

# **Análisis de los impactos generados por la minería de oro y platino a cielo abierto sobre los recursos hídricos a partir de la cuantificación del consumo de agua y la carga contaminante de los vertimientos**

## **Analysis of the impacts generated by the gold and platinum mining open pit on water resources from the quantification of water consumption and pollution load of dumps**

**Lady Vargas\***

### **Resumen**

*Se cuantificó el consumo de agua y se caracterizaron los vertimientos en 6 entables mineros con diferentes técnicas de extracción de oro a cielo abierto en 3 localidades del departamento del Chocó. Se seleccionaron 2 emprendimientos mineros en cada una, en los que mediante observaciones y entrevistas, se levantó información acerca del número y tipo de equipos de bombeo, el tiempo de operación diaria, el método de extracción del mineral y cantidades de mercurio empleadas por unidad de tiempo. En los vertimientos del proceso se midieron in situ la temperatura, pH, oxígeno disuelto y turbiedad. Además, se conservaron muestras para análisis en laboratorio de sólidos totales, sólidos suspendidos, mercurio, DBO, DQO, grasas y aceites. Los resultados permitieron calcular y proyectar el consumo de agua y la carga contaminante vertida diaria y anualmente por parámetro, información que se empleó para determinar los principales impactos causados por la actividad sobre el componente hídrico de la zona. Se encontró que el consumo de agua oscila entre 184.800 y 592.200 GPD dependiendo de la técnica de extracción empleada y que se vierten entre 10'315.052 y 186'062.400 kg/año de sólidos, afectando las condiciones fisicoquímicas del agua, que limitan la capacidad de dichas fuentes para soportar su vida acuática, y los procesos biológicos derivados de ella y la utilización del recurso en diferentes actividades socioeconómicas y culturales por parte de las comunidades. Lo anterior sugiere la urgencia de aplicación de estrategias de control durante el proceso, que disminuya la carga contaminante vertida y la mitigación de los impactos sobre el agua.*

**Palabras clave:** Agua, Consumo de agua en minería, Impactos sobre el recurso hídrico, Vertimientos mineros.

### **Abstract**

*Consumption was quantified and characterized water discharge into six different miners' strike up gold mining techniques open in 3 localities of the department of Chocó. Two mining projects were selected in each, in which through observations and interviews, we gathered information about the number and type of pumping equipment, daily operating time, the mineral extraction method and amounts of mercury used per unit of time. Dumping process in situ measured temperature, pH, dissolved oxygen and turbidity. In addition samples were preserved for laboratory analysis of total solids, suspended solids, mercury, BOD, COD, fats and oils. The results allowed*

\* Ingeniera Ambiental, Especialista en manejo de recursos hídricos. Investigadora de proyectos especiales, Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico (IIAP), Quibdó, Colombia.  
e-mail: lvargas@iiap.org.co

Recibido: 10 de febrero de 2012

Aceptado: 18 de abril de 2012

*calculating and projecting the water consumption and pollutant load discharged daily and annually per parameter, information that was used to identify major impacts of the activity on the water component of the area. Found that water consumption varies between 184,800 and 592,200 depending GPD extraction technique employed and which are poured between 10'315 and 186'062 052 .400 kg/año solids, affecting the physicochemical conditions of water, limiting the ability of these sources to support aquatic life, and biological processes derived from it and use the resource in different socioeconomic and cultural activities by the communities. This suggests the urgency of implementing control strategies during the process, to decrease the pollutant load discharged and mitigation of impacts on water*

**Keywords:** *Impacts on the water resource, Mining waste, Use of water in mining, Water.*

## Introducción

La minería a cielo abierto es aquella que se desarrolla en forma progresiva por capas o terrazas en terrenos previamente delimitados y se emplea en lugares donde los minerales están a poca profundidad (Ministerio de Minas y Energía 2009). Según el Decreto 2222 de 1993, la minería a cielo abierto se define como una actividad encaminada a la extracción de minerales por medio de excavaciones superficiales, que comprende etapas como remoción de capa vegetal y estéril, extracción del mineral y restauración de las áreas afectadas por la explotación.

En el Chocó, la extracción a cielo abierto de oro y platino se desarrolla mediante la aplicación de tres sistemas de explotación: artesanal, semitecnificado y tecnificado. En el primero se utilizan elementos y herramientas manuales elaboradas artesanalmente. En la extracción semitecnificada, se incluyen equipos como elevadores de tierra, draguetas y bombas de baja y alta presión, que mejoran el rendimiento y la productividad de la extracción del mineral. En la tecnificada se utiliza maquinaria pesada (retroexcavadoras), con la cual se retira la cobertura vegetal y se remueven grandes volúmenes de tierra, que tras la extracción del metal, es vertida a las fuentes hídricas más cercana. Se ocasiona un impacto ambiental considerable, que involucra la alteración o modificación resultante de la confrontación entre un ambiente dado y un proceso productivo, de consumo o un proyecto de desarrollo (Ángel 2007). Adicionalmente, se considera que estos impactos generan daños ambientales, definidos como la afectación del normal funcionamiento de los ecosistemas o la renovabilidad de sus recursos y componentes (Art. 42 de la Ley 99/93), es decir, generan efectos ambientales que son como cambios de comportamiento del medio natural.

Uno de los impactos ambientales más significativos

generados por la actividad minera a cielo abierto, son los ocasionados en las fuentes hídricas, porque alrededor de ellas se organizan los diferentes tipos de emprendimientos no solo para extraer el agua requerida durante el proceso de obtención de los metales, sino también para verter los residuos que resultan al final del mismo. Como resultado, estas fuentes hídricas han sufrido contaminación con sustancias como mercurio y lubricantes, sedimentación por el vertimiento de grandes cantidades de lodos resultantes del proceso, desviación de sus cauces y afectación de la biota acuática.

