólidos en los vertimientos de las aguas residuales domésticas, se estiman de acuerdo con los aportes per cápita (30- 100 g/hab- día) como se presenta en el RAS 2000. Se asume un aporte de sólidos suspendidos totales (SST) de 100 g/ hab- día (Tabla E.2.6, RAS, 2000) de las aguas residuales municipales:

$$SST = \frac{Aporte \times P}{Q}$$

donde P = población y Q = caudal

$$SST = \frac{\frac{100 \text{ g}}{\text{hab-día}} \times \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} \times 8745 \text{ hab}}{14,11 \frac{\text{l}}{\text{s}} \times \frac{86400 \text{ s}}{1 \text{ día}}} = 717 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

Romero (2001) indica que la composición típica de sólidos suspendidos en un agua residual doméstica es de 220 mg/l. Metcalf y Eddy (1995), por su parte, presentan tres valores respecto a la concentración de sólidos suspendidos en un agua residual doméstica, clasificados así: débil = 100 mg/l; media = 220 mg/l; y fuerte = 350 mg/l. Finalmente Ramalho (1996) anota que el aporte per cápita de sólidos suspendidos es de 90 g/hab- día, con lo cual:

$$SST = \frac{\frac{90 \text{ g}}{\text{hab-día}} \times \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} \times 8745 \text{ hab}}{35,26 \frac{\text{l}}{\text{s}} \times \frac{86400 \text{ s}}{1 \text{ día}}} = 258 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

En la tabla 3, se presenta un estimativo del aporte de SST de las poblaciones, de acuerdo con el número de sus habitantes.

Tabla 3. Sólidos suspendidos totales estimados

	Población (habitantes)	SST (mg/l)			
		RAS, 2000	ROMERO, 2001	METCALF y EDDY, 1995	RAMALHO, 1996
Cabecera Municipal	8745	717	200	350	258
El Paso	477	717	200	350	259
Santana	710	715	200	350	259

La carga contaminante de sólidos suspendidos totales (CC_{SST}), estimada para los vertimientos de la población, se obtiene con base en el caudal (Q) y la concentración de SST, según lo establecido en el Decreto 1594 de 1984 (Ministerio de Agricultura, 1984):

$$CC_{SST} = Q \times SST$$

De acuerdo con el caudal y con la concentración de sólidos suspendidos estimados mediante los parámetros del RAS 2000, se tiene:

$$CC_{SST} = 14,11 \frac{\text{l}}{\text{s}} \times 717 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \times 86400 \frac{\text{s}}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ kg}}{10^6 \text{ mg}} = 874 \text{ kg/día}$$

De igual forma, se obtiene CC_{SST} de las otras poblaciones, de acuerdo con los caudales y las concentraciones de sólidos suspendidos de cada una de las referencias bibliográficas presentadas en las tablas 1 y 2 (ver: tabla 4).

Tabla 4. Carga contaminante de Sólidos Suspendidos Totales estimada

	Población (habitantes)	CC _{SST} (kg/día)			
		RAS, 2000	ROMERO, 2001	METCALF y EDDY, 1995	RAMALHO, 1996
Cabecera Municipal	8745	874	426	725	787
El Paso	477	48	20	40	43
Santana	710	71	30	59	44

Los rangos de aporte estimado de carga contaminante de SST al río Condoto para cada una de las poblaciones se puede observar en la figura 4.

