

MANEJO DE DRENAJES ÁCIDOS DE MINA (DAM)

AUTORES:

Javier Peña Ortiz

William Pérez Vega

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
BUCARAMANGA**

2009

MANEJO DE DRENAJES ÁCIDOS DE MINA (DAM)

AUTORES:

Javier Peña Ortiz

William Pérez Vega

**Monografía presentada como requisito de grado para optar al título de
Especialista en Ingeniería Ambiental**

DIRECTOR:

ERWIN WOLFF CARREÑO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
BUCARAMANGA**

2009

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. DIMENSIÓN MUNDIAL DEL PROBLEMA	2
1.1. DAM EN COLOMBIA	3
1.2. DAM EN EL DEPARTAMENTO DE SANTANDER	4
1.3. DAM EN CALIFORNIA	4
2. GEOLOGÍA	5
3. DRENAJES ÁCIDOS DE MINA (DAM).	8
3.1. DEFINICIÓN DE DAM	8
3.2. FORMACIÓN Y ORIGEN DEL DAM	9
3.3. COMPONENTES PARA LOS DAM	13
4. PANORÁMICA DE LA LUCHA CONTRA EL DAM	14
4.1. FORMAS DE CONTROL	16
4.1.1. TIPOS DE TRATAMIENTO DE LOS DAM	17
5. MANEJO Y CONTROL DE LOS DAM EN GREYSTAR	19
5.1. DIMENSIÓN AMBIENTAL	19
5.2. SISTEMA DE NEUTRALIZACIÓN DE EFLUENTES DEL TÚNEL EXPLORATORIO	20
5.3. FASES DEL PROCESO	22
5.3.1. FASE I	22
5.3.2. FASE 2	23
5.3.3. FASE 3	24
5.3.4. FASE 4	24
5.3.5. FASE 5	24
5.4. CARACTERIZACIÓN DE LOS DAM DEL TÚNEL LA PEREZOSA	25

5.5. MANEJO DEL DAM DE LA MINA EL TIBRE	30
6. RECOMENDACIONES	32
7. BIBLIOGRAFIA	33
ANEXO	34

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Geología General.	5

LISTA DE FOTOS

	Pág.
Foto No. 1. Roca Metamórfica	6
Foto No. 2. Procesos de Oxidación	6
Foto No. 3. Procesos de Oxidación de Minerales de Hierro	7
Foto No. 4. Boca Mina Túnel Exploratorio la Perezosa	21
Foto No. 5. Interior Túnel Exploratorio la Perezosa	21
Foto No. 6. Sistema de Dosificación	23
Foto No. 7. Sistema de Piscinas Intercomunicadas para el Manejo Del DAM	23
Foto No. 8. Sistema de Tanques para el Manejo del DAM	25
Foto No. 9. Efluente Tratado	25
Foto No. 10. Quebrada la Perezosa	26
Foto No. 11. Toma de Muestra para Caracterización Físico-Química	27
Foto No. 12. Personal de CDMB, PSL y GREYSTAR	27
Foto No. 13. Túnel de la Mina el Tigre	31

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Muestreo Puntual	28
Tabla 2. Muestreo Puntual Compuesto Vertimiento Final	29
Tabla 3. Muestra Acuosa Compuesta	29
Tabla 4. Análisis del Vertimiento del Túnel Exploratorio la Perezosa	30

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. CARACTERIAZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DEL EFLUENTE DEL TÚNEL EXPLORATORIO LA PEREZOSA	35
Anexo 2. INFORME DE LABORATORIO	38

TITULO: MANEJO DE DRENAJES ÁCIDOS DE MINA (DAM).

AUTORES: JAVIER PEÑA ORTIZ
WILLIAM PÉREZ VEGA

Palabras Claves: Drenajes Ácidos, Metales Pesados, Sólidos Suspendidos, Efluente.

Uno de los problemas ambientales más apremiantes de la industria minera es la generación de drenajes ácidos de mina con contenidos elevados de sulfatos, metales pesados y pH por debajo de 5 unidades. La remoción de los metales pesados y la regulación del pH presentes en los Drenajes Ácidos de Mina de oro, es posible mediante el empleo de sistemas de control conformados por piscinas consecutivas para un mayor periodo de residencia del agua y la aplicación de sustancias químicas como sulfato de aluminio y carbonato de calcio, que favorecen la disminución de la acidez aumentando el pH y regulando otros parámetros físico químicos como sólidos suspendidos y metales pesados.

En lo referente a estos, al aumentar el pH hace disminuir la solubilidad de los metales los cuales precipitan y son más fácilmente removidos del efluente y para darle una disposición final más limpia y libre de concentraciones altas de metales pesados. Los DAM no tratados causan un gran impacto al componente hídrico afectando de manera importante la fauna y flora acuática al igual que la calidad del agua de la fuente hídrica que recibe el vertimiento no tratado.

El proceso para el manejo y control de los Drenajes Ácidos de Mina, consiste en una mezcla de sulfato de aluminio y carbonato de calcio que se adiciona al efluente del túnel exploratorio, que genera un proceso mediante el cual se regula el pH y se dan las condiciones para llevar a efecto el proceso de floculación, sedimentación y filtración, dando como resultado el manejo de los sólidos suspendidos totales, metales pesados y regulación del pH.

De esta forma los Drenajes Ácidos de Mina tratados presentan valores que cumplen con la normatividad ambiental vigente que regula el decreto 1594 de 1984.

TITLE: MANAGEMENT ACID MINE DRAINAGE (AMD)

AUTHOR: JAVIER PEÑA ORTIZ
WILLIAM PÉREZ VEGA

KEY WORDS: Acid Drainage, Heavy Metals, Suspended Solids, Effluent.

One of the most pressing environmental problems of the mining industry is the generation of acid mine drainage with high contents of sulfates, heavy metals and pH below 5 units. The removal of heavy metals and pH regulation present in acid mine drainage from gold, is possible through the use of control systems comprised of consecutive pools for a longer period of residence of water and applying chemicals such as sulphate aluminum and calcium carbonate, which promotes decreased by increasing the pH acidity and regulating other physico-chemical parameters as suspended solids and heavy metals.

With regard to these, with increasing pH decreases the solubility of metals which are more easily precipitated and removed from the effluent and to give a final disposal cleaner and free of high concentrations of heavy metals.

The DAM untreated cause great impact to the water component significantly affects the aquatic fauna and flora as well as water quality of the water source that receives the discharge untreated. The process for management and control of acid drainage from Mina, is a mixture of aluminum sulfate and calcium carbonate is added to the effluent from the exploratory tunnel, which generates a process by which it regulates pH and the conditions for carrying out the process of flocculation, sedimentation and filtration, resulting in the management of total suspended solids, heavy metals and pH regulation.