Esta situación se agrava con las dificultades de control por parte de las autoridades ambientales, la clandestinidad de esta actividad, la situación de orden público y el uso incontrolado de insumos químicos. Sumado a ello se encuentran las dificultades de recuperación de este tipo de sistemas naturales que son de gran importancia para el desarrollo de las comunidades de toda la región. Por lo cual a nivel hídrico se requiere el establecimiento de medidas de control durante el proceso que permitan la caracterización de los vertimientos y el diseño de tratamientos para mejorar la calidad de los mismos, porque una vez los residuos llegan al medio son incorporados a ciclos naturales en los cuales es muy difícil su monitoreo y casi imposible su retiro.

El presente documento incluye la cuantificación del consumo de agua y la caracterización de los vertimientos generados en la actividad minera a cielo abierto, a partir del trabajo de campo realizado en 6 emprendimientos mineros de oro en las localidades de Condoto, Tadó y Guayabal (Quibdó) en el Chocó Biogeográfico, en los cuales se realizaron actividades de muestreo y caracterización físico-química de las aguas residuales generadas por el lavado de la grava auroplatínifera, teniendo en cuenta la medición de parámetros fisicoquímicos como sólidos totales, sólidos suspendidos, turbiedad, temperatura, mercurio, grasas y aceites, pH, DBO, DQO. A partir de estos datos se realizó una valoración y/o proyección del aporte de la carga contaminante correspondiente a cada parámetro. Todo lo anterior como insumo principal para la identificación de impactos ocasionados por la actividad minera en la región.

**Área de estudio.** El estudio se desarrolló en tres localidades (Condoto, Tadó y el corregimiento de Guayabal que pertenece al municipio de Quibdó) del departamento del Chocó.

**Tadó.** El municipio de Tadó está ubicado en la parte oriental del departamento del Chocó, dentro de la zona del Alto San Juan, con un área aproximada de 878 km<sup>2</sup>, su cabecera municipal se localiza a los 76°73'10" W, al margen izquierdo del río San Juan. Limita por el norte con los municipios de Cértégui y Bagadó, por el sur con el municipio de Río Iró, por el occidente con Unión Panamericana y al oriente con el departamento de Risaralda. Está localizado a 75 msnm, con una temperatura media entre 27°C y 28°C

(Alcaldía Municipal de Tadó 2009).

*Condoto.* Localizado en la parte sur oriental del departamento del Chocó, en la subregión del San Juan, la segunda zona en importancia política, económica y administrativa del departamento. Se ubica a una distancia aproximada de 90 km de Quibdó, entre las coordenadas geográficas 5° 06' 01"N y 76° 32' 44"W. Limita al norte con municipio de Tadó, al sur con los municipios de Nóvita y San José del Palmar, al oriente con el departamento de Risaralda y al occidente con los municipios de Unión Panamericana y Río Iró. Su extensión total alcanza 890 km<sup>2</sup>. Se encuentra a 70 msnm, con una temperatura media de 28°C, un clima cálido húmedo y 800 mm de lluvia anual (Alcaldía Municipal de Condoto 2004).

*Guayabal, Quibdó.* Se localiza a los 5°41'13" y 76°39'40" W y se encuentra entre 43 y 53 msnm, tiene una temperatura promedio de 28°C. Está ubicado en la región de las calmas ecuatoriales y según el sistema de Holdrige (1963), corresponde a las zonas de vida de bosque muy húmedo tropical (bmh-T) y bosque pluvial tropical (pb-T), que se caracterizan por altas precipitaciones y temperaturas superiores a 24°C. Su clima se caracteriza por ser cálido, sper húmedo (Alcaldía Municipal de Quibdó 2003).

## Métodos

Se seleccionaron 2 emprendimientos mineros en cada uno de las localidades de estudio. En la Tabla 1 se indica su descripción y localización.

La distribución del muestreo obedeció al tamaño del entable y a la complejidad de cada proceso, de ahí que la cantidad de muestras por entable varía de acuerdo con dichas características como se muestra en la Tabla 2.

Para la caracterización físicoquímica de las aguas residuales generadas por el lavado de la grava, se seleccionaron 6 entables mineros en funcionamiento con técnicas de explotación mecanizada y semimecanizada. En los vertimientos del proceso se midieron *in situ* los parámetros de temperatura, pH, oxígeno disuelto y turbiedad. Asimismo se tomaron y conservaron muestras para análisis en laboratorio de sólidos totales, sólidos suspendidos, mercurio, grasas y aceites, DBO y DQO. Estas muestras se tomaron en recipientes preservados y debidamente rotulados (Figura 1). Además, se seleccionaron lagunas de sedimentación en uso o en desuso, generadas por la modificación de los taludes durante la actividad minera, dentro de las cuales se ubicaron dos puntos de muestreo para el análisis de las variables mencionadas. Los resultados se compararon con la normatividad vigente relacionada con los valores permisibles para vertimiento a fuentes hídricas naturales, lo que permitió analizar las condiciones de los vertimientos y los impactos que generan en el componente hídrico.