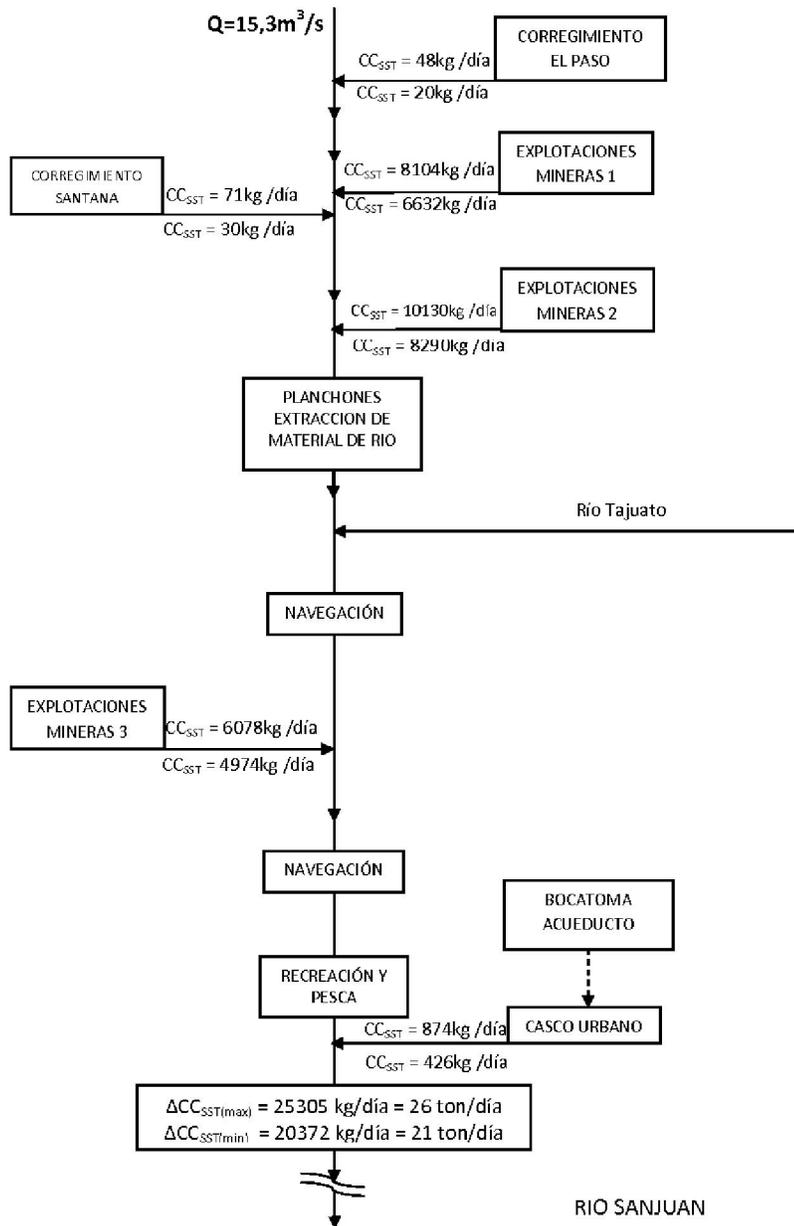


Figura 4. Rangos estimados de cargas contaminantes de SST para vertimientos domésticos y mineros

3.3. Estimación del aporte de carga contaminante de SST de actividades de explotaciones mineras

Según datos de CODECHOCO (2008c), en el municipio de Condoto, el promedio de SST en las aguas residuales de una mina es aproximadamente 350 mg/l. Para el caso del primer sector de explotaciones mineras, se tiene (de acuerdo con los caudales de vertimiento estimados con las consideraciones de Ortiz, 2004):

$$CC_{SST} = Q \times SST = 27,4 \frac{l}{s} \times 350 \frac{mg}{l} \times 86400 \frac{s}{día} \times \frac{1kg}{10^6 mg} = 829 \text{ kg/día}$$

$$CC_{SST(E_1)} = 8 \times 829 \frac{kg}{día} = 6632 \text{ kg/día}$$

De igual forma, se procede con los otros dos sectores de explotaciones mineras.

De acuerdo con los caudales estimados de vertimiento con las consideraciones de Gómez (2002), se tiene:

$$CC_{SST} = Q \times SST = 33,5 \frac{l}{s} \times 350 \frac{mg}{l} \times 86400 \frac{s}{día} \times \frac{1kg}{10^6 mg} = 1013 \text{ kg/día}$$

$$CC_{SST(E_1)} = 8 \times 1013 \frac{kg}{día} = 8104 \text{ kg/día}$$

De igual forma, se procede con los otros dos sectores de explotaciones mineras. La tabla 5 condensa los aportes estimados de carga contaminante de SST para cada sector de acuerdo con las dos referencias bibliográficas utilizadas (Ortiz, 2004 y Gómez, 2002).

