

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y
METALURGICA

SECCION POST GRADO



FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA GENERACIÓN DE DRENAJE
ÁCIDO EN LA MINERÍA DEL CARBÓN Y MITIGACIÓN
DEL IMPACTO AMBIENTAL. MINA LAS PEÑITAS -COLOMBIA

PARA OPTAR EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN
MINERÍA Y MEDIO AMBIENTE

PRESENTADO POR:
TOBIAS CHAVEZ CUADROS

LIMA - PERU

2000

CONTENIDO

	pág
INTRODUCCIÓN	
1. ASPECTOS GENERALES	
1.1. Ubicación geográfica	1
1.2. Topografía	3
1.3. Hidrología	3
1.4. Geología del carbón	3
1.5. Métodos de explotación	4
1.6. Impactos ambientales	4
1.7. Gestión ambiental	7
1.7.1. Marco Conceptual	7
1.7.2. Marco Institucional de la Gestión Ambiental para la Minería Colombiana.	8
2. FUNDAMENTOS SOBRE LA GENERACIÓN DEL DRENAJE ÁCIDO DE MINA Y SUS EFECTOS AMBIENTALES	
2.1. Generación del drenaje Acido de Roca	10
2.1.1. Minerales productores de acidez	13
2.1.2. Factores que determinan la velocidad de generación del DAR	16
2.1.3. Etapas en la formación del drenaje ácido	17
2.1.4. Oxidación bacteriana	18
2.2. Control del drenaje ácido de mina	22
2.2.1. Prevención	22
2.2.2. Tratamiento	24
2.3. Proceso de Neutralización	26
2.3.1. Aireación	26
2.3.2. Sedimentación	29
2.3.3. Floculación	35
2.3.4. Tratamiento y disposición de lodos	36

3. CARACTERIZACION DE CARBONES Y ROCAS	
3.1. Muestreo	38
3.2. Pruebas	41
3.3. Tipos de carbones y su contaminación	44
3.4. Características de los estériles	45
3.5. Características de las rocas	46
4. MUESTREO Y ANÁLISIS DEL AGUA	
4.1. Muestreo de agua	47
4.2. Análisis de agua de mina	49
4.3. Tipos de efluentes de mina	52
5. PRUEBAS DE INVESTIGACIÓN	
5.1. Pruebas de Predicción	54
5.1.1. Pruebas Estáticas	54
5.1.2. Pruebas Cinéticas	55
5.1.3. Procesamiento de la información	57
5.2. Selección del método de tratamiento	57
5.2.1. Neutralizantes químicos	57
5.2.2. Sedimentación en cono Imhoff	68
6. EVALUACIÓN ECONÓMICA Y AMBIENTAL	
6.1. Evaluación del impacto ambiental en el suelo	72
6.2. Evaluación del impacto ambiental en el agua	78
6.3. Mitigación del impacto ambiental	82
6.4. Cálculo de costos	83
6.5. Análisis Costo-Beneficio en términos cualitativos	84
6.6. Gestión para la ejecución del proyecto	85
7. RESULTADOS DE LA INVESTIGACION	
7.1. Técnicas de predicción	87
7.2. Modelo de predicción de la calidad del agua de mina	88
7.3. Tratamiento de agua ácida	90
7.4. Análisis e interpretación de resultados	91

7.4.1. Agua río monguí	91
7.4.2. Hidrogeología de la Región.	92
7.4.3. Estáticas Estáticas y Cinéticas	92
7.4.4. Modelos de predicción	94
7.4.5. Calidad del efluente neutralizado	95
7.4.6. Efectos ambientales en agua y suelo	96
7.4.7. Efectos ambientales detectados en la encuesta	97
7.5. Medidas para la mina Las Peñitas	97
7.6. Factores que influyen en la generación de drenaje ácido de mina	98
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	100
ANEXOS	
1. Estudio Bibliográfico	103
2. Fotografías	183
3. Planos	187
BIBLIOGRAFÍA	192

INTRODUCCIÓN

Hoy en día los problemas generados sobre el medio ambiente por la explotación de los recursos naturales, especialmente los yacimientos de minerales, tienen repercusiones a nivel global. La extracción de minerales metálicos que contienen sulfuros y del carbón, han generado agua ácida de mina, que contamina el agua subterránea y superficial; produciendo impactos ambientales negativos sobre la fauna y la flora de los ecosistemas acuáticos y terrestres y, aún sobre la especie humana. Además, genera un impacto socio-económico a los habitantes del entorno.