In this way the treated acid mine drainage have values that comply with current environmental regulations governing the 1594 Decree 1984.

INTRODUCCIÓN

Las operaciones mineras causan impacto en el ambiente por la formación de aguas ácidas, generadas por los minerales sulfurosos que son expuestos a la acción del aire y del agua, comienza en sus superficies un complejo proceso que engloba en su desarrollo fenómenos químicos, físicos y biológicos.

Los DAM, generados en Greystar por las actividades de exploración minera de manera particular en el túnel la Perezosa, son controlados mediante un sistema denominado SNETE (Sistema de neutralización de Efluentes del Túnel Exploratorio). El cual está conformado por un sistema de agitación, dosificación de carbonato de calcio y suministro de sulfato de aluminio como coagulante que influye directamente en la floculación.

El sistema está conformado por una serie de piscinas intercomunicadas donde se realizan los diferentes procesos de mezcla de los compuestos químicos que se utilizan con el objetivo de regular el pH, sólido suspendidos totales, DBO₅ y demás sustancias de interés sanitario, como metales pesados

1. DIMENSIÓN MUNDIAL DEL PROBLEMA.

Aunque los más frecuentes ejemplos de contaminación por DAM proceden de EE.UU. y Canadá, este problema afecta igualmente numerosos estados de Sudamérica, África, Europa, Australia y en general allí donde se produce una alta actividad minera en yacimientos con presencia de sulfuros, como puede ocurrir no sólo en la minería de que contenga pirita sino también en las minerías del oro, plata, cobre, cinc, plomo, uranio y carbón.

En USA, el DAM constituye el problema número uno de contaminación difusa. En este país, están afectado por esta clase de contaminación un total de más de 17.000 Km. de ríos repartidos por casi 20 estados de la Unión; solamente en Pennsylvania, con una superficie similar a la de Andalucía y Murcia juntas, 4.000 Km. de cursos fluviales se encuentran contaminados por DAM. Dentro de este marco general, pueden destacarse como casos más conocidos los generados por las cuencas carboníferas de Pennsylvania, por las minas de sulfuros de plomo y cinc del distrito minero de Pícher, entre Oklahoma y Kansas, por Bunker Hill, mina de plomo y cinc en Idaho; igualmente, la contaminación producida por las minas de carbón y de cinc en el suroeste de Illinois, Clear Creek en Colorado, Iron Mountain en California, y la mina de oro de Richmond Hill, en Dakota del Sur son paradigmas de DAM.

En Canadá, entre los numerosos casos de contaminación que afectan fundamentalmente a diez estados, son especialmente conocidos los del río Tsolum, en la Columbia Británica, por lixiviados de residuos piríticos de una

mina de cobre, Mount Washington o la contaminación producida por las minas Equity Silver, y Britannia, Coast Copper; Windy Craggy en Ontario, la de Mina Doyon en Quebec, Manitoba y Vangorda Plateau en Yukón. En Australia cientos de explotaciones mineras de carbón, uranio, cobre, cinc, etc., producen DAM, siendo clásicos los ejemplos de las minas de Rum Jungle, Brukunga, Captain Flat, Gregory, Peko y Mt. Morgan así como la mina de Mt. Lyell, de cobre, oro y plata, en Tasmania. En otros países cabe destacar, de forma muy resumida los drenaje ácidos producidos en las innumerables minas de carbón de Escocia y metalíferas de Gran Bretaña , la contaminación producida en el Vístula y el Oder por las casi 70 minas de carbón de la Alta Silesia en el sur de Polonia, o la generada en las minas de uranio de la república checa, en las minas de hierro de Lorraine y de sulfuro de plomo de Carnoulès, en Francia, en las minas de lignito de Alemania; la creada por las más de 1000 pequeñas minas de sulfuros de Suecia, la de los depósitos mineros del norte y centro del Perú, con su abundancia en enargita, los problemas ambientales creados por las minas de cobre de Cuajone y Toquepala en este país, las minas de estaño de Oruro en Bolivia y una lista realmente extensa que afecta a todos los continentes.

1.1 . DAM EN COLOMBIA

En Colombia se han presentado y detectado DAM, principalmente en las explotaciones de carbón y oro, en los yacimientos que actualmente son explotados en el departamento de la Guajira. Las características de los efluentes de DAM son similares a los generados en las minas a nivel mundial, ya sean subterráneas o a cielo abierto.

1.2. DAM EN EL DEPARTAMENTO DE SANTANDER.

A nivel del departamento de Santander la generación del DAM es común en todas las explotaciones mineras de oro y plata en el distrito minero de California y Vetas. Las explotaciones son artesanales por tal circunstancias los DAM generan contaminación en las fuentes hídricas donde son vertidos los efluentes que se producen en las actividades de beneficio del mineral.

1.3. DAM EN CALIFORNIA

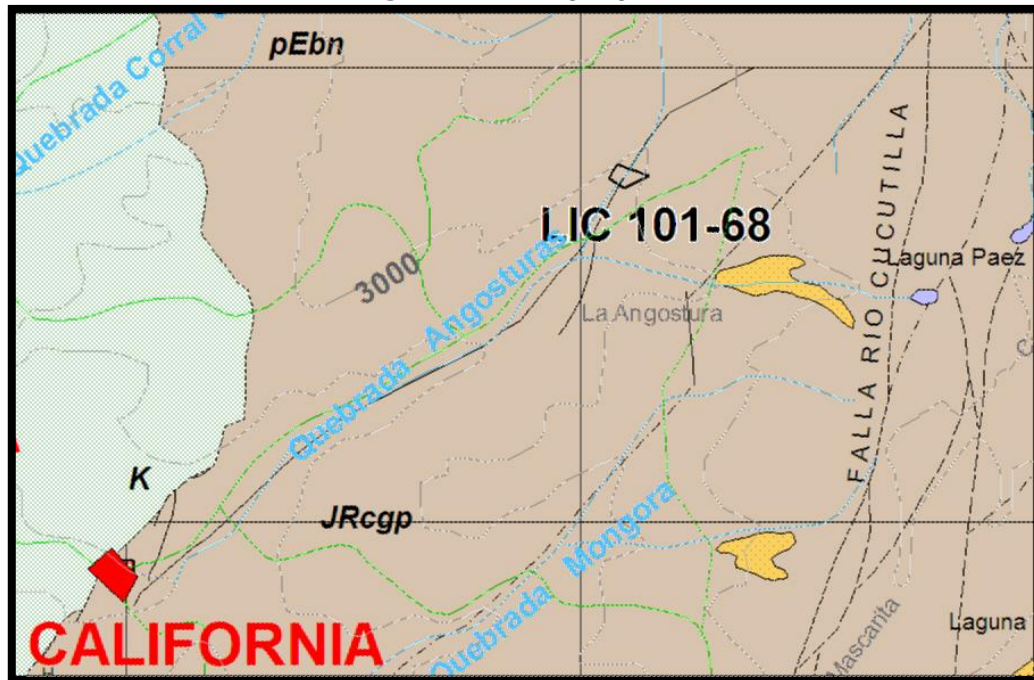
Los DAM, tienen características similares en todo el distrito minero de California ya que la composición litológica de la zona es muy homogénea, conformada por rocas ígneas félsicas asociadas con filones, que presentan características litológicas y composicionales de sulfuros y otros minerales cuya descomposición acidifican las aguas en este distrito minero. En California la mayor parte de minería es de tipo artesanal y en la mayoría de los trabajos de minería subterránea generan aguas caídas debido a la composición de las rocas con altos contenidos de sulfuros principalmente la pirita, la cual se descompone al contacto con el agua de infiltración produciendo DAM.