Tabla 5. Carga contaminante estimada de SST de las actividades de explotaciones mineras

Sector	Minas	Carga Contaminante de SST	Carga Contaminante de SST
		estimada (kg/día) <i>Método de ORTIZ, 2004</i>	estimada (kg/día) <i>Método de GOMEZ, 2002</i>
Explotación minera 1	8	6632	8104
Explotación minera 2	10	8290	10130
Explotación minera 3	6	4974	6078

Los vertimientos estimados de carga contaminante de SST de actividades mineras se presentan también en la figura 4.

3.4. Estimación del aporte de mercurio relacionado con la producción de actividades de explotaciones mineras

El mercurio es utilizado en la minería aurífera en el proceso de amalgamación que es uno de los procesos más importantes de la recuperación del oro. Esta amalgama es aprovechada por los mineros para «capturar» pequeñas partículas de oro, las cuales, por su tamaño, no tienen buena respuesta en la concentración gravimétrica: sin el mercurio, las partículas extremadamente finas o en forma laminar, serían arrastradas por la corriente de agua creada en el lavado, produciendo pérdidas de metal y disminuyendo considerablemente el rendimiento y la productividad de las minas (Vásquez, 2008).

En los entables mineros, es común el uso de mercurio en el tramo inicial del canalón, con el fin de ayudar a retener las partículas de oro en forma de amalgama. El material es lavado con abundante agua bombeada desde las corrientes. Generalmente, este proceso de amalgamación es realizado en circuito abierto, en detrimento de la salud de los trabajadores y de la calidad del ambiente. En muchas explotaciones mineras del río Condoto, el manejo de mercurio se hace sin equipo de seguridad por parte de los trabajadores, y se presenta contacto e inhalaciones del vapor, con serios efectos sobre la salud. De acuerdo con Urrego y Díaz (2008), para los seres humanos, el mercurio y sus compuestos son altamente tóxicos y actúan principalmente en el sistema nervioso de forma irreversible. Algunas formas del mercurio son fácilmente absorbidas

por la piel, el sistema respiratorio (vapores) y el sistema intestinal (ingestión). La toxicidad varía, entre otros factores, con la forma del mercurio y la forma y frecuencia de exposición.

El mercurio en nuestro organismo puede entrar a través de la cadena alimenticia, toda vez que es acumulado en los tejidos de los peces. En efecto, los peces más pequeños adsorben el metilmercurio del agua que pasa por sus agallas, y se alimentan de la flora y fauna contaminada. Luego estos peces son comidos por otros peces más grandes, razón por la cual se encuentran concentraciones más altas en peces a lo más alto de la cadena alimenticia acuática. Es decir que se presenta una biomagnificación y bioacumulación del mercurio a lo largo del ciclo al cual finalmente llega al hombre cuando consume peces contaminados (Osorio, 2003).

Debido al desconocimiento por parte de muchos mineros, a la falta de legalidad y a la poca planificación en los trabajos de explotación de la minería en el municipio de Condoto, no hay información clara que permita establecer cuántos kilogramos de mercurio se deben utilizar por tonelada de material. Por tanto, se hace un estimativo de acuerdo con experiencias e investigaciones en otras zonas. Para ello, se consideran válidas las siguientes aproximaciones:

- Que los valores de las referencias bibliográficas consultadas son similares a los que se puedan encontrar en la cuenca del río Condoto;
- Que la producción de oro en el municipio de Condoto en el 2008 fue de 307.771,80 gramos de oro (0,31 ton) (INGEOMINAS, 2008);
- Que las únicas contribuciones de mercurio al río corresponden a los tres sectores de explotación minera identificados y mencionados previamente; y
- Que 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.