En el presente trabajo se desarrollaron los fundamentos teóricos del drenaje ácido de mina y del proceso de neutralización; se hizo un muestreo representativo del agua de mina y del río Mongui, de las diferentes unidades litológicas de rocas y de mantos de carbón; se realizaron análisis y pruebas necesarias para plantear el modelo de predicción y selección del método de tratamiento del agua de mina; diseño y cálculo de costos de la planta de neutralización; además, se efectuaron visitas oculares y encuestas para detectar en parte el impacto ambiental generado por el agua ácida. Finalmente, se hace un análisis e interpretación de la información obtenida..

Los Objetivos de la investigación son: Identificación de los factores que influyen en la generación del drenaje ácido en la minería del carbón, formulación de un modelo de predicción para la prevención y control del impacto ambiental generado por el agua ácida.

Para esta región no existen estudios sobre el proceso de generación de agua ácida en la minería del carbón ni la determinación de los efectos ambientales sobre el suelo y red hídrica. Por esta razón, el modelo de predicción planteado y el método de neutralización desarrollado no solamente sirve para solucionar el problema a nivel local, también se puede extrapolar a otras regiones carboníferas del país con miras a la prevención y

mitigación del impacto ambiental generado por el drenaje ácido de mina. Sin embargo, para aplicar el modelo de predicción a nivel regional es necesario aumentar el número de muestras, análisis y pruebas del carbón y tocas de la región.

La solución planteada esta en manos de algún ente del estado. Los propietarios de la mina, no poseen los recursos financieros para la ejecución del proyecto, por ser minería de subsistencia.

CAPITULO 1

ASPECTOS GENERALES

1.1 UBICACIÓN GEOGRAFICA

El área está ubicada en el departamento de Boyacá, sur occidente del municipio de Mongui, vereda de Reginaldo según coordenadas registradas abajo. La vía de acceso la constituye una carretera pavimentada que de Sogamoso conduce a Mongui, a los 18 Km se desprende un carretable de longitud 1.2 Km que comunica a la mina de carbón Las Peñitas, figura 1. El área corresponde a la licencia ambiental No. 14195, emanada de ECOCARBON (hoy MINERCOL).

La zona esta comprendida entre las coordenadas del polígono, así:

PUNTOS	Coordenadas en X	Coordenadas en Y
1	1°126.979,1250	1°135.565,7500
2	1°126.117,2500	1°134.462,5000
3	1°125.723,2500	1°134.770,3750
4	1°126.585,1250	1°135.873,6250

El área comprendida en estas coordenadas es $700.000\text{m}^2 = 70 \text{ ha}$.

La zona pertenece a la cuenca del Río Chicamocha, que está alimentada por los ríos Gameza y Mongui, a los cuales desembocan numerosas quebradas y corrientes estacionarias y permanentes. El área estudiada se encuentra ubicada en la Subcuenca del Río Mongui.