2. GEOLOGIA.

La geología juega un papel muy importante en la generación del DAM, en virtud a que la composición mineralógica de las rocas con altos contenidos de sulfuros incide de forma directa en la composición del DAM.

Fig.1 Geología general

Figura 1. Geología general



En el municipio de California, la geología está representada por rocas ígneas y metamórficas pertenecientes al macizo ígneo metamórfico de Santander, cuya composición litológica está conformada por una secuencia de “neises Cuarzo feldespáticos, Hornblendicos, Biotíticos con texturas migmatíticas, granulíticas y esquistosas, El neis presenta intrusiones de pórfidos mineralizados de composición tonalítico-dacítico. Las estructuras presentes

en el área son las fallas de Angosturas y La Baja con dirección general NE.
(Fotos 1, 2, y 3).



Foto No.1. Roca metamórfica



Foto No. 2. Procesos de oxidación.



Foto No. 3. Procesos de oxidación de minerales de hierro.

3. DRENAJES ÁCIDOS DE MINA (DAM).

3.1 . DEFINICIÓN DE DAM

Cuando las rocas con minerales sulfurosos, como pirita, calcopirita, pirrotita, marcasita, galena, arsenopirita, etc. son expuestas a la acción del aire y del agua, comienza en sus superficies un complejo proceso que engloba en su desarrollo fenómenos químicos, físicos y biológicos. De una forma muy simplificada, su evolución fenomenológica se puede resumir en los siguientes puntos:

- Procesos de oxidación, que transforman los sulfuros en sulfatos con producción de ácido; estos procesos pueden ser químicos o "catalizados" por bacterias como Thiobacillus Ferroxidans, T. Thiooxidans, T. Thioparus, etc...
- Reacciones secundarias entre los productos de las reacciones anteriores y los restantes minerales presentes en la roca; así, el ácido generado disuelve metales pesados tales como plomo, cinc, cobre, arsénico, mercurio, cadmio, etc.
- Disolución y arrastre de estos productos por el agua de lluvia o de escorrentía, produciéndose un caudal líquido contaminante que se caracterizara por su acidez y por las altas concentraciones en sulfatos y metales pesados.

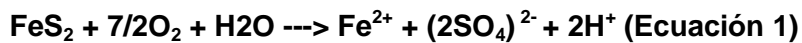
- Así pues, la generación de DAM conlleva dos subprocesos: El primero es el de producción (y almacenamiento) de solutos, que está afectado por agentes exteriores al foco contaminante como la temperatura, oxígeno presente, concentración y actividad bacteriana, etc. y por factores mineralógico intrínsecos como el tipo y contenido de sulfuros, elementos neutralizantes, superficie de exposición etc. El segundo es el de su posterior extracción por el agua, sin la cual no se produciría DAM.

Este subproceso se rige por parámetros hidrológicos y estructurales como el volumen, intensidad y distribución temporal de la lluvia, tipo de circulación o drenaje, condiciones iniciales del foco, etc. La mayor o menor importancia de la producción de drenaje ácido de mina dependerá según esto de la eficacia y sincronía de ambos subprocesos.

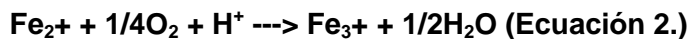
3.2 . FORMACIÓN Y ORIGEN DE DAM.

La generación de ácido es originada por la oxidación de los minerales sulfurosos cuando son expuestos al aire y agua, lo cual da por resultado la producción de acidez, sulfatos y la disolución de metales. No todos los minerales sulfurosos son igualmente reactivos, ni la acidez se produce en igual proporción. Además, no todos los minerales sulfurosos o rocas con contenido de sulfuro son potencialmente generadores de ácido. La tendencia de una muestra particular de roca a generar acidez neta es una función del balance entre los minerales (sulfurosos) productores potenciales de ácido y los minerales (alcalinos) consumidores potenciales de ácido.

Las reacciones de generación de ácido se expresan generalmente como la oxidación de la pirita, uno de los minerales sulfurosos más comunes. Inicialmente, los sulfuros reaccionan con el oxígeno y el agua para formar sulfato (SO_4^{2-}), hierro ferroso (Fe^{2+}) e iones de hidrógeno (H^+). Esta reacción total de generación de ácido, en la que se muestra la pirita siendo oxidada por el oxígeno, puede representarse por las siguientes ecuaciones propuestas por Kleinmann et al., en 1981:



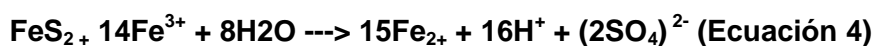
Posteriormente, el hierro ferroso reacciona con el oxígeno para formar hierro férrico:



Dependiendo del pH en el ambiente alrededor del sitio de oxidación, el hierro férrico puede luego precipitarse en la forma de hidróxido (Ecuación 3), o puede, a su vez, ser utilizado como oxidante (Ecuación 4). A niveles de pH por encima de 3.5, el hierro férrico (Fe^{3+}) tiende a precipitarse como hidróxido férrico. Esto forma el precipitado rojo que se observa en la mayoría de minas que generan ácido. Durante esta reacción, se liberan iones de hidrógeno adicionales.