De acuerdo con el estudio realizado por Gómez (2002), en la cuenca del Magdalena-Cauca, «las estimaciones realizadas con base en las estadísticas de producción de oro para el año 1996, agregadas a nivel municipal, permiten visualizar que, para beneficiar 17,7 toneladas de metal precioso en la cuenca Magdalena- Cauca, se generaron aproximadamente 48 millones de residuos constituidos por materiales estériles como grava, arenas, limos y arcillas; en este proceso, se utilizaron cerca de 108 toneladas de mercurio, de las cuales el 50% se dispusieron en el suelo y en el agua, y el 25% se emitió a la atmósfera en forma de vapor.» Es decir la relación sería 1 Au a 6.1 Hg

$$(Hg) = 307771,80 \frac{g(oro)}{año} \times \frac{6,1g(Hg)}{1g(oro)} \times \frac{1kg(Hg)}{1000g(Hg)} \times 0,65 \times 0,50 = 610,2 \frac{kg(Hg)}{año}$$

El uso de mercurio en circuito abierto es el problema que, sin duda, acarrea las mayores pérdidas de mercurio en la producción de oro. Las minas primarias en Brasil y Bolivia, que utilizan mercurio directamente en sus molinos para realizar molienda y amalgamación simultánea, pierden entre 5 y 10 kg de mercurio (en casos extremos, hasta 25 kg) para recuperar 1 kg de oro (Hruschka et al, 2000). Aquí se presenta la relación 1 Au: 5 Hg y 1 Au : 10 Hg.

$$(Hg) = 307771,80 \frac{g(oro)}{año} \times \frac{5g(Hg)}{1g(oro)} \times \frac{1kg(Hg)}{1000g(Hg)} \times 0,65 \times 0,50 = 500,1 \frac{kg(Hg)}{año}$$

$$(Hg) = 307771,80 \frac{g(oro)}{año} \times \frac{10g(Hg)}{1g(oro)} \times \frac{1kg(Hg)}{1000g(Hg)} \times 0,65 \times 0,50 = 1000,3 \frac{kg(Hg)}{año}$$

Según López (2002), se pierden 2,8 gramos de mercurio por cada gramo de oro recuperado, y estas pérdidas se aumentan en minas de grandes flujos de agua (explotaciones aluviales de mediana minería). La relación es 1 Au: 2,8 Hg.



$$(Hg) = 307771,80 \frac{g(oro)}{año} \times \frac{2,8g(Hg)}{1g(oro)} \times \frac{1kg(Hg)}{1000g(Hg)} \times 0,65 \times 0,50 = 280,1 \frac{kg(Hg)}{año}$$

Urrego y Diaz (2008), en su estudio, comentan que «La Dirección de Desarrollo Sostenible del Ministerio del Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial estima que, por cada gramo de oro producido, se utilizan cinco gramos de mercurio. Existen algunas excepciones con respecto a este factor, porque en Segovia y Remedios, la pequeña minería usa 14 kg de mercurio por cada kg de oro recuperado; mientras que Mineros de Antioquia utiliza 2 kg de mercurio para producir un kg de oro.» De acuerdo con esta referencia, asumiendo la más conservadora de 1 Au: 2 Hg, se obtiene:

$$(Hg) = 307771,80 \frac{g(oro)}{año} \times \frac{2g(Hg)}{1g(oro)} \times \frac{1kg(Hg)}{1000g(Hg)} \times 0,65 \times 0,50 = 200,1 \frac{kg(Hg)}{año}$$

La tabla 6 presenta los resultados estimados de mercurio vertidos al río Condoto en el año 2008 de acuerdo con las relaciones oro/mercurio y considerando las metodología de las diferentes referencias bibliográficas mencionadas.

Tabla 6. Cantidad estimada de vertimientos de mercurio al río Condoto en el año 2008

Método Usado	Relación Oro (Au):Mercurio (Hg)	Total estimado año 2008 kg de Hg/año
GOMEZ C, 2002	1 Au: 6.1 Hg	610,2
HRUSCHKA et al., 2000	1 Au: 5 Hg	500,1
HRUSCHKA et al., 2000	1 Au: 10 Hg	1000,3
LOPEZ, 2002	1 Au: 2.8 Hg	280,1
URREGO y DIAZ, 2008	1 Au: 2 Hg	200,1

De acuerdo con Ruíz et al. (2006), las importaciones de mercurio a Colombia se duplicaron en 10 años (de 163 mil toneladas en 1991 a 322 mil toneladas en el 2002), y presentan un promedio de 254 mil toneladas anuales. Tomando este valor promedio como representativo del mercurio importado en el 2008 (un estimativo conservador), se deriva entonces de la tabla 6 que la cantidad de mercurio vertida al río Condoto representa cerca del 1% del mercurio importado a Colombia. Aunque se pueda interpretar como un porcentaje bajo, es necesario tener en cuenta que este porcentaje se concentra en una sola cuenca y considerar la peligrosidad de este metal y su capacidad de bioacumulación y biomagnificación en los organismos de muchas especies.

