

JIFI2018
JORNADAS DE INVESTIGACIÓN
ENCUENTRO ACADÉMICO INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERÍA UCV

INTEGRACIÓN DE CRITERIOS DE CIERRE DE MINA A LA PLANIFICACIÓN A LARGO PLAZO: “CANTERAS DEL DISTRITO CAPITAL”, MAMERA, MUNICIPIO LIBERTADOR

Daniel Seijas¹, Alba Castillo^{1*}, Miguel Castillejo¹, Pablo Matos²

¹ Departamento de Minas, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela (FI-UCV), Caracas, Venezuela.

² Canteras del Distrito Capital, Mamera, Municipio Libertador, Caracas, Venezuela.

*albajcastillo@gmail.com.

RESUMEN

Por la necesidad de prácticas mineras en convivencia con la protección ambiental, que viabilicen el desarrollo minero ecológico a nivel nacional, se presentó un proyecto de integración de criterios de Cierre de Mina a la Planificación Minera a Largo Plazo, en la empresa “Canteras del Distrito Capital (CDC)”, sector Mamera, vía a El Junquito, municipio Libertador, Caracas, como Trabajo Especial de Grado en Ingeniería de Minas. Se realizaron estudios de campo en la zona, con fines de evaluación de sus características geotécnicas y de impacto ambiental generado. Fueron realizados ensayos sobre el suelo afectado por las operaciones mineras, permitiendo determinar la intensidad de la afectación. Se realizaron ensayos geomecánicos para definir parámetros de resistencia y estabilidad, logrando caracterizar el macizo rocoso y tipo de inestabilidad en taludes, concluyendo que algunos son mecánicamente inestables. A raíz de los impactos estudiados, se generó un programa de recuperación y remediación ambiental que contempla medidas preventivas, correctivas, o mitigantes. Se reconocieron los escenarios propios del cierre de mina y se plantearon las actividades correspondientes a cada uno, siendo una de las principales la reconfiguración de los taludes, porque algunos presentan alturas superiores a 30 m y pendientes cercanas a 70°. Se recomendó llevar a cabo un análisis químico del agua en la laguna de Mina1, para corroborar si existe o no drenaje ácido producto de la oxidación de metales pesados o de sulfuros, como la pirita, la cual, aunque de manera poco significativa, si se encuentra presente en la zona de estudio. También existe la necesidad de adquisición de herramientas tecnológicas que permitan estudiar más adecuadamente los impactos atmosféricos (pluviómetro, anemómetro y sonómetro). Por otra parte, los impactos hidrosféricos, para determinar la adecuada dimensión de los drenajes. Es preciso integrar al plan de explotación de la Cantera a los programas de recuperación y remediación ambiental, los cuales, deben estar sujetos a revisión y modificación, para adecuarse a los posibles escenarios variantes en el tiempo que dure la explotación mineral. Finalmente, de aplicarse la conformación de un bosque de *Acacia mangium*, sería apropiado desarrollar un programa de concientización social sobre incendios forestales, ya que ésta es una especie vegetal muy susceptible al fuego.

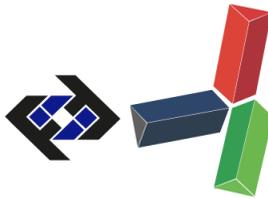
Palabras Clave: cantera de áridos para construcción, criterios de cierre de mina, planificación minera a largo plazo, estabilidad de taludes, medidas de control ambiental.

ABSTRACT

Due to the need of mining practices along with environmental protection, so ecologic mining development can be nationally reached, it was presented an undergraduate studies research project to integrate Closure Mine criteria to Long Term Mining Planning, at “Distrito Capital quarry”, in Mamera sector, Libertador municipality of Caracas, as a Mining Engineering thesis. There were developed field studies, to evaluate geotechnical characteristics of rock masses and generated environmental impacts. Some laboratory tests were performed on soils affected by mine operations, to determine intensity quality and of them. Geomechanically, tests were realized to determine strength and slope stability parameters, concluding that several slopes are mechanically unstable. It was generated an environmental rehabilitation and remediation programs with several preventive, corrective, and mitigate measures. There were visualized adaptive post mine sceneries and a set of recommendations of environmental mining management were

SECRETARÍA DE LAS JORNADAS.