Para la medición del caudal de estos efluentes se seleccio-

naron los puntos que cumplieran con las condiciones de presentar tramos rectos y flujo más o menos uniforme, para los cuales se aplicó el método de Welch (1948), en el cual se utilizó una cinta métrica para obtener las diferentes profundidades a lo largo de la sección seleccionada en cada punto, obteniendo por promedio el valor de P (profundidad media), se consideró la sección llena para medir el ancho del cauce y la sección aproximadamente recta del cauce para medir el largo del mismo (Figura 1). La velocidad de la corriente se estimó con el método del flotador y para el cálculo se utilizó la siguiente expresión:

$$Q = W \times P \times V \times 0,8$$

Con los datos obtenidos durante la medición de los parámetros físicoquímicos se realizó una proyección en tiempo (diaria y anual), del aporte de la carga contaminante de los vertimientos mineros al recurso hídrico, teniendo en cuenta los reportes levantados de horas de operación diaria de cada entable. Para esta proyección se utilizó la expresión establecida en el Decreto 1594 de 1984:

$$\text{Carga contaminante} = (Q) (.CV) (0.0864)$$

Dónde:

Q= Caudal promedio del vertimiento, l/seg

CV: Concentración del parámetro en el vertimiento, mg/l

0.0864: Factor de conversión

Para determinar el consumo de agua se realizaron entrevistas al personal que labora en los entables para obtener información relacionada con el número de bombas empleadas, la potencia y marca de las mismas y las horas de trabajo diarias entre otros datos. Con esta información se realizó una aproximación utilizando el número de equipos de succión empleados, el promedio de horas de operación al día y los datos de caudal máximo de succión de dichos equipos, reportados por su fabricante.

## Resultados y discusión

Consumo de agua y caudales de vertimientos mineros. El agua además de ser uno de los recursos más consumidos durante el proceso de extracción minera, es uno de los más impactados, pues recibe los residuos líquidos del proceso, en la mayoría de los casos de manera directa y sin tratamientos previos que disminuyan la carga contaminante. En general la actividad minera es una gran demandante de agua, de acuerdo con la información recolectada en campo; por cada entable se utilizan entre 1 y 2 bombas de succión de alta presión a gasolina, las cuales generalmente operan entre 20 y 22 horas al día para el caso de los entables mecanizados y

**Tabla 1**  
**Localidades y entables mineros seleccionados dentro del área de estudio**

Localidad	Entable	Descripción
Condoto	Mina Quiromina N 5°01'9.2" W 76°39'59"	Minería a cielo abierto mecanizada, con 3 meses de operación, un frente de trabajo que funciona con una retroexcavadora y una bomba en dos turnos de 6:00 am-5:00 pm y de 6:00 pm- 5:00 am. Los vertimientos van directamente a la quebrada Tapacundó. Se reporta el uso de mercurio para el beneficio en cantidades aproximadas de 0.5 libras/mes, cuyos sobrantes son enterrados.
	Mina Nicole N 5°01'12.9" W 76°40'12"	Minería a cielo abierto mecanizada con un año aproximado de actividad, con 2 frentes de trabajo que emplean 6 retroexcavadoras para el arranque y 2 equipos de bombeo, con turnos de 6:00 am-5:00 pm y de 6:00 pm-4:00 am. Presenta incipiente proceso de retención de vertimientos en laguna de sedimentación cuyos tiempos no se encuentran estandarizados, para luego verter a la quebrada Los Negros. Reportan el uso de 1 libra mercurio cada 2 meses.
Tadó	Mina Los Primos N 5°18'56" W 76°24'0.8" 93 msnm	Minería a cielo abierto mecanizada con 3 meses aproximados de operación. Uso de 2 máquinas retroexcavadoras y dos bombas de captación de agua localizadas sobre la quebrada Pureto, que a su vez recibe los vertimientos de manera directa, pues no existen pozos de sedimentación ni recirculación de agua. La actividad se realiza en dos turnos de 6:00 am-5:00 pm y de 6:00 pm-3:00 am. Reportan el consumo aproximado de 8 libras de mercurio en los tres meses de operación, con una frecuencia que oscila entre cada 2 u 8 días.
	Mina La Esperanza del Chocó N 5°16'11.3" W 76°31'22.7" 98 msnm	Actividad minera a cielo abierto, mecanizada, con 5 meses de funcionamiento en dos turnos de 6:00 am-6:00 pm y de 6:00 p m-6:00 am. Cuenta con dos retroexcavadoras, un bomba de succión localizada a orillas de la quebrada Tadocito, la cual además recibe los vertimientos del proceso de manera directa. A diferencia de los demás entables visitados, no presenta campamento establecido al momento del trabajo de campo. Se reportó el uso esporádico de mercurio para el beneficio del oro, cuyo proceso se realiza fuera del entable, con un acumulado de uso de 1 libra durante los 5 meses de operación.
Guayabal	Mina La Canducha N 5°43'28.4" W 76°37'55.3" 70 msnm	Minería a cielo abierto, semitecnificada con uso de bombas, canalón y batea. Tiempo de operación aproximado de 2 años, trabajando en un turno de 7:00 am-3:00 pm todos los días, con la operación de 2 bombas sobre la quebrada La Canducha, que a su vez recibe los vertimientos de manera directa. No se reporta el uso de mercurio para el beneficio del oro.
	Mina La Canducha 2 N 5°43'28.8" W 76°37'56.8" 73 msnm	Minería a cielo abierto, semitecnificada con uso de bombas, canalón y batea. Tiempo de operación aproximado de 2 años, trabajando en un turno de 7:00 am-3:00 pm todos los días, con la operación de 2 bombas sobre la quebrada La Canducha, que a su vez recibe los vertimientos de manera directa. No se reporta el uso de mercurio para el beneficio del oro.