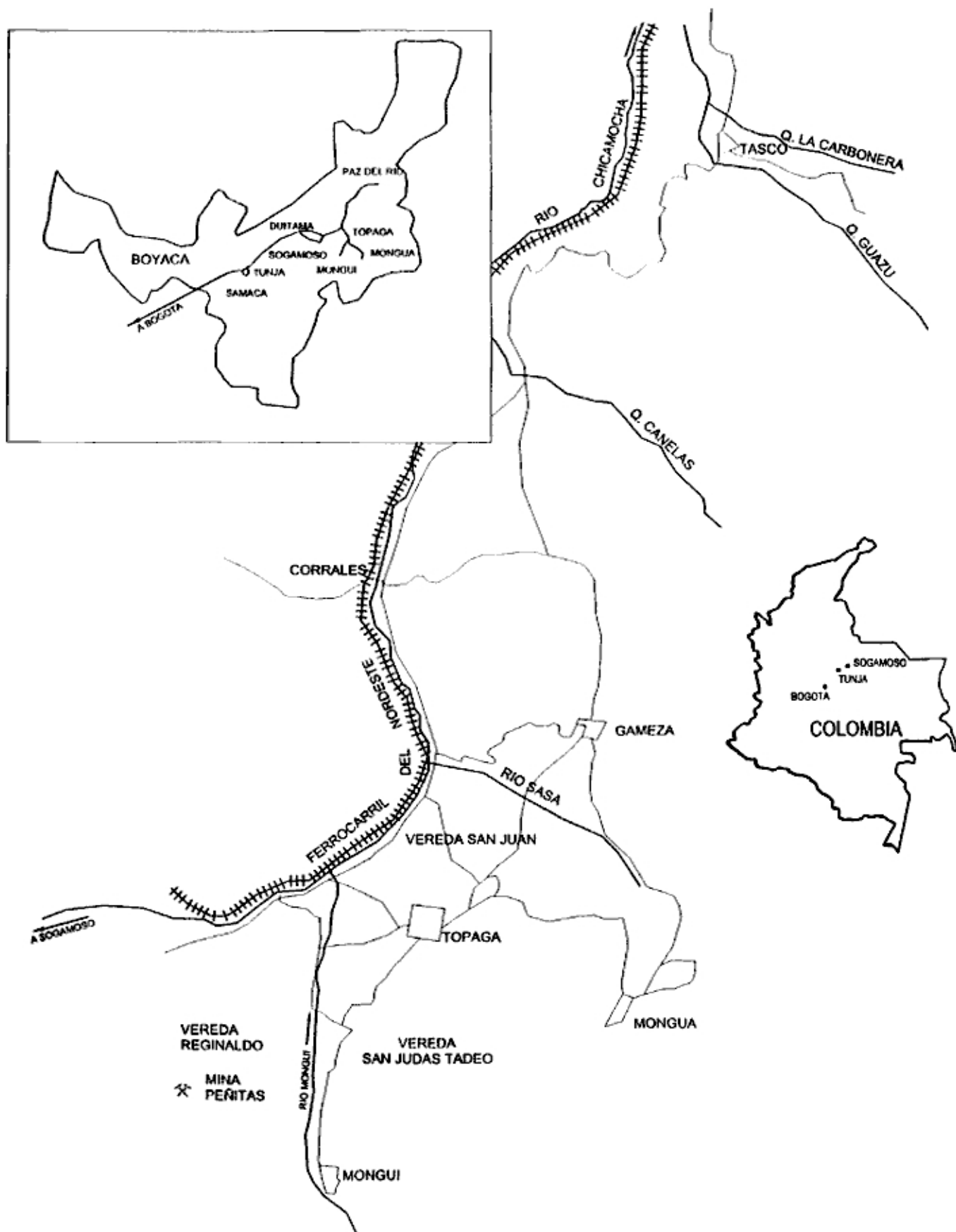


FIGURA 1. Localización geográfica de la mina en estudio

1.2 TOPOGRAFÍA

La zona de estudio (Mina Las Peñitas) esta localizada en una zona montañosa correspondiente a la parte oriental de la cordillera oriental, a la cual corresponden altitudes entre 2700 y 2850 msnm. El relieve del área es el resultado de la actividad tectónica, la erosión, la acción de clima (Verano, invierno) y de la litología presente. Según éstas condiciones se forma un relieve con crestas (abrupto), pequeños valles y ondulaciones suaves. Plano 1

El relieve suave (con pendientes de 20° a 50°) se presenta en rocas constituida por arcillolita, limolita y mantos de carbón de la formación guaduas, donde los agentes erosivos actúan con mayor intensidad, por las condiciones presentes en la región.

El relieve abrupto esta conformado por montañas de fuerte pendiente, donde se observa el predominio de rocas constituidas por arenisca y calizas de la formación Ermitaño, el cual presenta pendientes de 50 a 90°

1.3. HIDROLOGÍA

La principal cuenca hidrográfica en ésta región es el Río Chicamocha, a la cual pertenece la subcuenca del Río Mongui donde desembocan las quebradas Chisisi, Dasigua, Pericas, Penagos, el Yeso, el Morro y Seca. Esta última recibe el efluente del agua de mina y la lleva al río Mongui, en un trayecto aproximado de 300m.

En cuanto a la metereología, el clima de la región corresponde a la zona montañosa tropical subhúmeda con temperatura de 8° a 18°C , una precipitación pluvial de 500 a 1000 mm y vientos fríos con humedad relativa alta y de poca velocidad.

1.4. GEOLOGÍA DEL CARBÓN ^{1,2}

El área donde está ubicada la zona objeto de estudio, se encuentra ubicada dentro de la subzona Sogamoso – Paz de Río – Gérico, la cual se halla dentro de la zona carbonífera de Cundinamarca y Boyacá, principal zona carbonífera de la cordillera oriental.