A medida que se desarrolla la generación de ácido y se consume la alcalinidad disponible, el hierro férrico, a su vez, sirve como oxidante y puede promover la oxidación química de los minerales sulfurosos. En el caso de la pirita, la reacción que ocurre es la siguiente:



La oxidación química de la pirita (**Ecuación 1**) es una reacción relativamente rápida a valores de pH mayores que 4.5, pero mucho más lenta a niveles de pH más ácidos. La velocidad del suministro de oxígeno es el elemento que controla principalmente la velocidad de la oxidación química. A niveles de pH inferiores a 4.5, la oxidación por el hierro férrico se convierte en el proceso de oxidación dominante. La velocidad de producción de hierro férrico, a partir del ferroso (**Ecuación 2**), se convierte en la etapa controlante del proceso total de oxidación. Sin embargo, por catálisis biológica, esta reacción es relativamente rápida.

Los principales focos productores de DAM en las explotaciones mineras son los drenajes de las minas subterráneas, por bombeo en las minas activas y por gravedad en las abandonadas, las escorrentías de las colas en la minería a cielo abierto y los lixiviados de las escombreras y residuos mineros. En algunos casos, el agua que sale de estos focos lleva tan altas concentraciones metálicas, que algunos investigadores se cuestionan si el problema debería enfocarse como la recuperación de un recurso que se pierde en lugar de la eliminación de un efluente contaminante. Cuando el DAM formado en estos focos alcanza las aguas limpias de la red hidrográfica las contamina en acidez, sulfatos y metales pesados. Sin embargo, el grado de acidez y las concentraciones en contaminantes de las aguas, río abajo, serán función de la envergadura del aporte contaminante de DAM recibido, así como del caudal diluyente que traiga el curso de agua. De igual forma, la infiltración de DAM puede contaminar suelos y aguas subterráneas.

Los drenajes ácidos de mina se constituyen en uno de los principales contaminante en la explotación de minerales auroargentíferos, y otros como en el caso del carbón, que es otra industria que genera DAM.

El fenómeno de drenaje ácido proveniente de minerales sulfurosos y es un proceso que ocurre en forma natural. Hace cientos de años, se descubrieron muchos yacimientos minerales por la presencia de agua de drenaje rojiza, indicando la presencia de minerales sulfurosos. Actualmente en nuestro país y de una manera particular en la universidad de Antioquia se están desarrollando métodos de control de los DAM. No obstante, el drenaje ácido no ocurre únicamente en las minas, por lo que el término "drenaje ácido de roca" o DAR también es usado comúnmente.

De igual forma, ya sea DAM o DAR, el drenaje ácido se refiere a: drenaje contaminado que resulta de la oxidación de minerales sulfurados y lixiviación de metales asociados, provenientes de las rocas sulfurosas cuando son expuestas al aire y al agua. El desarrollo del DAM es un proceso dependiente del tiempo y que involucra procesos de oxidación tanto química como biológica y fenómenos físico-químicos asociados, incluyendo la precipitación y el encapsulamiento, el cual consiste en atrapamiento de los óxidos y de los sulfuros que al contacto con el agua no se rompe su molécula y por lo tanto ellos continúan en el drenaje provocando en su recorrido la formación de nuevos DAM al romperse la molécula.

Es importante reconocer que la definición se refiere al drenaje contaminado. El desarrollo del clásico DAM de pH bajo y rico en metales con sulfuros es un proceso que depende del tiempo.

A lo largo del tiempo, la química del agua de drenaje cambiará, volviéndose gradualmente más ácida, con concentraciones crecientes de metales. Sin embargo, como se describe en la definición, el DAM se refiere a todo drenaje

contaminado como resultado de los procesos de oxidación y lixiviación de los minerales sulfurosos. Con el tiempo las características del drenaje pueden cambiar, de ligeramente alcalino hasta casi neutro y finalmente ácido.

3.3 COMPONENTES PARA LOS DAM

El término drenaje ácido de mina contaminado (DAM) se refiere al agua de drenaje que contiene niveles de cualquier elemento o contaminante que no se encuentre dentro de los límites reglamentarios para su vertimiento directo, o que podría ocasionar un impacto ambiental adverso.

Por lo general, este drenaje ácido puede incluir, pero sin limitarse a ello, lo siguiente:

- pH, acidez, alcalinidad
- Sulfatos
- Nutrientes
- Metales (disueltos o totales)
- Sólidos disueltos totales (SDT)
- Sólidos suspendidos totales (SST).

De igual forma los DAM se identifican por presentar las siguientes características:

- Valores de pH por debajo de 7 hasta 1.5
- Alcalinidad decreciente y acidez creciente
- Concentraciones elevadas de sulfato
- Concentraciones elevadas de metales (disueltos o totales)
- Concentraciones elevadas de sólidos disueltos totales

4. PANORÁMICA DE LA LUCHA CONTRA EL DAM

De una forma global, se puede afirmar que la lucha contra la contaminación producida por DAM, en los distintos países afectados por la misma, sigue tres grandes líneas de acción:

- Investigación de métodos eficaces y eficientes de control y prevención
- Tratamiento de efluentes en explotaciones mineras activas
- Tratamiento de efluentes de minas abandonadas y recuperación de zonas afectadas por su contaminación

Respecto al primer punto, cabe resaltar como en numerosos países se ha producido la unión entre la industria minera y el gobierno, además de universidades, asociaciones de voluntarios, etc., en la búsqueda de soluciones. En Canadá, esta búsqueda se desarrolla en el marco del programa Mine Environment Neutral Drainage (MEND), en el que la industria minera, el gobierno federal y los gobiernos provinciales participan en más de 200 proyectos diferentes; para el mismo objetivo; en USA es el Acid Mine Drainage Technologie Initiative ((ADTI), el lugar de encuentro de industria minera, el gobierno e instituciones académicas.

Mientras que en Australia se trabaja en el Australian Centre for Minesite Rehabilitation Research (ACMRR), junto a universidades e industria minera, en Suecia se desarrolla el programa Mitigation of the Environmental Impact from Mining Waste (MiMi), que con investigadores de seis universidades y

técnicos de compañías mineras, es financiado por una fundación gubernamental, (MISTRA) y por las empresas mineras.

La panorámica de la lucha contra la contaminación en minas activas y abandonadas es muy compleja, debido a tanto a su dificultad técnica como a su envergadura económica. En las minas activas de los países del primer mundo, las empresas mineras han comenzado a tratar sus efluentes, siendo los gastos anuales muy considerables, desde los 6.000 millones de pesetas de Australia hasta los 60.000 millones (ptas) que gastan las empresas mineras de EE.UU.

En las minas abandonadas el problema es aún más complicado: así, mientras que en Canadá se estima que la lucha contra este problema costaría casi medio billón de pesetas; en EE.UU. las estimaciones de los costes de remediación de la degradación producida por las minas abandonadas oscilan entre 1 y 5 billones de pesetas; las estimaciones para Australia y Suecia son respectivamente de 150.000 MM y 50.000 MM de pesetas.