**Tabla 2**  
**Localización y descripción de los puntos de muestreo por localidad**

<b>Mina</b>	<b>Punto de muestreo</b>	<b>Descripción</b>
	<b>Localidad Condoto</b>	
Quiromina	<b>Punto 1</b> N 5°01'06.7"-W 76°39'57.7"	Vertimiento del proceso de clasificación a la quebrada Tapacundó.
	<b>Punto 2</b> N 5°01'08.7"-W 76°39'58.7"	Laguna sin uso, resultante de la excavación inicial de explotación.
Nicole	<b>Punto 3</b> N 5°01'23.4"-W 76°40'13.8"	Laguna de sedimentación sin uso, frente de trabajo 1
	<b>Punto 4</b> N 5°01'23.4"-W 76°40'13.8"	Laguna de sedimentación sin uso, frente de trabajo 1
	<b>Punto 5</b> N 5°01'30.8"-W 76°41'30.5"	Vertimiento del proceso de clasificación, a laguna de sedimentación con tiempo de retención variable. (Frente 2)
	<b>Punto 6</b> N 5°01'30.8"-W 76°41'30.5"	Vertimiento de la laguna de sedimentación a la quebrada Los Negros (Frente 2)
	<b>Localidad Tadó</b>	
Los Primos	<b>Punto 7</b> N 5°18'57"-W 76°25'09"	Vertimiento del proceso de clasificación, a la quebrada Pureto.
	<b>Punto 8</b> N 5°18'6.9"-W 76°24'7.0"	Intersección de vertimientos de los procesos de clasificación y excavación.
	<b>Punto 9</b> N 5°19'10.6"-W 76°24'3.3"	Vertimiento total a la quebrada Pureto.
La Esperanza del Chocó	<b>Punto 10</b> N 5°16'11.3"-W 76°31'22.7"	Vertimiento directo del proceso de clasificación a la quebrada Tadocito.
	<b>Localidad Guayabal, Quibdó</b>	
La Canducha	<b>Punto 17 y 18</b> N 5°43'28.4"-W 76°37'55.3"	Vertimiento del proceso de clasificación a quebrada La Canducha.
La Canducha 2	<b>Punto 19 y 20</b> N 5°43'28.8"-W 76°37'56.8"	Vertimiento del proceso de clasificación a quebrada La Canducha.

aproximadamente 10 horas en aquellos semitecnificados. Las capacidades y potencias de estos equipos de bombeo oscilan entre 9.5, 13 y 14 HP, con caudales máximos de succión de 162, 248 y 308 galones por minuto (GPM) respectivamente. Estos datos permiten estimar el consumo de agua diario por equipo de bombeo entre 204.120 galones por día (GPD), 312.480 GPD o 388.080 GPD para el caso de equipos con promedio de operación de 21 horas diarias. Esta información permite proyectar el consumo diario de agua por cada tipo de entable, teniendo en cuenta que ambos coinciden

en presentar combinaciones de dos bombas con diferentes potencias (9.5 HP y 13 HP) o un equipo de bombeo de 13 o 14 HP, pero con diferentes tiempos de operación (Tabla 4 y Figura 2).

Se encontró que los caudales de vertimientos generados son directamente proporcionales a la cantidad de agua consumida durante el proceso y presentan un incremento del 30% o más en su volumen, representado en lodos y material sólido, producido durante el lavado del sustrato. Los registros de caudal medidos en campo en algunos de los puntos de



Figura 1. Toma de muestras y medición de caudal de vertimientos mineros

Tabla 3  
Estimación de consumo de agua diario por tipo de entable minero

Tipo de entable minero	Número de bombas	Promedio de horas de operación al día	Consumo diario de agua aprox*. (GPD)
Mecanizada	1	21	388.080
Mecanizada	2	21	592.200
Semimecanizada	1	10	184.800
Semimecanizada	2	10	282.200

\*Consumo máximo alcanzado con la válvula totalmente abierta

vertimientos indican los elevados flujos de agua con sedimentos producidos en los entables mineros en las tres localidades de muestreo. Para el caso de la mina Nicole, en la localidad de Condoto, se obtuvo un caudal de 358.250 GPD; en la mina Los Primos, de la localidad de Tadó, se registró un caudal de 1'350.292 GPD en el punto 9 donde se interceptan todas las aguas provenientes del proceso, y para el caso de minería semitecnificada en el entable Canducha, en el corregimiento de Guayabal, se obtuvo un valor aproximado de 159.468 GPD. Cabe mencionar que los caudales de vertimientos anteriormente calculados podrían ser superiores si se tiene en cuenta que los entables mineros visitados carecen de canalizaciones adecuadas que impidan fugas de

agua en diferentes direcciones, lo que dificulta su contabilización (Figura 3). No obstante, los datos muestran los elevados consumos y vertimientos de agua de la actividad, cuya cantidad depende en gran medida del tamaño del área intervenida, de la proximidad a la fuente hídrica abastecedora y de la técnica de extracción utilizada. De ahí que tanto los valores de consumos como de vertimientos hayan sido mayores en las minas que presentan mayor área de explotación y no incluyen prácticas como canalizaciones, pozos de sedimentación y recirculación de agua, como es el caso de la mina Los Primos en la localidad de Tadó.