Coordinación de Investigación. Edif. Física Aplicada. Piso 2. Facultad de Ingeniería.
Universidad Central de Venezuela. Ciudad Universitaria de Caracas. 1053
Telf.: +58 212-605 1644| <http://www.ing.ucv.ve>



described. One of these measures consisted in reconfiguring slope dimensions, such as, slope height lower than 30 meters and work slope angle lower than 70° . In the lagoon of Mine 1, it was recommended a water chemistry analysis because acid mine drainage is suspected, as a product of heavy and sulfur metal oxidation (pyrite), even though it is not very much significant in the study zone. There is a need to install technologies to detect and study atmospheric impacts (pluviometer, anemometer and, acoustic sonometer), the same way with impacts on hydrosphere, to determine real parameters to drainage sections calculations for mine water management and sediment control. With respect to reforestation, if an *Acacia mangium* forest is conformed, it would be appropriate to develop a social consciousness program due to susceptibility of this vegetal specie in getting on forest fires. Finally, it is necessary to integrate the environmental programs with mine exploitation planning of the Quarry, subjected to revision and changes, to be adequate possible variable scenarios along the time mining operations stay.

Keywords: long term mining planning, closure mine planning, slope stability studies, mine water management, environmental remediation.

INTRODUCCIÓN

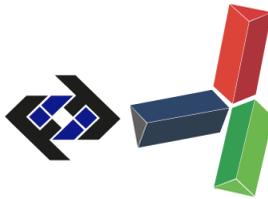
Con la finalidad de evitar terrenos abandonados al agotarse la reserva mineral y prevenir riesgos socioambientales consecuentes, se integraron criterios de planificación correspondientes al Cierre de Mina con los de Minería a Largo Plazo, en Canteras del Distrito Capital, Caracas. El Decreto 1.257: “Normas para actividades susceptibles de degradar el ambiente”, establece la necesidad de cambio de uso del territorio una vez culminado el uso minero, estimado en 50 años más. La Alcaldía de Caracas promueve el desarrollo social y la prosperidad económica productiva, con nueva visión de planificación e institucionalidad, al incluir a los consejos comunales hacia la “Ciudad Comunal Ecosocialista”, atendiendo al artículo 88 de la Ley Orgánica para la Planificación y Gestión de la Ordenación del Territorio (LOPYGOT), por la necesidad de un Plan de Ordenamiento Urbanístico. En el área minera, ubicada en las coordenadas N 1.156.000 y E 717.000 (figura 1a), la Empresa explora y explota roca calcárea con uso como agregado para construcción, utilizando métodos tradicionales de minería a cielo abierto (perforación, voladura, carga, acarreo y reducción de tamaño) y produciendo 200.000 m^3 de piedra picada, como promedio anual. La Cantera tiene 2 frentes de explotación: Mina 2 al este, activa y Mina 1 inactiva (figura 1b). Está ubicada en un área montañosa con pendientes altas y elevadas (figura 1c), alto relieve aunado a fuertes precipitaciones en época lluviosa. Toda la secuencia expuesta mide 280 m de espesor, entre 1.300 y 1.020msnm.



Figura 1. a) Ubicación regional; b) Ubicación dentro de la cantera de Mina 1 y Mina 2; c) Vista de Frente de explotación, Canteras del Distrito Capital.

METODOLOGÍA

El énfasis se hizo en impacto ambiental y en levantamiento de datos de taludes en roca, basado en investigaciones de autores en materia de planificación y ambiente, así como en viabilidad de proyectos técnicos ofrecidos por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM), para