¹ REYES, Italo. Geología de la región Duitama- Sogamoso- Paz de Rio. Departamento de Boyacá Belencito 1984.

² INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES GEOLÓGICO-MINERAS. Evaluación de reservas de carbón en 7 zonas de Colombia; INGEOMINAS, 1981.

Los yacimientos de carbón se encuentran dentro de una serie de rocas sedimentarias (depósitos cuaternarios; las formaciones: Concentración , Picacho, Socha superior e inferior, Guaduas, ermitaño, Conejo, Une, belencito, Tibasosa y el grupo Churuvita) correspondiente a edades que van desde el cretáceo inferior hasta el terciario.

Para el caso específico, las formaciones que tienen influencia sobre la zona en explotación son el Guaduas, Socha inferior, Ermitaño (edad cretáceo y terciario) y depósitos cuaternarios. Los ambientes de depositación de estas rocas son de tipos marino, continental y de transición. Las fallas que se encuentran son la Florida, Mongui, A y B.

1.5. MÉTODO DE EXPLOTACIÓN

En la selección y diseño del método de explotación se tienen en cuenta las condiciones geológicas, estructurales, tectónicas, económicas, sociales y laborales de la región; además, brindar condiciones de seguridad y un buen aprovechamiento del recurso mineral. En general se tuvieron en cuenta factores técnicos, económicos, racionales y de seguridad con el fin de buscar una explotación eficiente del carbón. Según los criterios mencionados anteriormente se seleccionó el método "tajo corto"

1.6 IMPACTOS AMBIENTALES

Dada la lógica tendencia de preservar el medio ambiente, previniendo, eliminando, o al menos disminuyendo la contaminación de la industria extractiva y en particular de la minería de carbón, debido a las grandes cantidades de estériles que se generan y se manejan (en especial en la minería a cielo abierto), se ocasiona un daño al medio ambiente en cuanto a: alteración del paisaje, ocupación de terrenos (privando a la agricultura y ganadería de numerosas hectáreas cultivables y de pastoreo), la alteración de los estériles por la acción de los agentes atmosféricos provocando su degradación e hidrólisis; desestabilización de las escombreras por la acción de las aguas lluvias, producción de agua ácida, autocombustión de las escombreras, contaminación atmosférica por la emisión de los gases, riesgo de explosión con proyección de materiales incandescentes. Las leyes medioambientales son cada vez más estrictas.

Las estrategias para la prevención o mitigación del medio ambiente son la búsqueda de

materias primas sustitutivas del material energético, aprovechamiento del carbón que contienen los estériles y aprovechamiento de los residuos del carbón en otras industrias.

Con la finalidad de poder aplicar las estrategias anteriores, es necesario realizar investigaciones sobre la composición mineralógica y química, propiedades físicas, mecánicas y térmicas de los residuos de carbón; de esta forma se define el comportamiento y los posibles usos de éstos materiales.

El término residuos de carbón comprende a todas aquellos que se generan en la explotación, preparación y utilización del carbón. En general, están formados por las rocas sedimentarias entre las cuales se encajan las capas de carbón como pizarras, areniscas, al igual que arcillolita, lutita, cuarzo y rocas ferruginosas (generalmente, son rocas con todas las proporciones existentes de cuarzo – arcilla y en todas las gamas de transición). La clasificación de los estériles de carbón se da en la Figura 2.

Los criterios esenciales a tener en cuenta para planificar la investigación de la posibilidad de uso de los estériles de carbón son los siguientes:³

- Reducir la ocupación de terrenos por las escombreras
- Los productos obtenidos sean adecuados para una introducción rápida en el mercado.
- Las decisiones para usar los estériles se toman de acuerdo a las normas de medio ambiente y con los requisitos de la planificación regional.
- Se considere la posibilidad de recuperación de componentes válidos de la materia prima por procesos de reciclado.
- Se considera el aprovechamiento de la energía que contiene los estériles.

En general, la contaminación ambiental generada en la mina las peñitas por la extracción del carbón: se produce en la mina (generación de agua ácida y subsidencia), en los estériles (generación de agua ácida y contaminación visual y estética), en los patios de acopio de carbón (agua ácida) y durante el proceso de consumo (gases, material particulado y cenizas).