Los datos obtenidos indican consumos diarios que oscilan entre los 388.080 y 592.200 GPD para el caso de las



Figura 2. Sistema de captación y consumo de agua en la minería.  
Minas Quiromina y Los Primos



Figura 3. Vertimientos mina Los Primos, localidad de Tadó

Tabla 4  
Resultados de caracterización fisicoquímica de vertimientos mineros en las localidades de muestreo

Mina	Punto de muestreo	pH	Temperatura (°C)	Turbiedad (UNT)	mg/l						
					Oxígeno disuelto	Grasas y aceites	DBO <sub>5</sub>	DQO	SST	ST	Mercurio
Localidad de Condoto											
Quiromina	1	8.7	27.5	810	0.73	81.8	<2	87.3	1506	1732	0
	2	6.5	28.5	54	0.97	39	<2	43.6	84	102	0
Nicole	3	6.8	28.7	91	0.99	<0.1	<2	36.4	68	192	7
	4	7.4	28.8	200	0.78	138.3	<2	72.7	1316	1324	0
	5	8.7	28.2	1100	0.66	63.5	<2	36.4	1340	1484	0
	6	7.1	28.2	149	1.68	47.8	<2	29.1	188	214	0
Localidad de Tadó											
Los Primos	7	8.7	28.5	1100	1.25	<5	21	2841	78457	82721	0,005
	8	8.7	28.5	1100	1.47	<5	35	2211	>100000	>100000	0,004
	9	8.7	29	1100	0.77	<5	3.5	266	9936	10234	0,007
Esperanza del Ch.	10	8.7	28.7	1100	2.11	<5	41.9	4682	40450	40546	0,001
Localidad de Guayabal											
Canducha	17	8.7	29	1100	<5	<5	10.3	321	18160	25020	0,002
	18	8.7	29	1100	<5	<5	10.9	368	17870	23851	0,001
Canducha 2	19	8.7	29	1100	<5	<5	13.9	1360	35848	46928	0,002
	20	8.7	29	1100	<5	<5	13.5	1488	23624	29461	0,003

minas tecnificadas y consumos que van desde los 184.800 hasta 282.200 GPD en aquellas semitecnificadas con menor tiempo de operación diaria. Al comparar estos valores con los caudales vertidos que alcanzan hasta 1'350.292 GPD, se hace evidente que la actividad minera en la zona requiere de la implementación de medidas de control ambiental durante el proceso, orientadas a la recirculación del agua y a la aplicación de tratamientos previos al vertimiento, de tal manera que se logre disminuir el consumo del recurso y la contaminación del mismo con grandes volúmenes de sedimentos, los cuales tiene una repercusión directa en las condiciones fisico-químicas del agua e interfieren en su calidad para el desarrollo de la vida acuática y para el uso de las comunidades en diferentes actividades socioculturales.

**Caracterización fisicoquímica y análisis de los impactos causados por los vertimientos mineros a las fuentes hídricas.** Los resultados del análisis de parámetros fisico-químicos en los vertimientos generados por la actividad minera en las tres localidades de estudio, aparecen en la Tabla 5.

A nivel general los parámetros pH y temperatura en todos los puntos de muestreo se mantuvieron dentro de los rangos establecidos por el Decreto 1594 del 1984, como permisibles para la preservación de fauna y flora acuática. Esta situación no ocurre con el resto de los parámetros analizados. El oxígeno disuelto en todas las muestras fue muy bajo debido a la gran cantidad de material presente en el agua, el cual se encarga de consumirlo o alterar los procesos químicos responsables de su producción, lo que contrasta con las elevadas turbiedades, las altas concentraciones de sólidos y la presencia en algunos casos de grasas y aceites. Estos resultados implican

**Tabla 5**  
**Proyección anual de contaminantes vertidos en la actividad minera**

Mina	Punto	Carga contaminante diaria ((kg/día)			Carga contaminante anual (kg/año)		
		Grasas y aceites	DQO	ST	Grasas y aceites	DQO	ST
Localidad de Condoto							
Quiromina	1	113	121	2394	41274	44049	873926
	2	54	60	141	19678	22000	51467
	3	0	50	265	50	18367	96879
Nicole	4	191	101	1830	69783	36683	668059
	5	88	50	2051	32041	18367	748791
	6	66	40	296	24119	14683	107979
Localidad de Tado							
	7	<20	14482	421679	7442	5286033	153912677
	8	<20	11271	509760	7442	4113840	186062400
	9	<20	1356	52169	7442	494926	19041626
Esperanza del Ch.	10	<20	23867	206687	7442	8711442	75440860
Localidad de Guayabal							
Canducha	17	<3	193	15067	1055	70558	549954
	18	<3	222	14363	1055	80889	5242591
Canducha 2	19	<3	819	28260	1055	298936	10315052
	20	<3	896	17742	1055	327071	6475702

afectaciones directas en los cuerpos de agua que reciben estos vertimientos, incrementando su turbiedad y con ello impidiendo el paso de la luz y la aireación del agua, evitando que procesos fotosintéticos favorezcan el desarrollo de la vida acuática.

Son elevadas las concentraciones de grasas y aceites encontradas en las 6 primeras muestras si se comparan con los valores permisibles para la preservación de fauna y flora acuática en aguas dulces, establecido por la normatividad vigente de vertimientos (0.01 mg/l), lo cual estuvo directamente relacionado con el uso de lubricantes y combustibles para la operación de equipos y maquinarias requeridas en el proceso minero, además, indican el mal manejo de estas sustancias durante el mismo, porque no se observó el establecimiento de medidas que favorezcan la disposición adecuada de sus envases, ni que impidan el derrame de las mismas en el suelo y su posterior incorporación a los vertimientos. Por su parte, los niveles de DBO obtenidos fueron bajos en general para todos los puntos de muestreo; este parámetro estima la cantidad de oxígeno requerido para estabilizar los materiales orgánicos biodegradables por una población de microorganismos (Barba 2002), lo que indica que estos materiales no están presentes en las aguas residuales directas del proceso minero, porque generalmente han sido eliminados

durante la actividad de desmonte previa al corte de los taludes en busca de los minerales. Por otro lado, los valores de DQO fueron considerables y oscilaron entre 29 y 4682 mg/l, indicando mayor presencia de sustancias orgánicas e inorgánicas susceptibles a oxidación química, de ahí la diferencia entre los resultados de DBO y DQO.