estudios en macizo rocoso y discontinuidades en roca, a partir de múltiples parámetros. En cuanto a lo socioambiental, se aplicaron criterios de Salazar y Montero (2014), en el proceso de Cierre de Mina, que busca proteger la integridad humana y ambiental, a través de la ejecución de labores que permitan garantizar la estabilidad fisicoquímica del entorno, así como el uso beneficioso del territorio, una vez culminadas las operaciones mineras. Se parte de que la estabilidad física está relacionada con medidas de protección contra los procesos erosivos, eólicos e hídricos, así como de equilibrio límite de los taludes, contra derrumbes y deslizamientos en áreas de uso minero. También, la estabilidad química trata de la contención y tratamiento de sustancias contaminantes, con el fin de evitar que éstas sean introducidas al ambiente. La planificación estratégica en minería permite encontrar oportunidades de desarrollo de la operación minera en el largo plazo, donde el uso de nuevas tecnologías puede desempeñar un papel clave (ESAN, 2016). De allí que en la toma de decisiones del planificador minero de largo plazo respeta reglas de la geomecánica, de los procesos fisicoquímicos, de las regulaciones medioambientales, de la diversidad geológica y de la ubicación espacial del recurso minero. Figs. 2 (a-c) muestran aspectos del levantamiento geológico.

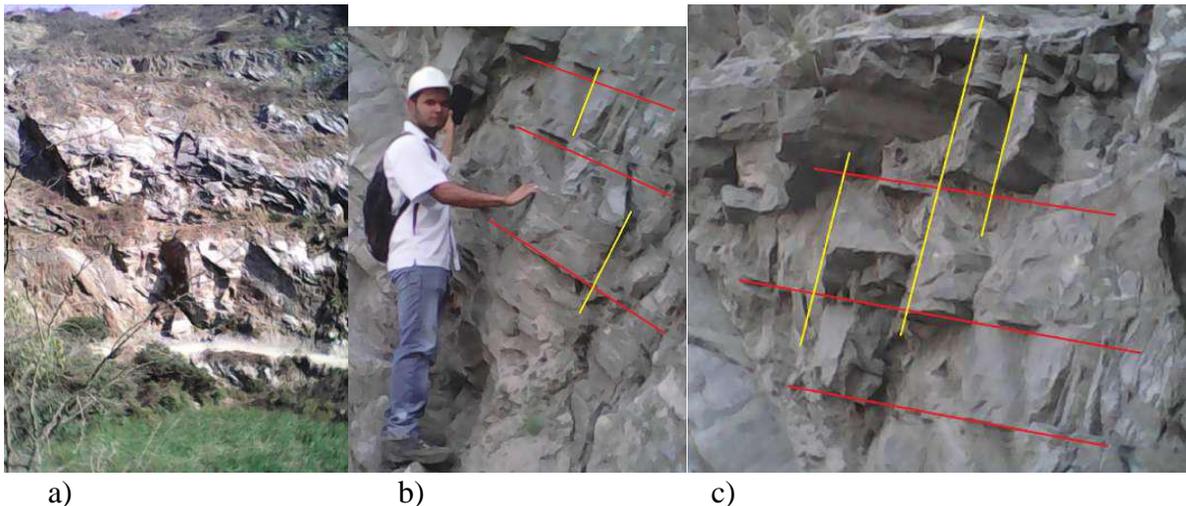


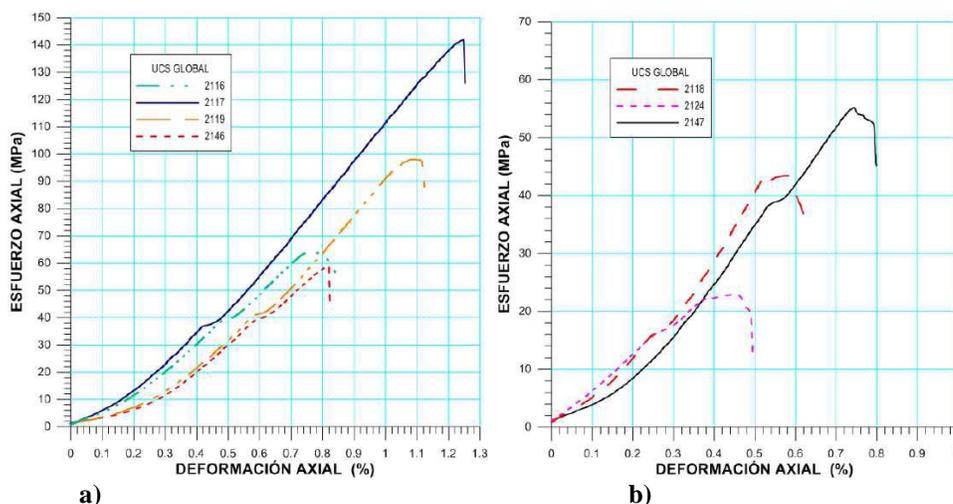
Figura 2. a) frente de mina; b) Levantamiento geológico; c) Familias de estructuras en macizo rocoso.