³ ITGME. Manual de reutilización de residuos de la industria minera. Siderometalúrgica y Termoeléctrica. Págs. 3 - 44

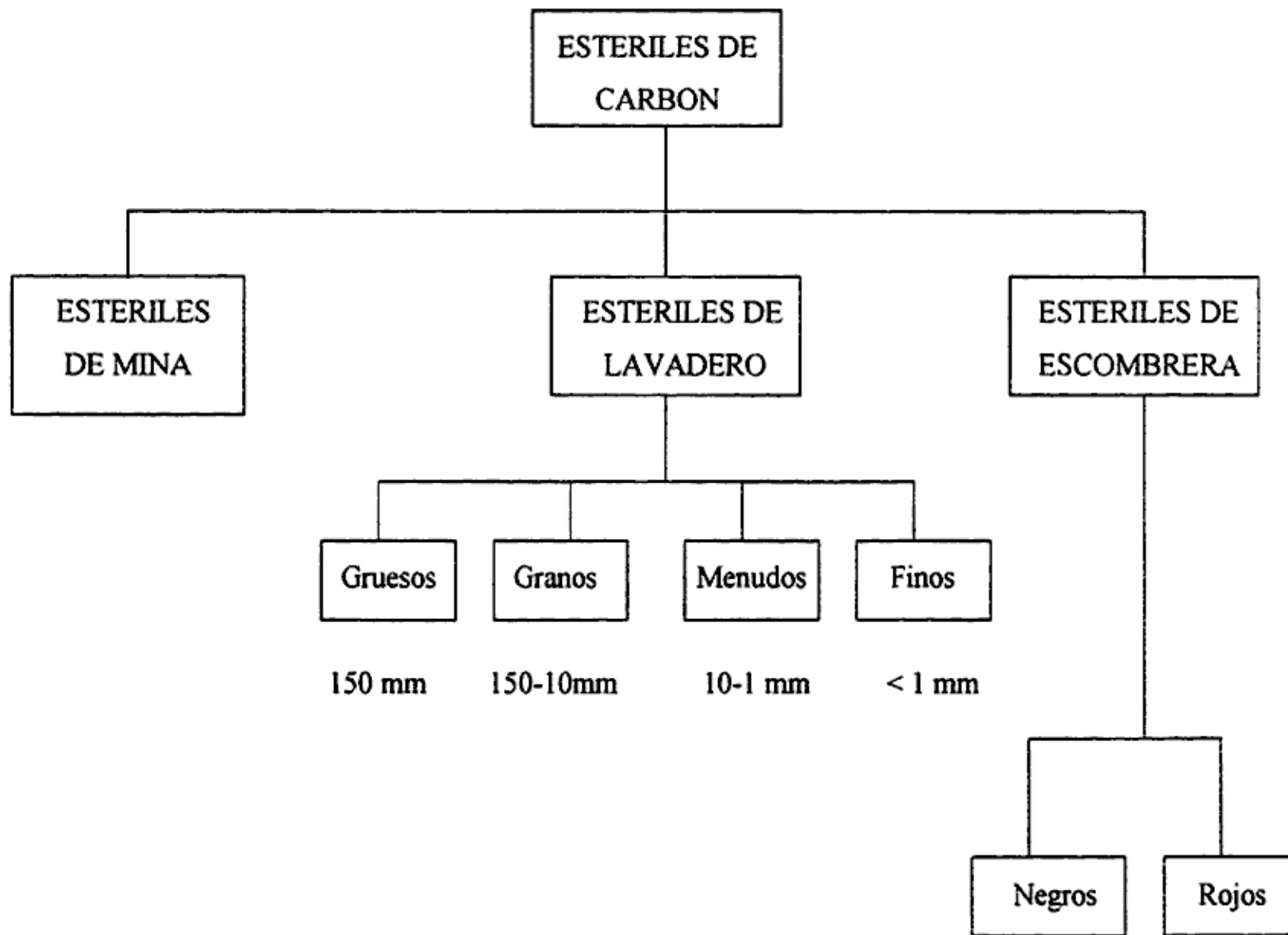


Figura 2. Clasificación de los estériles de carbón.

1.7. GESTIÓN AMBIENTAL DEL SECTOR CARBÓN.

Existe una normatividad derivada de los sectores encargados del medio ambiente y de los recursos naturales, así como una educación ambiental a todos los niveles

1.7.1. Marco Conceptual.

En la cuestión ambiental existe una palabra mágica “Integración” entre los diversos factores y procesos que forman el sistema socio-físico complejo que denominamos medio ambiente y de este con el hombre a través de las actividades humanas.