Uno de los parámetros que presentó mayor concentración en los vertimientos de falta algo? fueron los sólidos totales (ST) y suspendidos (SST), debido a la gran cantidad de materiales estériles que se lavan para extraer los minerales. Estos componentes son altamente impactantes, pues producen sedimentación en las fuentes hídricas y aumentan la turbiedad del agua impidiendo el desarrollo de la vida acuática. Los valores obtenidos oscilan entre 84 y >100.000 mg/l para el caso de los SST y entre 102 y >100.000 mg/l para los ST, presentando los niveles más altos en los puntos de vertimiento de las clasificadoras y las menores concentraciones en los pozos abandonados o pozos de sedimentación, donde los tiempos de retención y la disminución de la velocidad de flujo han permitido que gran parte del material se precipite al fondo de los mismos, sugiriendo la aplicabilidad de este tipo de sistemas para disminuir la carga de sólidos vertida sobre el recurso hídrico y los impactos causados en el mismo (Figura 4).



**Figura 4. Concentraciones de sólidos en los vertimientos mineros (mina Nicole, Condoto).**

En cuanto al mercurio, se reportaron en la mayoría de los puntos de muestreo, bajas concentraciones que no superan los valores permisibles para la conservación de la vida acuática, obteniendo el mayor reporte en lagunas o pozos de sedimentación, debido a que en ellas se depositan ocasionalmente las aguas residuales del proceso de beneficio del oro y se genera una disminución de la velocidad del agua que permite que este elemento se precipite y sea de más fácil medición. Las fuertes corrientes de agua generadas durante el lavado de la tierra, hacen que el mercurio liberado sea dispersado al ambiente con mucha rapidez, a lo que se suma que el proceso de beneficio en algunos casos no es realizado dentro de los entables, situaciones que dificultan la detección del mercurio en los vertimientos. En el punto de muestreo 3 (pozo de sedimentación abandonado, mina Nicole, Condoto) se reportó una concentración de 7 mg/l que supera el valor permisible para aguas naturales (0.01 mg/l), situación que indica que este elemento está siendo altamente aportado a las fuentes hídricas de la zona, el cual por ser muy soluble y bioacumulado directamente por los peces, a través del proceso de biotransformación realizado por los microorganismos acuáticos, genera un impacto ambiental de difícil control y de amplio alcance en espacio y en tiempo. En la Tabla 5 se presentan los datos correspondientes a la proyección diaria y anual de la carga contaminante para los 3 parámetros más significativos en cuanto a su impacto en el recurso hídrico, la cual fue estimada con base en los caudales de vertimiento y las concentraciones obtenidas en cada punto de muestreo. Los resultados indican que los vertimiento mineros pueden alcanzar descargas anuales de ST por 186'062.400 kg/año, DQO hasta por 8'711.442 kg/año y 69.783 kg/año de grasas y aceites, para el caso de minas tecnificadas y 10'315.052 kg/año, 327.071 kg/año y 1055 kg/año respectivamente, en minas semitecnificadas sin procesos de sedimentación previos al vertimiento. Estas cifras resultan alarmantes si se tiene en cuenta que los datos obtenidos corresponden a minas

puntuales, y que en la región muchas de ellas cuentan con varios frentes de trabajo, los cuales equivalen a puntos de vertimientos independientes o individuales, y que además sobre cada fuente hídrica se establece un número de minas cuya cantidad es difícil de determinar por las condiciones de acceso, la ilegalidad y la gran movilidad de la actividad minera, de ahí que esta sea altamente perturbadora del componente hídrico, pues en un mismo tramo se concentran varias minas, con diferentes tipos de explotación (retroexcavadora o planchones y motobombas), lo cual hace que las cargas contaminantes de sólidos y grasas vertidas a una fuente natural en la región, sean muy elevadas y generen sedimentación de los cauces y muerte de la biota acuática.

Aunque la carga contaminante del mercurio no se proyectó debido a que sus concentraciones fueron muy bajas en relación con otros parámetros, ya que este elemento es utilizado con mayor frecuencia durante el proceso de beneficio y este no coincidió con el muestreo, cabe mencionar que su concentración más alta alcanzó las 7 ppm y se localizó en una zona de extracción abandonada (pozo o depresión), lo que sugiere que esta concentración corresponde solo a la cantidad que alcanzó a quedar retenida en los sedimentos y que no fue arrastrada a aguas naturales por las fuertes corrientes generadas durante el proceso o incorporada a ciclos biológicos. A pesar de ello y de que los mineros reportaron durante el trabajo de campo el uso de este material solo entre 2.6 y 4 libras mensuales (32 y 48 libras anuales), se encontró 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 (Sánchez y Cañón 2010). Asimismo, existen registros de uso de mercurio en minería que estiman que para beneficiar 17,7 toneladas de oro se utilizan cerca de 108 toneladas de mercurio, es decir una relación de 1 Au a 6.1 Hg (Gómez 2002). También Hruschka *et al.* (2000), reportaron que para recuperar 1 kg de Au se pierden entre 5 y 10 kg de mercurio y Urrego y Díaz (2008),

indican que por cada gramo de oro producido, se utilizan cinco gramos de mercurio. Teniendo en cuenta lo anterior y que el Sistema de Información Minero Colombiano (SIMCO) (2012), reportó una producción de 4.335 kg para el año 2011 en el municipio de Condoto, se podría estimar que la carga contaminante de mercurio vertida en esta zona por la actividad minera, oscila entre 13.221 kg/año, 21.675 kg/año o 10.837 kg/año dependiendo de la relación que se aplique.