En muchos países las autoridades gubernamentales han tenido que actuar mediante cuantiosas inversiones para atajar la contaminación provocada por minas inactivas desde el pasado siglo y de propiedad desconocida., pero quizás el ejemplo más interesante sea el de EE.UU... En este país, el congreso aprobó en 1977 la Surface Minning Control and Reclamation Act, en la que se contempla entre otras cuestiones la formulación de un programa, Abandoned Mine Land (AML), destinado a la superación de los déficit creados por las minas abandonadas antes de 1977.

Para ello se creó un fondo económico con carácter finalista, alimentado por unos impuestos sobre la tonelada de mineral producido (carbón), además de las recaudaciones por multas, tasas, donaciones, etc.; sobre una relación de sitios mineros, el Abandoned Mine Lands Inventory System (AMLIS), se priorizaron un conjunto de actuaciones y se procedió a su ejecución, mediante una perfecta coordinación entre el gobierno federal y los gobiernos de los estados afectados, así como con diversas asociaciones ciudadanas, universidades, etc.

En la actualidad ya se ha actuado total o parcialmente en casi un 45 % de los más de 10.000 lugares afectados por minas abandonadas.

4.1. FORMAS DE CONTROL

Una de las mejores defensas contra el drenaje ácido es prevenir que el material que puede generarlo entre en contacto con el aire y el agua, porque una vez que la reacción comienza es casi imposible detenerla y continuará por varias décadas. El control de la generación de ácido se puede hacer:

A través de la remoción de uno o más de los componentes esenciales: azufre, aire, agua. Algunas formas de control son:

- Separación de los desechos y mezcla. Se trata de mezclar la roca generadora de ácido con otro tipo de roca, cuya composición sea neutralizadora, creando un pH neutro.

- Aditivos base. Material alcalino, tales como caliza, cal, ceniza de soda pueden ser agregados a la roca sulfurosa con el fin de amortiguarlas reacciones productoras de ácido.
- Cubrimientos. Tierra, arcilla y coberturas sintéticas pueden ser puestas sobre la roca generadora de ácido, con el fin de minimizar la infiltración de agua y aire.
- Bactericidas. La introducción de ciertos químicos que reducen la bacteria (*Thiobacillusferrooxidans*) que cataliza las reacciones de la generación de ácido ha resultado bastante efectiva. La bacteria *Thiobacillus ferrooxidans* se emplea en procesos de lixiviación bacteriana, también conocida como biolixiviación de minerales, un proceso natural de disolución que resulta de la acción de un grupo de bacterias con habilidad de oxidar minerales sulfurados, permitiendo la liberación de los valores metálicos contenidos en ellos.

4.1.1. TIPOS DE TRATAMIENTO DE LOS DAM

La prevención del drenaje ácido es preferible a su tratamiento. En algunos casos (especialmente para escombreras y balsas de retención) es posible prevenir la generación de lixiviados ácidos por la instauración de coberturas que previenen el contacto entre los sulfuros, el oxígeno y el agua (p.ej. Gustafsson et al., 1999; Younger et al., 2002).

Estas coberturas suelen ser de arcilla ('coberturas secas'), o de agua profunda ('coberturas de agua'). Sin embargo, la prevención completa de drenaje ácido no es factible en muchos casos (especialmente cuando se

trata de minas subterráneas), y la protección medio-ambiental precisa el tratamiento del resto del drenaje ácido.

Se distinguen dos tipos de tratamiento: activo y pasivo.

Por "tratamiento activo" se entiende la aplicación de los métodos ortodoxos de depuración de aguas residuales, que generalmente incluyen:

- El uso de reactivos sintéticos (en este caso, álcalis y floculantes)
- El uso de energía eléctrica (para bombeo, para la mezcla de reactivos con agua etc).
- Sedimentación intensificada (en un estanque o en una clarificadora).

Tratamiento "pasivo" (termino que no existía antes del año 1990; Cohen and Staub, 1992) implica tratamiento en sistemas estáticos (sin bombeo etc.) que contienen materias naturales (abono, piedra caliza etc). Los sistemas pasivos provocan la mejora de la calidad del agua por reacciones biogeoquímicas, sin el uso de reactivos sintéticos y sin la aplicación de energía externa.

El tratamiento pasivo fue desarrollado en los EE-UU (p.ej. Cohen and Staub, 1992; Hedin et al., 1994) con motivo de tener estrategias sostenibles para el tratamiento de aguas de mina a largo plazo, reconociendo que el drenaje contaminado de minas es un fenómeno que suele durar siglos y hasta milenios (p.ej. Younger, 1997).

5. MANEJO Y CONTROL DE LOS DAM EN GREYSTAR

A nivel de actividades de exploración y explotación de recursos naturales principalmente de oro, carbón y otros, ya sea a cielo abierto o por minería subterránea es probable la generación de DAM.

Greystar en sus actividades de exploración mediante túneles, como La Perezosa genera efluentes de aguas residuales industriales con características físico químicas típicas de DAM.

5.1. DIMENSIÓN AMBIENTAL.

Los DAM pueden incidir de forma muy fuerte en el componente biótico de una zona en lo referente a la fauna y flora acuática, y en la misma calidad del agua, en razón a que los DAM consisten en la formación de aguas de gran acidez, por lo general ricas en sulfatos, y con contenidos variables en metales pesados. Dicho drenaje se desarrolla a partir de la lixiviación de sulfuros metálicos o de pirita.

Los metales pesados son elementos con densidad relativa mayor de cuatro a cinco, localizados en la tabla periódica con número atómico 22 a 34 y 40 a 52, así como los de la serie de los lantánidos y los actínidos, con una respuesta biológica específica. Los más comunes son: Ba, Se, Cr, Cu, Hg, As, V, Mn, Fe, Ni, Zn, Ag, Pb, Cd y Sn. La toxicidad de los metales pesados depende de diferentes factores, su peligrosidad radica principalmente en la capacidad que poseen para bioacumularse.

Identificado el problema y caracterizado, se inicio la construcción del sistema de neutralización de efluentes del túnel exploratorio (SNETE), con miras al control y manejo de estos para evitar las afectaciones ambientales a las fuentes hídricas y estar dentro del marco legal de la normatividad ambiental vigente que regula los vertimientos como es el decreto 1594 de 1984.

De acuerdo a los diferentes métodos que existen para el manejo y control de los DAM, Greystar optó por el de tipo Activo, en razón a que no disponía de un espacio suficiente para realizar un procedimiento como por ejemplo lechos de caliza, lo cual dispondría de áreas mayores para obtener un periodo de residencia del agua en contacto con la caliza. Mientras el método utilizado por Greystar se ciñe a los factores topográficos de la zona, la facilidad de obtención de materias primas como el carbonato de calcio y sulfato de aluminio, los cuales deben estar de forma oportuna las 24 horas, ya que esta es una operación continua de manejo y control del efluente del túnel.