Para resaltar la importancia de estos vertimientos y de sus consecuencias, cabe mencionar que el estudio de Mosquera- Lozano et al. (2005) detectó concentraciones de mercurio en tejidos musculares de las especies de peces *Brycon meeki*, *Rhamdia wagneri*, *Pomadasys bayanus* y *Hoplias malabaricus* procedentes del río Condoto, siendo la concentración de mercurio en los tejidos de esta última especie (0.731 mg Hg/kg) la más alta registrada en peces dulciacuícolas de Colombia, según el estudio de recopilación de Mancera y Álvarez (2006). Este valor excede el nivel máximo permisible en tejido de peces para consumo humano de pescado fresco, refrigerado, congelado y supercongelado que es de 0.5 mg de Hg/kg de acuerdo con lo regulado por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, ICONTEC, a través de la Norma 1443 y por la Organización Mundial de la Salud, OMS, a nivel internacional (Urrego y Díaz, 2008).

4. ANALISIS DE RESULTADOS

4.1. Aporte de caudales

De acuerdo con los datos estimados de caudales, la explotación minera es la actividad con mayor uso de agua en el río Condoto, comparada con otras actividades como el acueducto municipal que tiene como fuente de captación este río. En promedio, una mina capta entre 32 y 40

l/s. En total, se estima que las 24 minas existentes en el 2008 captaron entre 773 y 946 l/s, lo que representa 81700 m³ de agua por día. Debido a la ilegalidad de la minería, la captación de estas actividades de extracción de metales preciosos en su gran mayoría no cuenta con permisos ambientales como concesión de aguas y tasas por usos.

En cuanto al vertimiento, se estima que las actividades mineras descargan sin tratamiento previo entre 658 y 854 l/s de aguas residuales al río Condoto, lo que representa en un día 69.466 m³ de agua contaminada con sedimentos, sólidos, aceites y mercurio, los cuales causan problemas de sedimentación, turbiedad y afectación del recurso ictiológico.

4.2. Carga contaminante de SST

La carga estimada del aporte de sólidos suspendidos de actividades mineras es de 24.312 kg/día (8.873,88 ton/año), lo que equivale a un monto a pagar por tasas retributivas de SST de \$366'757.460 en el año 2008, según lo establecido en Colombia por el decreto 3100 de 2003. En cuanto al vertimiento de alcantarillado, el aporte estimado de SST es de 993 kg/día (362,445 ton/año), con un monto a pagar por tasas retributivas de SST en el año 2008 de \$14'979.852.

Los sólidos suspendidos en el río Condoto, provenientes de actividades de explotaciones mineras (las cuales se estima que vierten entre 21 y 26 ton/día de SST), están generando problemas de turbiedad. La turbiedad puede afectar la población acuática que habita en el río, debido a la posible disminución de la transferencia de oxígeno entre la atmósfera y el agua y a la interferencia de la penetración de la luz, lo que dificulta el desarrollo normal de algunos organismos.

Los planchones en el río Condoto extraen por medio de retroexcavadoras el material del fondo del río. El sobrante (por lo general piedras) de este material, después de su clasificación, es vertido nuevamente a la fuente, pero de forma no planificada, lo que en muchos casos genera acumulación de este material y forma pequeñas playas que cambian las características hidráulicas de la corriente, alteran la velocidad del flujo y causan problemas de navegación debido a la sedimentación en algunos sectores.

La minería vierte aceites usados en los equipos y vehículos empleados en el desarrollo de la actividad, lo que está contaminando la fuente hídrica y genera probablemente un aumento en los costos de potabilización en el acueducto municipal de Condoto. Se estima que los vertimientos de minería y alcantarillados están deteriorando la calidad del río Condoto, ocasionando en las aguas

- Contaminación con aguas residuales de la minería y aguas residuales domésticas;
- Colmatación (sólidos en suspensión) y contaminación (turbidez, color) del río;
- Contaminación por el vertimiento directo de efluentes líquidos ricos en mercurio a las fuentes de agua: por lo tanto, los peces de la zona son susceptibles de bioacumularlo y se presentan riesgos para la salud de las personas que ingieren estos peces;
- Alteración y desvío del cauce;
- Disminución de la oferta hídrica para actividades antrópicas (uso doméstico, recreación y pesca).