Estos datos muestran las grandes cantidades de mercurio empleadas y por consiguiente vertidas al medio durante el proceso de extracción minera, las cuales no se detectan en su totalidad durante la realización de muestreos de vertimientos, porque el comportamiento de este elemento le permite formar una amalgama con el oro, que luego es lavada en circuito abierto con abundante agua bombeada a grandes presiones desde las fuentes hídricas, para luego tomar diferentes rutas de disposición, bien sea en el suelo, en el agua o emitido en el aire, y de ahí puede ser inhalado por las personas, arrastrado por las corrientes, sedimentado en diferentes puntos del proceso, de las fuentes hídricas y de los ecosistemas de donde fácilmente son bioacumulados e ingresados a la cadena alimenticia. Es decir, las concentraciones de mercurio se dispersan de diversas maneras, por lo cual no se detectan solamente en los vertimientos líquidos generados.

Toda la información levantada durante el presente estudio corrobora los grandes aportes contaminantes que la actividad minera de oro a cielo abierto, hace al recurso hídrico del departamento del Chocó, lo cual se deriva de la alteración de las características físicas y químicas del agua, que determinan el estado del recurso para soportar el desarrollo de especies y su dinámica biológica, así como la calidad del mismo para que las comunidades asentadas en su área de influencia pueden llevar a cabo actividades socioeconómicas y culturales de gran importancia. Estas variables fisicoquímicas determinan de manera directa las condiciones del medio y su alteración presenta impactos ambientales asociados. En este sentido, REITEC (2011) reporta que las altas concentraciones de turbiedad en el agua bloquean el paso de la luz solar y evitan que las plantas acuáticas logren la fotosíntesis, disminuye el oxígeno disuelto, causa muerte de vegetación acuática y aumento en la absorción de calor adicional proveniente de la luz solar ocasionado menor solubilidad del oxígeno. Indica además que las partículas suspendidas obstruyen las branquias de los peces e interfirieron con su habilidad para encontrar alimento. Situación esperada en fuentes hídricas afectadas por la minería que reciben diariamente las cargas contaminantes ya mencionadas.

Otros autores han analizado los impactos y efectos de las alteraciones de las condiciones fisicoquímicas del agua, las cuales a su vez están relacionadas con actividades antrópicas como la minería. De acuerdo con ello, un impacto notorio causado por la actividad es la disminución del oxígeno

disuelto en el agua ocasionado por la saturación de materiales que lo consumen. Autores como Marín y Correa 2010, indican que la baja disponibilidad de OD limita la capacidad autopurificadora de los cuerpos de agua y afecta directamente la vida acuática aerobia. Por su parte Barba (2002) expresa que la presencia de aceites y grasas en el agua alteran sus características organolépticas (olor, color y sabor), por su escasa solubilidad crea natas sobre la superficie, la cual interfiere con los intercambios de luz requeridos para el desarrollo de la vida acuática. De otro lado, Barrenechea (2010) informa que el mercurio en el agua se encuentra sobre todo en forma inorgánica, pero puede pasar a compuestos orgánicos por acción de los microorganismos presentes en los sedimentos, de los cuales se traslada al plancton, a las algas y así sucesivamente, a los organismos de niveles tróficos superiores como los peces, las aves rapaces y al hombre. Sus efectos son básicamente neurotóxicos y genotóxicos.

En general los resultados obtenidos y la información revisada permiten evidenciar que son muchos los impactos ambientales ocasionados por la actividad minera sobre el recurso hídrico de la zona, no solo a nivel estructural porque los ambientes son modificados con el lavado de los suelos, sino a nivel fisicoquímico y biológico, pues también se modifican las condiciones intrínsecas del recurso y su disponibilidad de bienes y servicios ecológicos y sociales, de ahí que sea necesario diseñar estrategias para mitigar estos impactos. Al respecto, la normatividad vigente colombiana (Dec 1594/84) establece que todo vertimiento a un cuerpo de agua debe cumplir con las condiciones mínimas de pH entre 5-9, material flotante ausente, 40°C de temperatura, 80% de remoción para vertimientos de sólidos suspendidos totales, DBO, grasas y aceites. Al comparar estas características con los datos obtenidos, se observa la inminente necesidad de establecer e implementar medidas de manejo ambiental durante el proceso minero, que permitan disminuir los impactos generados sobre el componente hídrico, debido a la gran descarga de contaminantes aportada por esta actividad. En este sentido se encontró que la remoción de la carga vertida de sólidos suspendidos totales, DBO, grasas y aceites no alcanza los porcentajes exigidos por la norma, porque de las 6 minas visitadas, solo una presentó pozos de sedimentación que permite reducir en alguna medida la cantidad de sólidos vertidos.

## Conclusiones

La actividad minera de oro a cielo abierto practicada a lo largo del Chocó presenta una combinación de prácticas artesanales, semitecnificadas y mecanizadas simultáneas en los entables, localizados en la mayoría de los casos, cerca de ríos y quebradas, de las cuales captan grandes cantidades de

agua que no son reutilizadas ni tratadas. Sus montajes incluyen retroexcavadoras, motobombas y canalones, a través de los cuales, se agregan sin control, cantidades de mercurio y se lavan grandes volúmenes de material, generando grandes volúmenes de vertimientos con elevadas cargas contaminantes de sólidos (totales y disueltos), mercurio, grasas y aceites.