5.2 SISTEMA DE NEUTRALIZACIÓN DE EFLUENTE DEL TÚNEL EXPLORATORIO

Los DAM, generados en Greystar por las actividades de exploración minera de manera particular en el túnel la Perezosa (Foto 4 y 5), son controlados mediante un sistema denominado SNETE (Sistema de neutralización de Efluentes del Túnel Exploratorio).

El cual está conformado por un sistema de agitación, dosificación de carbonato de calcio y suministro de sulfato de aluminio como coagulante que influye directamente en la floculación.



Foto 4. Boca mina túnel exploratorio la Perezosa



Foto 5. Interior túnel exploratorio la Perezosa

El sistema está conformado por una serie de piscinas intercomunicadas donde se realizan los diferentes procesos de mezcla de los compuestos químicos que se utilizan con el objetivo de regular el pH, sólido suspendidos totales, DBO₅ y demás sustancias de interés sanitario, como metales pesados

5.3. FASES DEL PROCESO

El proceso de control y manejo del DAM se inicia con la mezcla de carbonato de calcio con un porcentaje de CaCO_3 de 3.6 libras cada hora y de sulfato de aluminio 300gramos por cada 1000litros. Esta operación se realiza en un taque plástico de volumen de 1000litros, de igual forma los elementos (carbonato de calcio y sulfato de aluminio) se agitan mediante un eje con aspas que es movido mediante un motor de 1.5HP.

5.3.1. Fase 1.

La adicción de las sustancias químicas se hace por medio de un temporizador que cada 30 minutos y durante un lapso de 2 minutos inocula los compuestos que de manera permanente son adicionados al efluente del Túnel, que es captado en boca mina mediante tubería de PVC de 4 pulgadas de diámetro y conducido a una piscina conformada por sacos de tierra de la zona, que le dan la forma a la piscina, la cual es recubierta primeramente con una capa de geotextil y otra de plástico encima de esta, que se adaptan a la forma de la piscina para nuestro caso rectangular. (Foto 6 y 7).



Foto No. 6. Sistema de dosificación



Foto No.7. Sistema de piscinas intercomunicadas para el manejo del DAM

5.3.2. Fase 2.

En esta etapa el efluente pasa a una segunda piscina con las mismas características de la citada, en esta se lleva a cabo el proceso de sedimentación, con miras a retener los sólidos sedimentables.

5.3.3. Fase 3.

En esta fase, el efluente es conducido de la segunda piscina por medio de mangueras plásticas de 4 pulgadas a un canal con tabiques logrando un mayor periodo de residencia del efluente y potenciando la sedimentación de sólidos.

5.3.4. Fase 4.

En esta etapa el efluente pasa a través de dos tanques (T1 y T2) conformados en mampostería impermeabilizada, donde continúa el proceso de sedimentación con un efluente mas estabilizado y con menor velocidad de flujo.

5.3.5. Fase 5.

En esta, el efluente pasa por 4 tanques (T3, T4, T5 y T6) en mampostería impermeabilizada, en donde la característica primordial es el paso del efluente con flujo ascendente al primer compartimiento y con flujo descendente al segundo y siguiendo la secuencia en los otros tanques, para finalmente en el último compartimiento se realiza el proceso de filtración. (Foto 8).

El sistema descarga el efluente mediante tubería de PVC de 4 pulgadas, (foto 9) y se conduce por medio de un canal abierto hasta donde se realiza su vertimiento a la Quebrada la Perezosa (Foto 10)



Foto No. 8. Sistema de tanques para el manejo del DAM



Foto No. 9. Efluente tratado.



Foto No. 10. Quebrada la Perezosa

5.4. CARACTERIZACIÓN DE LOS DAM DEL TÚNEL LA PEREZOSA.

En el efluente que se genera en el túnel exploratorio la Perezosa se han realizado caracterizaciones físico químicas con miras a determinar la calidad del efluente para su vertimiento, y se observa que los resultados estén dentro del marco normativo ambiental exigidos en el decreto 1594 de 1984.

El monitoreo de los efluentes del túnel la Perezosa se realiza mediante un protocolo entre Greystar Resources Ltda., y la autoridad ambiental para nuestro caso la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, para que sea auditado y tenga validez.

Las caracterizaciones del efluente fueron realizadas por el laboratorio PSL Pro análisis Ltda, que es un laboratorio acreditado por el IDEAM como lo exige la normatividad ambiental vigente. (Foto11y 12).



Foto No. 11. Toma de muestra para caracterización físico química



Foto No.12. Personal de CDMB, PSL y Greystar

Los resultados de la caracterización del efluente se presentan en el anexo 1 y de forma resumida en la tablas número 1, valores de muestreo puntual a la salida del túnel la Perezosa, tabla número 2, muestreo compuesto efluente túnel después de pasar por el sistema de tratamiento, tabla número 3, análisis y resultado del efluente después de pasar por el SNETE y tabla número 4, comparación de los valores del efluente después del tratamiento con respecto al decreto 1594 de 1984.

Aunque algunos de los valores del efluente tratado del túnel exploratorio la Perezosa no cumple con lo normado en el decreto 1594 de 1984 particularmente en los parámetros relacionados con DBO₅ y grasas y aceites, lo anterior obedece a que el decreto 1594/84 expresa la remoción en porcentaje, lo cual no es equitativo para las empresas que realicen afectaciones en menor proporción en lo que respecta carga contaminante, y si es muy favorable para aquellas que tienen efluentes con grandes cargas. Por lo cual sería muy importante y equitativo que las entidades ambientales exigieran estos parámetros (SST, DBO₅ y G&A), y no en porcentaje de remoción, sino por concentración de la carga en el efluente.