Primeramente, se realizó una campaña de recolección de información bibliohemerográfica, principalmente las características generales de la Cantera, tales como: zonificación sísmica, características climatológicas, geología regional y local, así como variables del entorno social y comercial. Se revisó material en planificación de cierre de minas, para recuperar y remediar áreas degradadas y taludes de mina, normativas ambientales vigentes para movimientos de tierra y referentes de Estudios de Impacto Ambiental (EIA). Para parámetros geotécnicos, se recolectaron 10 bloques de roca en taludes de ambos frentes de explotación (Mina 1 y Mina 2), resultando 11 especímenes para ensayos de laboratorio. Se realizaron 7 ensayos de compresión simple y 4 de tracción indirecta, empleando las normas ASTM D2938-95 y D2936 – 08, respectivamente. Se ejecutaron los programas: Grapher® (v11) para graficación de múltiples curvas, RocData® (v4.0) para analizar resultados de ensayos geomecánicos, Dips® (v6.0) para proyección estereográfica de planos geológicos (observados en campo), para evaluar la estabilidad cinemática de los taludes. En cuanto a la estabilidad mecánica, se empleó el programa RocPlane® (v2.029) para analizar fallas planas y el programa Swedge® (v4.078) para fallas en cuña. En cuanto a lo ambiental, se recolectaron 16 muestras para estimar el contenido de materia orgánica en el suelo, 10 de ellas

obtenidas en los lugares más afectados por las labores mineras (vías de acceso y frentes de explotación), mientras que las 6 restantes en lugares con mínima afectación antrópica y donde la vegetación estaba presente. Por otra parte, se evaluó el ruido producido por las operaciones mineras en 5 zonas de la Cantera. En oficina se aplicó la evaluación general del impacto ambiental a través de la clasificación cuantitativa de CONESA (1997), metodología adaptada en zonas afectadas por movimientos de tierra y explotaciones mineras. Para estimar cualitativamente el efecto que generan aquellos impactos sobre los cuales no fue posible realizar algún ensayo de campo o laboratorio - impacto visual y contaminación atmosférica-, se aplicaron criterios planteados por Somenson et al. (2014). En cuanto al contenido de Materia Orgánica del Suelo, se aplicó la metodología “Oxidación del suelo con Peróxido de Hidrógeno” propuesta por Jaramillo (2002). En cuanto al ruido, se aplicó la norma COVENIN 1565:1995 (Ruido Ocupacional). En cada punto de emisión se registró el nivel de ruido durante un periodo mínimo de 5 horas, empleando la aplicación para teléfonos móviles “Sonómetro: Sound Meter v 1.6.7” de Smart Tools Co. Por último, debido a que la Cantera no contaba con la Planificación Minera a Largo Plazo y no se tenía una base sólida para apreciar parámetros de evolución topográfica, se incluyó un diseño tentativo de *Pit Final*, corriendo el programa CAD® de Autodesk, en versión estudiantil.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se consideraron mecánicamente estables aquellos taludes que poseían un factor de seguridad superior a 1,5. La secuencia litológica del yacimiento mineral, de tope a base (noroeste a sureste), consiste en: intercalación de esquistos cuarzo-micáceos, muy meteorizados, mármol masivo de grano medio, con cristales de pirita, intercalación de esquistos cuarcítico-muscovítico-grafitoso calcáreos, con lentes delgadas de mármol, anfibolitas (a veces intercaladas paralela y concordantemente a la foliación de la secuencia y a veces claramente intrusionando a la misma), cuarcitas delgadas y una gruesa capa de esquistos muy cuarzosos, calcáreos, micáceos, con pirita, muy compactos. El mármol de grano medio está formado por 85-95% de calcita, con cantidades menores de cuarzo detrítico, muscovita (2,5%), grafito (2,5%) y pirita (0,2%). Los gráficos muestran resultados de compresión uniaxial.