Estos vertimientos en la mayoría de los casos van de manera directa a las fuentes hídricas, haciendo de este componente ambiental uno de los más impactados con la explotación de oro a cielo abierto, porque la recepción de estas descargas genera cambios morfológicos y variación del flujo de las cuencas por la sedimentación en los cauces. En muy pocos entables son implementadas iniciativas de sedimentación de los vertimientos y recirculación antes de su disposición a las fuentes hídricas. Las condiciones mencionadas son agravadas por el alto índice de movilidad e ilegalidad de la actividad, lo que dificulta que las autoridades ambientales puedan ejercer el control requerido para exigir el cumplimiento de la normatividad de vertimientos y la mitigación de los impactos ambientales generados al recurso hídrico.

Todo lo anterior sugiere la necesidad de diseñar y establecer medidas aplicables a las condiciones de la región, orientadas al manejo adecuado de las aguas resultantes del proceso minero antes de su vertimiento a las fuentes hídricas, de tal manera que se logre minimizar el daño generado a nivel hídrico y de calidad del agua para uso humano y desarrollo de la biota acuática.

### Literatura citada

- Alcaldía Municipal de Condoto. 2004. *Esquema de Ordenamiento Territorial de Condoto*. Alcaldía Municipal. Condoto. 125 pp.
- Alcaldía Municipal de Quibdó. 2003. *Plan de Ordenamiento Territorial de Quibdó*. Alcaldía Municipal. Quibdó. 117 pp.
- Alcaldía Municipal de Tadó. 2009. *Esquema de Ordenamiento Territorial de Tadó*. Alcaldía Municipal. Tadó. 117pp.
- Barba, L. 2002. *Conceptos básicos de la contaminación del agua y parámetros de medición*. Cali: Universidad del Valle. 55 pp.
- Barrenechea, A. 2010. *Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua*. Lima: Organización Panamericana de la Salud (OPS), Organización Mundial de la Salud (OMS). 55 pp.
- Corporación Autónoma Regional de Nariño (CORPONARIÑO). 2009. *Cartilla de resultados Centro Ambiental Minero Sotomayor*. Pasto: CORPONARIÑO. 22 pp.
- Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC). 2008. *Evaluación minero-ambiental del Distrito Minero de Suárez, Cauca*. Popayán: CRC. 133 pp.
- Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC). 2009. *Diagnóstico ambiental en el municipio de Suárez, área de influencia corregimientos de Mindalá y La Toma, Cauca*. Popayán: CRC. 23 pp.
- 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. Bogotá: IDEA, Universidad Nacional de Colombia. 102 pp.
- Hidalgo, M., E. Mejía. 2010. *Diagnóstico de la contaminación por aguas residuales domésticas, cuenca baja de la quebrada La Macana, San Antonio de Prado*. Medellín: Universidad de Antioquia. 68 pp.
- Hruschka, F., H. Wotruba, T. Hentschel, M. Priester. 2000. *Manejo ambiental en la pequeña minería*. [en línea] GAMACOSUDE. Consultado: 10 de junio de 2012. URL disponible en: <http://www.gamaperu.org/libromedmin/index.html>
- Marín, J., J. Correa. 2010. *Evaluación de la remoción de contaminantes en aguas residuales en humedales artificiales utilizando Guadua angustifolia Kunth*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. 100 pp.
- Ministerio de Minas y Energía, Ministerio del Medio Ambiente. 2001. *Guía minero ambiental de explotación*. Bogotá: MinMinas y Energía, MinMedioAmbiente. 56 pp.
- REITEC Servicios de Ingeniería. 2011. *Aspectos teóricos de la turbidez*. [en línea]. Fecha de consulta: 3 de mayo de 2012. URL disponible en: <http://www.reitec.es/web/descargas/agua05.pdf>.
- República de Colombia. 1984. *Decreto 1594 de 1984*. Bogotá: República de Colombia. 55 pp.
- Sánchez, D., J. Cañón. 2010. Análisis documental del efecto de vertimientos domésticos y mineros en la calidad del agua del río Condoto (Chocó, Colombia). *Rev Gestión y Ambiente*. 13 (3): 115-30.
- Sistema de Información Minero Colombiano (SIMCO). (2012). *Producción oficial de minerales en Colombia*. [en línea] SIMCO. Consultado 10 de junio de 2012. URL disponible en: [http://www.upme.gov.co/generadorconsultas/Consulta\\_Series.aspx?idModulo=4&tipoSerie=116&grupo=496&FechaInicial=01/01/2001&FechaFinal=31/03/2012](http://www.upme.gov.co/generadorconsultas/Consulta_Series.aspx?idModulo=4&tipoSerie=116&grupo=496&FechaInicial=01/01/2001&FechaFinal=31/03/2012)
- Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). 2009. *Plan de Acción para la Sostenibilidad y Creación de Centros Ambientales Mineros (CAM), Cadenas Productivas y Plan Padrinos*. Informe final. Cali: Ministerio de Minas y Energía. 300 pp.
- Urrego A., J. Díaz. 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. Medellín: Universidad de Antioquia. Facultad de Ingeniería. Postgrado en Gestión Ambiental. 112 pp.
- Welch, P. S. 1948. *Limnological methods*. London: MacGraw-Hill. Book Company.