4.3. Vertimientos de mercurio

Según el presente análisis, la cantidad estimada de mercurio que es vertida a las aguas del río Condoto como producto de los procesos mineros se encuentra entre 0.2 y 1 ton Hg/año.



Este valor estimado es significativo si se tiene en cuenta la cifra de 3 ton/año para el departamento del Chocó, presentada por CODECHOCO (1998). Todo este material contaminante puede ser causante de un impacto ambiental considerable si se considera su toxicidad y su capacidad de bioacumularse en los organismos de muchas especies de peces (Mancera- Rodríguez y Álvarez-León, 2006) que luego consumen los humanos, generando efectos crónicos a la salud que pueden llegar a causar la muerte.

4.4. Legislación y control institucional

La desarticulación entre las entidades nacionales y municipales ha conllevado a demoras en el proceso de legalización de las minas. Cada mina requiere títulos mineros para el inicio de sus actividades, los cuales en Colombia son expedidos por INGEOMINAS. Una vez expedido el título minero, se empieza el trámite para obtener la licencia ambiental que, en el municipio de Condoto, es responsabilidad de CODECHOCO. Sin embargo, debido a las demoras en la expedición del título minero por INGEOMINAS, no es posible que CODECHOCO otorgue licencias ambientales, lo cual ha fomentado la ilegalidad de la mayoría de las explotaciones mineras.

La falta de estudios previos de exploración conlleva, en muchos casos, a pérdidas económicas a los mineros, debido a la gran inversión en maquinarias y equipos, lo cual en ocasiones no se ve reflejado en la obtención de metales preciosos. Sin embargo, es importante indicar que, en esta zona, el beneficio económico tiende a ser mucho menor respecto al daño ambiental. Un caso puntual es el uso del mercurio, empleado para atrapar pequeñas partículas de oro y así obtener una mayor cantidad de este metal y un mejor beneficio económico, pero a un costo ambiental alto.

5. CONCLUSIONES

Entre las principales actividades desarrolladas en el río Condoto, la minería probablemente es la causante del mayor impacto en la calidad del río debido al aporte de sólidos, aceites y mercurio, los cuales llegan a las fuentes hídricas y ocasionan problemas de sedimentación, aumento de la turbiedad, cambios en las características hidráulicas y geomorfológicas, afectación de la vida acuática, etc. Esto lo confirman los estudios realizados por Gómez (2005), Lozano y Salas (2005), Medina (2005), Mosquera- Lozano et al. (2005) y el Plan de Desarrollo del Municipio de Condoto (Alcaldía de Condoto, 2008), quienes analizaron algunos impactos de los vertimientos mineros en la calidad del agua del río.

Los datos estimados de aportes de sólidos suspendidos totales y de mercurio de las explotaciones mineras se ofrecen como un aporte a la discusión de los problemas que se presentan en el río Condoto. Teniendo en cuenta la escasez de investigaciones al respecto en esta zona del Pacífico colombiano, existen pocos datos para realizar comparaciones directas. Por esta razón, las estimaciones cobran importancia ya que indican niveles de mercurio que pueden ser medidos en campo y por lo tanto, son susceptibles de corroboración cuantitativa por parte de las autoridades ambientales.

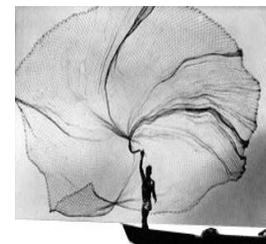
Es necesario que las actividades mineras que vierten sus aguas al río Condoto realicen el diseño de piscinas o lagos de sedimentación para la retención de sólidos y de mercurio después del lavado del mineral en los procesos de extracción de oro por amalgamación. Esto disminuiría en gran porcentaje el aporte de mercurio y carga contaminante de SST que llega al río Condoto.