Tabla No. 1 Muestreo Puntual

DATOS DE CAMPO		
DATOS DE CAMPO		
Análisis	Valor	Unidades
pH	3.56	unidades de pH
Conductividad	299	uS/cm
Temp. de la Muestra	13.8	°C
Temp. Ambiente	14	°C
Caudal	11.9	L/seg

Tabla No. 2 Muestreo Compuesto Vertimiento Final

Hora	Caudal (L/s)		pH	Conduct. $\mu\text{S/cm}$	Temp. muestra ($^{\circ}\text{C}$)	Temp. ambiente ($^{\circ}\text{C}$)	Sólidos Sedim. (ml/L)
	qi (L/s)	Qp (L/s)					
8:00am	12.2	12.0	3.64	252	13.6	12.5	0
10:00am	11.73		10.77	289	17.6	17.6	15
12:00m	11.8		5.19	195	14	14	0
2:00pm	12.3		5.42	199.1	13.6	13.6	0.3
PROMEDIO			6.25	233.8	14.7	14.4	3.83

Tabla No.3 Muestra Acuosa Compuesta

ANÁLISIS	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA		UNIDADES	METODO ANALISIS	DECRETO 1594 DE 1984 (1)
	SALIDA TUNEL LA PEREZOSA (ENTRADA SNETE)	VERTIMIENTO SNETE TUNEL LA PEREZOSA (SALIDA SNETE)			
SOLIDOS TOTALES	440	192	mg/L	S.M.2540.B	*
SOLIDOS SUSPENDIDOS	156	36	mg/L	S.M.2540.D	Remoción >80%
SOLIDOS DISUELTOS	284	156	mg/L	S.M.2540.C	*
DBO₅	25	21	mg O ₂ /L	S.M. 5210 B	Remoción >80%
DQO	36	31	mg O ₂ /L	S.M. 5220 B	Remoción >80%
GRASAS Y ACEITES	0.85	0.45	mg G&A /L	S.M. 5520 - G&A	Remoción >80%
MERCURIO	NO DETECTADO <0.002	NO DETECTADO <0.002	mg Hg /L	S.M.3500 - Hg ⁺	0.02
CIANUROS	NO DETECTADO <0.05	NO DETECTADO <0.05	mg CN ⁻ /L	S.M.3500 - CN ⁻	1.0
PLOMO	0.21	0.16	mg Pb /L	S.M.3500 - Pb	0.5
COBRE	1.3	1.1	mg Cu /L	S.M.3500 - Cu	3.0

HIERRO	2.3	1.9	mg Fe /L	S.M.3500 - Fe	*
PLATA	0.14	0.09	mg Ag /L	S.M.3500 - Ag	0.5
CAUDAL	12	12.2	L/s	Volumétrico	*
pH	3.56	6.25	Unidades	S.M. 4500- H ⁺	5 - 9
CONDUCTIVIDAD	299	233.8	μS/cm	S.M. 2510 B	*
TEMPERATURA	13.8	14.7	°C	*	<40
SOLIDOS SEDIMENTABLES	--	3.83	ml/L	S.M. 2540 F	*

Tabla No.4 Análisis del Vertimiento del Túnel Exploratorio la Perezosa

	ENTRADA	SALIDA	%REMOCION	DECRETO 1594/84
DBO₅	25 mg O ₂ /L	21 mg O ₂ /L	16 %	Remoción >80%
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	156 mg/L	36 mg/L	77%	Remoción >80%
GRASAS Y ACEITES	0.85 mg G&A /L	0.45 mg G&A /L	47%	Remoción >80%
MERCURIO	ND mg Hg /L	ND mg Hg /L	cumple	0.02 mg Hg /L
CIANUROS	N.D mg CN ⁻ /L	N.D mg CN ⁻ /L	cumple	1.0 mg CN ⁻ /L
PLOMO	0.21 mg Pb /L	0.16 mg Pb /L	cumple	0.5 mg Pb /L
COBRE	1.3 mg Cu /L	1.1 mg Cu /L	cumple	3.0 mg Cu /L
HIERRO	2.3 mg Fe /L	1.9 mg Fe /L	cumple	* mg Fe /L
PLATA	0.14 mg Ag /L	0.09 mg Ag /L	cumple	0.5 mg Ag /L

5.5. MANEJO DEL DAM DE LA MINA EL TIGRE.

Los DAM generados en la mina el Tigre, actualmente no tienen ningún manejo de tipo ambiental. (Foto 12)



Foto No. 13. Tunel de la mina el Tigre

La mina el Tigre se encuentra ubicado en la misma formación geológica en la que se encuentra Greystar, por lo cual los DAM tendrán características similares a los generados en el túnel la Perezosa.

Por lo tanto es muy probable la aplicación de transferencia de tecnología para la mina el Tigre, la cual será de gran utilidad para el manejo y control de los DAM.

Se sugiere y recomienda a los propietarios de la mina el Tigre y a la región minera de California y Vetas que realizan trabajos mineros subterráneos que mediante la aplicación de este sistema, se logra el buen manejo de los DAM reduciendo de esta manera las afectaciones ambientales de las fuentes hídricas donde se descargan los DAM.

6. CONCLUSIONES

1. Los DAM, pueden ser tratados mediante métodos activos utilizando compuestos químicos tales como el carbonato de calcio y coagulantes como el sulfato de aluminio.
2. El principal problema en los DAM, son los bajos pH y la remoción de metales pesados, la cual se logro mediante el método aplicado.
3. El proceso mediante la adición de compuesto químico y piscinas intercomunicadas, para el manejo de los DAM, es aplicable a las demás actividades mineras que generen DAM.
4. Los procesos de caracterización de los DAM, antes y después de pasar por el SNETE fueron auditados por la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga.
5. los vertimientos realizados por el túnel exploratorio la Perezosa cumplen con lo normado en el decreto 1594 de 1984.

7. BIBLIOGRAFIA

Mgo Tobias Rötting, Tratamiento pasivo de aguas ácidas de mina con caliza.

Paul L. YOUNGER, CORRECCIÓN DE AGUAS ÁCIDAS DE MINA APLICACIÓN DE MÉTODOS ACTIVOS Y PASIVOS EN EUROPA, Professor of Hydrogeochemical Engineering, School of Civil engineering and Geosciences, Devonshire Building, University of Newcastle upon Tyne, UK.

G. A. Gelvez, D. A. Laverde, H. Escalante; Grupo de Investigaciones en Minerales, Biohidrometalurgia y Ambiente; Universidad Industrial de Santander, Sede Guatigura; Remoción de metales pesados de drenajes ácidos de mina; Minas de carbón usando bacterias sulfato reductoras.

Luis Enrique Sánchez; Departamento de Engenharia de Minas; Escola Politécnica da Universidad de São Paulo; Drenajes de mina a cielo abierto

Luciana Cadorin, Érico Tabosa, Meise Paiva y Jorge Rubio; Departamento de Engenharia de Minas - Laboratório de Tecnologia Mineral e Ambiental; Universidade Federal do Rio Grande do Sul Av.; Tratamiento de Riles Mineros ácidos por precipitación química y flotación por aire directo

LYLE JR., E. S. 1987. ; Surface mine reclamation manual. Elsevier, New York, 268 p.