**Figura 3. a) Curvas esfuerzo deformación muestras 2116, 2117, 2119, 2146;
 b) Curvas esfuerzo deformación muestras 2118, 21424, 2147**

Del mármol en el macizo rocoso, las muestras 2117 y la 2119 (figura 3a) presentaron grado muy bajo de meteorización y agrietamiento, con características propias de roca inalterada más profunda. En distintos sectores, se obtuvieron envolventes Mohr-Coulomb, con ángulos de fricción de 40° y 33,22° y cohesión de 9,78 y 7,99 MPa, respectivamente (ver figura 3b). Por su composición mineralógica, eminentemente cuarzosa y/o calcárea, existe propensión a fracturarse o romperse en fragmentos grandes o bloques, muy compactos. Los esquistos micáceos y/o grafitosos de las formaciones Las Brisas y Las Mercedes presentan plegamientos, que envuelven transicionalmente a estas rocas de la Fase Antímamo. Las diaclasas son abundantes debido a intensos efectos tectónicos en la región y conforman sistemas paralelos en diferentes direcciones e inclinaciones. Las más recientes presentan aberturas milimétricas, formando grietas y las más antiguas, están generalmente rellenas de calcita cristalizada. En Mina 2, se llevaba a cabo un proceso de reestructuración física para corregir criterios básicos del diseño de mina, porque se habían generado taludes con dimensiones riesgosas, mediante la conformación de taludes con altura máxima de 12 m y ancho de banco operativo de 6 m.



Figura 4. Vistas de áreas mineras con procesos erosivos en desarrollo.

Las zonas afectadas presentan aumento considerable en erosionabilidad, con distintos agentes erosionantes -corrientes de agua con formación de cárcavas, movimiento de tierras y acopio de material extraído, tránsito de maquinaria y vehículos pesados- como muestra la figura 4. La falta de un sistema de drenaje adecuado influye significativamente sobre este impacto ambiental.

Tabla 1. Codificación y tipología de impactos ambientales en Canteras del Distrito Capital.

Código y Tipo	Impactos Ambientales
IA1, Moderado	Modificación del estado físico de suelos y rocas debido a operaciones mineras específicas.
IA2, Severo	Erosión por cambios topográficos, ruptura de capa vegetal y acción de aguas de escorrentía.
IA3, Severo	Transformación del entorno físico original y atracción escénica.
IA4, Moderado	Modificación de morfología del cauce, contaminación, desbordamiento y migración de quebradas.
IA5, Moderado	Descenso en la capacidad de infiltración debido a la consolidación del suelo.
IA6, Moderado	Dimensionamiento inadecuado de los taludes.
IA7, Severo	Alteración de la calidad del aire por emisión de particulado y gases de combustión.
IA8, Moderado	Incremento en los niveles de ruido.
IA9, Moderado	Insuficiente reforestación, con limitación de diversidad de flora y fauna.
IA10, Moderado	Desplazamiento de la fauna autóctona debido a la destrucción del hábitat natural.
IA11, Moderado	Proliferación de agentes patógenos en aguas estáticas, como el mosquito Anopheles.
IA12, Moderado	Acumulación de desechos domésticos (pasivos mineros).

Como indica la Tabla 1, el dimensionamiento de taludes resultó con la mayor calificación negativa (67 puntos), de tipo severo, de intensidad total, extensa, muy sinérgico, permanente, de efecto directo a corto plazo, acumulativo, recuperable a mediano plazo, irreversible e irregular. En Mina 1, existen taludes con alturas que superan los 40 m y ángulos de inclinación mayores a los 70°.

MINA 1 - Zona 1.	Resultado	Valoración
UCS [Mpa]	93,29	7
RQD [%]	83,98	17
Espaciamiento [m]	0,3	10
Long. Discontinuidad [m]	4,5	2
Apertura	Cerrada	4
Rugosidad	Muy rugosa	6
Relleno	Ninguno	6
Alteración	Ligera	5
Flujo de Agua	Seco	15
Total		77
Clase		II
Descripción		Roca Buena
Ángulo de fricción		35° - 45°

Clasificación RMR para MINA 2 - Zona 1.