Las regalías que recibe el municipio por la producción de oro y platino, no solo deberían invertirse en obras y construcciones, sino también en recuperación de ecosistemas, ríos y áreas degradadas por la minería. De igual forma, CODECHOCO debería realizar el cobro oportuno y total de las tasas por usos de aguas y las tasas retributivas de todas las actividades que captan y vierten sus aguas al río Condoto. Estos recursos servirían como fondos económicos para realizar proyectos de descontaminación y monitoreo de la calidad del río.



Se debe fortalecer las campañas sobre el uso adecuado del mercurio y mejorar las técnicas de seguridad para la manipulación de este peligroso metal por parte de los trabajadores de las minas.

Para que todo lo anterior sea posible, es importante que haya celeridad en los procesos de legalización, lo cual requiere una mayor coordinación de las entidades para agilizar y verificar las licencias de explotación y mejorar los procesos de extracción. Además, se debe ejercer un mayor control en la captación y vertimientos al río Condoto por parte de CODECHOCO.



AGRADECIMIENTOS

Los autores hacen un reconocimiento al programa de Especialización en Manejo y Gestión del Agua de la Universidad de Antioquia, en el marco del cual se desarrolló la monografía que sustenta este artículo, titulada «Análisis comparativo de las causas de deterioro de la calidad del agua en la zona media del río Condoto, en el Departamento del Chocó, con base en estudios existentes, en el periodo 2000- 2008.»

BIBLIOGRAFIA

- Alcaldía de Condoto, 2008. Plan de Desarrollo del Municipio de Condoto: Avancemos Unidos por Condoto, 2008- 2011 [en línea]. Consultado: 01 de noviembre de 2009. Disponible en: http://www.condoto-choco.gov.co/apc-aa-files/38646137623034626466353165366432/Plan_Condoto.pdf
- Alcaldía de Condoto, 2005. Esquema de Ordenamiento Territorial para el Municipio de Condoto 2005- 2016. [en línea]. Consultado: 01 de noviembre de 2009. Disponible en: http://condoto-choco.gov.co/apc-aa-files/38646137623034626466353165366432/ACUERDO_CONDOTO_EOT_1_.pdf
- Corporación Autónoma Regional para el Desarrollo Sostenible del Chocó, CODECHOCO, 2008a. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río Condoto. Subdirección de Calidad y Control Ambiental. 156 P.
- CODECHOCO, 2008b. Formulación del Plan de Ordenamiento Minero- Ambiental en los municipios de Condoto, Tadó en el departamento del Chocó. Subdirección de Calidad y Control Ambiental. Quibdó
- CODECHOCO, 2008c. Manejo y gestión integral del recurso hídrico en el Departamento del Chocó. Subdirección de Calidad y Control Ambiental. Quibdó
- CODECHOCO, 1998. Informe final del proyecto de capacitación en técnicas de explotación y alternativas de producción sostenibles en el Departamento del Chocó. Convenio 0051 CODECHOCO- SENA.
- Gómez, J., 2002. Riesgo potencial de alteración de la calidad ambiental derivado de actividades de extracción y beneficio de oro en la cuenca Magdalena- Cauca. Trabajo de tesis. IDEA, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 102 P.
- Gómez, M. J., 2005. Identificación, evaluación y mitigación de impactos ambientales asociados a minería aluvial en los municipios de Condoto y Tadó, Chocó. Trabajo de grado como requisito para optar el título de Ingeniería Ambiental. Universidad Tecnológica del Chocó.
- Hruschka, F., Wotruba, H., Hentschel, T. y Priester, M., 2000. Manejo ambiental en la pequeña minería [en línea] GAMA- COSUDE. Consultado: 20 de diciembre de 2009. Disponible en: <http://www.gama-peru.org/libromedmin/index.html>
- INGEOMINAS, 2008. Informe detallado producción de metales preciosos en Colombia. 2004- 2008. [En línea]. Consultado: 01 de noviembre de 2009. Disponible en: <http://www.ingeominas.gov.co/content/view/121/266>

- Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico, IIAP, 2007. Informe preliminar: Validación de metodologías de restauración agro- ecológica de suelos, paisajes y sistemas hídricos degradados por la explotación minera irracional en territorios colectivos de comunidades negras en el Chocó biogeográfico: Condoto– Buenaventura. 24 P
- IIAP, 2005. Proyecto: Diagnóstico situacional de la minería artesanal y en pequeña escala desarrollada por los afrocolombianos en los territorios colectivos de las comunidades negras del Chocó Biogeográfico en el Pacífico Colombiano. 104 P
- López, P., 2002. Propuesta de prevención y manejo de la contaminación por mercurio en la región de la Mojana. Programa de desarrollo sostenible de la región de la Mojana. Informe final de consultoría. FAO, Bogotá. 64 P.
- Lozano E. y Salas, Y., 2005. Evaluación del impacto de la explotación minera sobre la calidad del agua en el río Opogodó, Condoto, Chocó. Colombia. Trabajo de grado como requisito para optar el título de Ingeniería Ambiental. Universidad Tecnológica del Chocó. 59 P
- Mancera- Rodríguez, N. J. y Álvarez- León, R., 2006. Estado del conocimiento de las concentraciones de mercurio y otros metales pesados en peces dulceacuícolas de Colombia. Acta Biológica Colombiana, Vol. 11, N° 1, pp. 3- 23.
- Medina, M. F., 2005. Evaluación fisicoquímica, biológica y microbiológica de las zonas de explotación minera artesanal de la parte media del río Condoto, Chocó, Colombia. Trabajo de grado como requisito para optar el título de Ingeniera Ambiental. Universidad Tecnológica del Chocó. 115 P.
- Metcalf y Eddy, 1995. Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización. 3ª Ed. McGraw- Hill Interamericana. 1485 P.
- Ministerio de Agricultura, 1984. Decreto 1594 de 1984, Bogotá. 55 P.
- Ministerio de Desarrollo Económico, 2000. Reglamento técnico del sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS 2000), Sección II, Título B, Sistemas de Acueducto. Bogotá. 202 P
- Ministerio de Minas y Energía, 2008. Producción de metales preciosos en Colombia. 24 diapositivas. [En línea]. Consultado: 01 de noviembre de 2009. Disponible en: http://www.simco.gov.co/Portals/0/Otros/Produccion_Metales_Preciosos.pdf
- Mosquera- Lozano, Y., Torres- Iburguen, A., Lozano- Largacha Y. y Perea- Mena, B., 2005. Incidencia del mercurio por la explotación minera en algunas especies de peces en el río Condoto, Chocó, Colombia. En: Memorias del VIII Simposio Colombiano de Ictiología. ACICTIOS/UTCH. Quibdó (Chocó) Colombia.
- Ortiz, D., 2004. Estudio geológico, factibilidad técnica, ambiental y económica, y planeamiento minero y de beneficio en el sector 5 San Lorenzo- Garrapatas, municipio de Sipi, Chocó. Editorial, 322 P
- Osorio, Q., 2003. Impacto ambiental y salud pública «caso del cianuro y del mercurio». Comité Interinstitucional Minero- Ambiental del Bajo- Cauca. 13 P.
- Ramalho, R., 1996. Tratamiento de aguas residuales. Editorial Reverte S.A. 705 P
- Romero Rojas, J., 2001. Tratamiento de aguas residuales: teoría y principios de diseño. Escuela Colombiana de Ingeniería. 1232 P.
- Ruiz J., Parra C. y Beltrán H., et al., 2006. Generalidades sobre la situación actual del municipio de Segovia con relación al consumo de mercurio en el beneficio del oro. Revista Informetal, Medellín. Vol 24, N° 55, pp. 21- 26.
- Urrego A., y Diaz J., 2008. Evolución y evaluación de la contaminación antrópica por el uso del mercurio en minería: caso nordeste antioqueño. Monografía para optar al título de Especialista en Gestión Ambiental. Universidad de Antioquia. Facultad de Ingeniería. Postgrado en Gestión Ambiental. Medellín. 112 P.
- Vásquez, M., 2008. Gestión ambiental del mercurio en la industria minera. Monografía como requisito para optar al título de Especialista en Gestión Ambiental. Universidad de Antioquia. Facultad de Ingeniería. Postgrado en Gestión Ambiental. Medellín. 77 P.