RASTOGI, V. 1995. ProMac: BacterialInhibition. Mining Environmental Management 3(2):27-29

ANEXOS

ANEXO 1. CARACTERIAZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DEL EFLUENTE DEL TÚNEL EXPLORATORIO LA PEREZOSA

TÚNEL LA PEREZOSA

MUESTREO PUNTUAL

Punto: Salida túnel la Perezosa

Tipo de agua: Residual Industrial

Fecha: Julio 1 de 2009

Método de aforo: volumétrico

DATOS DE CAMPO		
Análisis	Valor	Unidades
pH	3.56	unidades de pH
Conductividad	299	uS/cm
Temp. de la Muestra	13.8	°C
Temp. Ambiente	14	°C
Caudal	11.9	L/seg

REGISTRO FOTOGRAFICO





VERTIMIENTO SNETE TUNEL LA PEREZOSA

MUESTREO COMPUESTO

Punto: Efluente del SNETE

Tipo de agua: Residual Industrial

Fecha: Julio 1 de 2009

Método de aforo: volumétrico

Hora	Caudal (L/s)		pH	Conduct. $\mu\text{S}/\text{cm}$	Temp. muestra (°C)	Temp. ambiente (°C)	Sólidos Sedim. (ml/L)
	qi (L/s)	Qp (L/s)					
8:00am	12.2	12.0	3.64	252	13.6	12.5	0
10:00am	11.73		10.77	289	17.6	17.6	15
12:00m	11.8		5.19	195	14	14	0
2:00pm	12.3		5.42	199.1	13.6	13.6	0.3
PROMEDIO			6.25	233.8	14.7	14.4	3.83

REGISTRO FOTOGRAFICO





PSL PROANALISIS LTDA
NIT. 800.193.010-3

PROYECTOS, ASESORIAS, SERVICIOS DISEÑOS DE LA
INDUSTRIA PETROLERA Y AMBIENTAL
ANALISIS FISICOQUIMICOS, MICROBIOLOGICOS
Y BIOLOGICOS DE AGUAS SUELOS Y AIRE



ANEXO 2. INFORME DE LABORATORIO

INFORME DE LABORATORIO

Informe No.: 5-GRE-V- 09

Fecha de emisión: Julio 23 de 2009

Solicitante: GREYSTAR RESOURCES

Dirección: Cra. 27 N° 36.14 OF. 801ED. SURAMERICANA Tel: 6347788

Protocolo de muestreo: PGL-015

Muestras tomadas por: PSL PROANALISIS LTDA.

Lugar de muestreo: SNETE – TUNEL LA PEREZOSA

Fecha de muestreo: Julio 01 - 02 de 2009

Tipo de muestras: Muestra Acuosa, Compuesta.

Fecha / Hora de recepción: Julio 4 de 2009/ 2 pm

Fecha de análisis: Julio 4 - 12 de 2009

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE AGUAS

ANÁLISIS	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA		UNIDADES	METODO ANALISIS	DECRETO 1594 DE 1984 (1)
	SALIDA TUNEL LA PEREZOSA (ENTRADA SNETE)	VERTIMIENTO SNETE TUNEL LA PEREZOSA (SALIDA SNETE)			
SOLIDOS TOTALES	440	192	mg/L	S.M.2540.B	*
SOLIDOS SUSPENDIDOS	156	36	mg/L	S.M.2540.D	Remoción >80%
SOLIDOS DISUELTOS	284	156	mg/L	S.M.2540.C	*
DBO ₅	25	21	mg O ₂ /L	S.M. 5210 B	Remoción >80%
DQO	36	31	mg O ₂ /L	S.M. 5220 B	Remoción >80%
GRASAS Y ACEITES	0.65	0.45	mg G&A /L	S.M. 6520 - G&A	Remoción >80%
MERCURIO	NO DETECTADO <0.002	NO DETECTADO <0.002	mg Hg /L	S.M.3500 - Hg ⁺	0.02
CIANUROS	NO DETECTADO <0.05	NO DETECTADO <0.05	mg CN ⁻ /L	S.M.3500 - CN ⁻	1.0
PLOMO	0.21	0.16	mg Pb /L	S.M.3500 - Pb	0.5
COBRE	1.3	1.1	mg Cu /L	S.M.3500 - Cu	3.0
HIERRO	2.3	1.9	mg Fe /L	S.M.3500 - Fe	*
PLATA	0.14	0.09	mg Ag /L	S.M.3500 - Ag	0.5
CAUDAL	12	12.2	L/s	Volumétrico	*
pH	3.56	6.25	Unidades	S.M. 4500-H ⁺	5 - 9
CONDUCTIVIDAD	299	233.8	µS/cm	S.M. 2510 B	*
TEMPERATURA	13.8	14.7	°C	*	<40
SOLIDOS SEDIMENTABLES	--	3.83	ml/L	S.M. 2540 F	*

Continuación informe de resultados No: 5-GRE-V- 09

S.M.: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21ª Edition, 2005, APHA, AWWA, WEF.

J.R : J. Rodier, Análisis de las aguas. Ediciones Omega S.A., Barcelona, 1998.

(1) Decreto de Vertimientos, valores máximos permitidos y Remoción en Carga. Artículo 72 y Artículo 74.

Observaciones:

* La norma no contempla valores

Laboratorio acreditado por el IDEAM mediante resolución N° 044 de Marzo 14 de 2007 bajo la norma ISO 17025. Alcance de la acreditación: Alcalinidad total, cloruros, conductividad, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, dureza total, pH, sólidos totales, sólidos disueltos, sólidos suspendidos.

Laboratorio autorizado por el Instituto Nacional de Salud del Ministerio de la Protección Social para realizar análisis organolépticos, físicoquímico y microbiológicos al agua potable, según resolución N° 01426 de 2008

Laboratorio autorizado por el Instituto Colombiano Agropecuario ICA para análisis físicoquímico de alimentos, según Resolución 00921 de mayo 18 de 2001 y autorizado por la Secretaría de Salud Departamental de Santander para análisis de alimentos y aguas para consumo humano cod 6800109109 de mayo 8 de 2002

Laboratorio inscrito en el Sistema Nacional Ambiental (SINA) del Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Participante en el programa de pruebas interlaboratorios del IDEAM y en el programa interlaboratorios de control de calidad para agua potable PICCAP coordinado por el Instituto Nacional de Salud.

A nivel internacional participante en el programa Andino de ensayos, ejercicios intercomparación. Programa de cooperación y asistencia técnica Unión Europea y Comunidad Andina en materia de calidad de aguas.

*"Este informe de resultados es válido únicamente para las muestras analizadas y relacionadas en él.
Cualquier reproducción parcial requiere de la autorización de PSL PROANALISIS LTDA"*

Revisado y Aprobado por:

**AMLETO LEON TELLEZ
QUÍMICO - MSc M.P 0953
Director del Laboratorio**