La racionalidad ambiental no se queda en la simple reacción ante efectos negativos, sino que propicia aquellos proyectos más afines con las características físico-naturales, culturales, sociales, económicas y estéticas del medio en el que se ubica, para un desarrollo armónico y sostenible.

Los problemas ambientales quedan definidos por cuatro elementos ⁴: manifestación, efectos, causas y agentes implicados; ante ellos caben dos opciones; preventiva y curativa.

Los enfoques preventivos pueden clasificarse en : primario que incluyen la formación, sensibilización y la educación de los actores involucrados en el proceso. Los secundarios se refieren a la normatividad en materia de calidad ambiental; conjunto de normas legales y administrativas dirigidas a mantener los parámetros ambientales dentro de límites aceptables.

En los enfoques curativos hay necesidad de tomar acciones tendientes a la remediación del medio ambiente. Esto se logra mediante la investigación básica, la investigación aplicada (tecnologías apropiadas), la experimentación, la difusión de la tecnología de prevención y corrección.

Los instrumentos de gestión ambiental a nivel preventivo son la planificación y la evaluación de impacto ambiental (EIA) y a nivel curativo son la tecnología, la auditoría ambiental y el etiquetado ecológico.

⁴ GOMEZ, Domingo. Evaluación de Impacto Ambiental. 3 ed. Madrid: Editorial Agrícola Española S.A.; 1998. Pags 26 - 29

1.7.2. Marco institucional de la gestión ambiental para la minería colombiana.

La protección al medio ambiente, es la reacción al problema de la contaminación de los ríos y mares, de la progresiva desaparición de la fauna y de la flora, el deterioro de la calidad de aire a causa de la polución y de la capa de ozono, el ruido, la deforestación, el aumento de la erosión, deterioro del paisaje, el uso de productos químicos, los desechos industriales, la lluvia ácida, drenaje ácido de mina, las ojivas nucleares, el empobrecimiento de los bancos genéticos del planeta, da lugar a que el estado ejerza sus funciones en materia ambiental⁵.

Haciendo un análisis de la Constitución, se encuentra que el Estado tiene cuatro funciones básicas relacionadas con la protección del medio ambiente y de los recursos naturales renovables y no renovables, como son:

- Función de Regulación.

Según la Constitución las diferentes entidades que tienen facultades legales para regular las actividades referentes a los recursos naturales y al medio ambiente son: El Congreso tiene la facultad para expedir leyes y a nivel territorial las Asambleas Departamentales y los Consejos Municipales pueden también expedir normas jurídicas en esta materia.

- Función de Ejecución.

Toda la administración pública en sus diferentes órdenes, el Gobierno Nacional, los Gobernadores, los Alcaldes y las Entidades Descentralizadas, tienen en principio la autoridad para ejecutar las normas jurídicas que se dictan por las entidades públicas mencionadas, y a realizar actividades de diversa índole en materia del medio ambiente.

- Función de Planeación Pública.

La Constitución contempla el Sistema Nacional de Planeación conformado por el Consejo Nacional y los Consejos Territoriales. Expresa que el Gobierno Nacional dentro del Plan Nacional de Desarrollo, debe incluir criterios y estrategias sobre la política ambiental.

⁵ LEGIS EDITORES S.A. Régimen Legal del Medio Ambiente. 2000

- Función de Control.

La Constitución le otorga facultades a la Procuraduría General de la Nación y a la Contraloría General de la República para que ejerzan acciones en materia de medio ambiente. Adicionalmente, a través de las acciones populares, todas las personas tienen el derecho a solicitar la protección del medio ambiente, definido como de interés colectivo.

Dentro de la normatividad encargada de la protección al medio ambiente, cada sector cuenta con sus propias normas, sin embargo, en el presente trabajo, se mencionan las relacionadas directamente con el Ministerio del Medio Ambiente, así: Ley 99 de 1993, Decreto 1768 de 1994, Decreto 1753 de 1994 y Decreto 2150 de 1995.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- CONCLUSIONES

- El azufre orgánico genera acidez
- El neutralizar el agua de mina, el consumo de reactivo va disminuyendo a medida que aumenta el pH. A pH bajo necesita mayor cantidad de neutralizante que para pH con valores cercano a 7.0.
- En la región no existen carbonatos (calizas), no hay poder de neutralización. Es una de las razones para que el pH sea bajo.
- La bacteria *Tiobacillus Ferrooxidans* contribuye a la acidificación del agua (pH bajo).
- El color amarillo a rojizo del hidróxido de hierro precipitado en el lecho de la quebrada seca produciendo un impacto paisajístico.
- La caliza no se debe utilizar para neutralizar el agua ácida de mina Las Peñitas. Se debe usar la cal por su bajo costo.
- Obtener un modelo de predicción es muy complejo. El obtenido es una representación puntual del área donde está ubicada la mina "Las Peñitas". Para obtener un modelo representativo de la subcuenca del río Mongui, se debe muestrear los 6 mantos y la roca techo y piso de cada manto, (incluyendo todas las unidades litológicas).
- La arenisca y lutita tienen un comportamiento neutro; la arcillolita tiene pH 5.5, luego es ligeramente ácido.

- Se puede neutralizar el agua de mina con una mezcla de cal y caliza 50% (mezcla en partes iguales en peso), pero la solución resulta más costosa que la neutralización con cal.
- La cal es el neutralizante apropiado, por su bajo costo y fácil adquisición en el mercado (hay que tener ciertas precauciones en el manejo).
- La rata de lixiviación de cationes y aniones es función del tiempo.
- Los tipos de azufre y las cenizas contenidos en los carbones, son importantes desde el punto de vista ambiental.

RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio posterior para determinar si el azufre en forma de sulfato genera acidez.
- Realizar un estudio de la composición, comportamiento y estabilidad de los lodos (estabilidad física y química)
- Realizar pruebas para determinar la rata de oxidación del hierro de acuerdo a la presión y cantidad de aire, para calcular el tiempo de retención.
- Para obtener un modelo de predicción representativo de la zona; es necesario simular en una columna muestras de los 6 mantos de carbón y las rocas cajas.
- Hacer pruebas para el secado de lodos en pozas y luego almacenarlas en sitios que reúnan las condiciones
- Flocular el agua de neutralización para eliminar los sólidos suspendidos.

BIBLIOGRAFÍA

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIEROS CONSTRUCTORES. Manual de tarifas de arrendamiento para equipos de construcción. Bogotá, 1999.

BAEZ R, Justo Ignacio. Beneficio de carbones. Sogamoso: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 1992.

BANCO MUNDIAL. Libro de consulta para evaluación ambiental: Washington: 1994.

BLANK, Leland y TARQUIN, Anthony. Ingeniería Económica 3ed. Bogotá: Panamericana Formas e Impresos S.A. 1997. p 446.

BRITISH COLUMBIA ACID MINE DRAINAGE TASK FORCE. Acid Rock Drainage project. Victoris B.C. Canadá; 1991.

BRITISH COLUMBIA ACID MINE DRAINAGE TASK FORCE. Draft acid Rock Drainage Technical guide, volumen 1 y 2. Bancouver Canadá. 1989

BUREAU OF MINES. Mine Drainaje and surface Mine Reclamation. Mine water and mine Waite. Pttsburgh. Pennsylvania:American Society for Surface Mining and Reclamation, 1998.

CANTER, Larry. Manual de Evaluación de impacto Ambiental. Bogotá: Divinni editorial LTDA, 1999. p 835.

CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y CIENCIAS AMBIENTALES. Manual de disposición de aguas residuales. Lima; 1991.

CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE. Prevención de la contaminación en Minería y Procesamiento de Minerales. Lima: 1996.

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU. Primer Simposio nacional de Medio Ambiente y Seguridad minera. Lima, 1997.

CONESA F., Vicente. Guía metodológica para la Evaluación del impacto Ambiental. 2 ed, Madrid: Ediciones Mundo- Prensa. 1995.

COSS BU. Raúl. Simulación, un enfoque práctico. México; Editorial Limusa S.A. 1999.

DIRECCIÓN GENERAL DE ASUNTOS AMBIENTALES. Guía Ambiental para el manejo de drenaje ácido de minas, 2 ed. Lima: 1997.

DIRECCIÓN GENERAL DE ASUNTOS AMBIENTALES. Guía Ambiental para Vegetación de Areas disturbadas por la Industria Minera -.Metalúrgica. Lima: 1995.

DOMENECH, Xavier. Química Ambiental. Madrid. Miraguano S.A. Ediciones. 1993.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AG ENCY. Design Manual Neutralization of Acid Mine drainage. Cincinnty: National Technical Información Service, 1981

FIELD, Barry y AZQUETA, Diego. Economía y medio Ambiente. Santafé de Bogotá: Mc Graw Hill. Interamericana S.A., 1996.

GARCIA D, Eduardo y AZARANG, Mohammand R.. simulación y análisis de modelos estocásticos. México: Mc Graw Hill Interamericana editors S.A. 1996

GOMEZ OREA, Domingo. Evaluación de Impacto Ambiental. 3 ed. Madrid: Editorial Agrícola Española S.A. 1994.

GOMEZ OREA, Domingo y VILLARINO VALDIVIESO, Teresa. Evaluación de Impacto Ambiental. Madrid: CEPADE, 1999.

HAGLER BAILLY, Inc: Buenas Prácticas de manufacturas en la extracción y el procesamiento de metales no ferrosos. Birginia, Estados Unidos: 1998.

INDUSTRIAL POLLUTION CONTROL ASSOCIATION OF JAPAN. Industrial pollution control, Volumen 1. Tokio; Brainword Inc. 1989.

INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA. Abandono de Minas, Impacto Hidrológico. Madrid: Ideal S.A.; 1986.

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES GEOLÓGICO – MINERAS. Evaluación de reservas en siete zonas de Colombia: INGEOMINAS, 1981.

INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA. Contaminación y Depuración de suelos. Madrid: gráficas Arias Montano S.A., 1995.

INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA. Evaluación y Corrección de impactos Ambientales.

INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA. Manual de restauración de Terrenos y Evaluación de impactos ambientales en Minería.

INSTITUTO TECNOLÓGICO MINERO DE ESPAÑA. Manual de reutilización de residuos en la industria Minera siderúrgica y Termoeléctrica. Madrid. Rivadeneira S.A., 1995.

KEMMER, Frank N. . Manual del Agua. México: Mc Graw Hill, Inc., 1996.

KRAUSKOPF; Konrad. Introduction to Geochemistry. 2 ed: Mc Graw Hill. Inc., 1979.

LEGIS EDITORES S.A. Régimen Legal del Medio Ambiente. Bogotá: 2000.

LEONARD Joseph y HARDINGE Byron, Coal Preparation. 5 ed. Littleton Colorado: Society for Mining, metallurgy and exploration inc., 1991. p 1131.

MARCUS, Jerrald S. Mining Envirometal Hardbook. Londres: imperial College press. 1997.

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS. INSTITUTO DE ESTUDIOS ECONOMICOS MINEROS: Minería y medio ambiente. Lima: Talleres gráficos de Walter Bellido, 1997.

PEREZ, Cesar. Control estadístico de la calidad. México: Alfa Omega Grupo editor S.A., 1999.

RAMÍREZ CASTRO, Pedro Fernando. Carbones. 2ed, Medellín: Centro De investigaciones sobre el carbón, 1984.

REYES, Italo. Geología de la región de Duitama – Sogamoso - Paz de Río. Departamento de Boyacá. Belencito, 1984.

ROSE, Arthur. Geochemistry in Mineral exploration. 2 ed: Londres: Academic Press Inc. LRD, 1979.

SENGUPTA, Mritunjoy. Environmental Impacts of Mining. Florida: Lewis Publishers is an imprint of CRC Press LLC. 1993.

SKOUSEN G. Jeffrey y ZIEMKIEWCZ, Paul. Acid mine Drainaje Control and Treatment. Virginia: West Virginia University and the National Mine Land Reclamation Center. 1995.

SOCIETY FOR MINING; METALLURGY; AND EXPLORATION INC. advances in coal and Mineral Processing Using Flotation. Littleton Colorado: 1989.

SOCIETY FOR MINING; METALLURGY; AND EXPLORATION. Inc. New Remediation Technology in the Changing Environmental Arena: Littleton Colorado. 1995

XXIV Convención de Ingenieros de Minas. Temas ambientales, Arequipa Perú. 1999.

ZIL; Van y KIEL, Huchison. Introduction to Evaluation Design and operation of precious Metal Heap Leaching Projets. Denver Colorado: Society of Mining Engineers, Inc. 1998
Informes técnicos. Mina Las Peñitas.