Zona Mina 2 – Nivel 7	Resultado	Valoración
UCS [Mpa]	41,85	4
RQD [%]	74,08	13
Espaciamiento [m]	0,35	10
Long. Discontinuidad [m]	12	1
Apertura	Moderada	1
Rugosidad	Rugosa	5
Relleno	Relleno duro <5 mm	4
Alteración	Moderada	3
Flujo de Agua	Seco	15
Total		56
Clase		III
Descripción		Roca Justa
Ángulo de fricción		25° - 35°

Clasificación SMR para MINA 2 - Zona 1.

Factores de corrección	Plana 1
	Diaclasas 1
F1 (65 - 80) = 15)	0.7
F2 (68 > 45)	1
F3 (68 - 75 = -7)	-50
F4 (Voladura o Mecánico)	0
SMR	21

Figura 5. Parámetros de clasificación de macizo rocoso en Mina y Mina 2, Canteras del Distrito Capital.

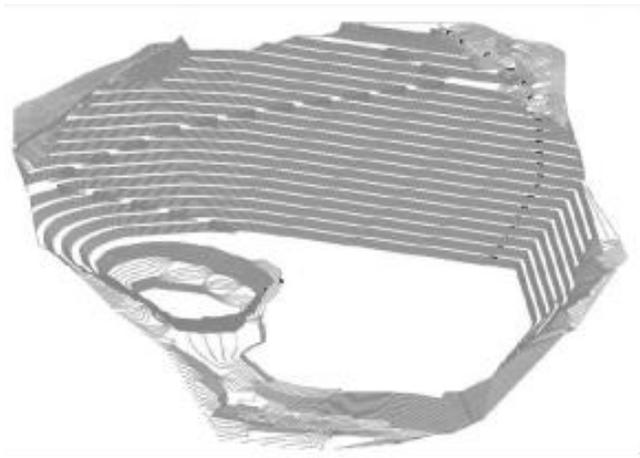
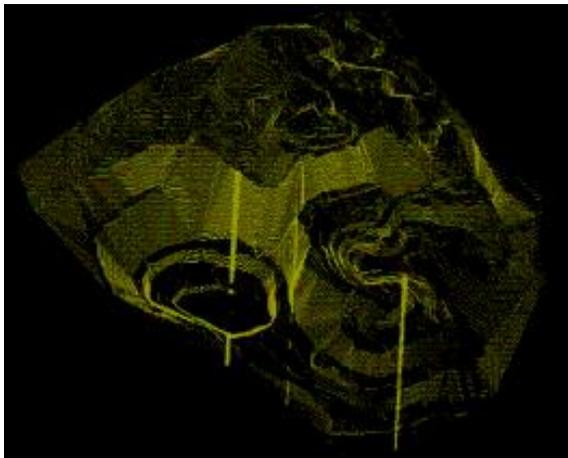
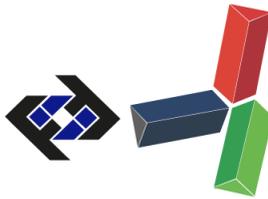


Figura 6. Imágenes de topografía actual y diseño de cierre de mina, respectivamente, en CDC.

En las zonas 1 y 2, en Mina 2, bajo las condiciones presentes se obtuvieron factores de seguridad inferiores al valor mínimo necesario de 1,5 (0,23 y 0,31, respectivamente), por lo cual se concluye que hay taludes mecánicamente inestables a falla plana, por familia de discontinuidades. La clasificación de macizos rocosos mostrados en tablas reporta parámetros en Minas 1 y 2. En Mina 1 también se alcanzó el nivel freático, generando una laguna artificial que surte de agua por sistema



de bombeo, a distintas labores en la Cantera. El suelo sometido presenta reducciones importantes en el contenido de materia orgánica y ocasiona aguas de escorrentía que desarrollan marcada energía cinética que arrastra volúmenes significativos de partículas gruesas (>20 mm). En la Figura 5 se presentan parámetros de clasificación de macizo rocoso en Mina y Mina 2, en CDC, con los cuales fue posible diseñar propuestas como medidas de estabilidad de taludes. Finalmente, La Figura 6 muestra las proyecciones 3D de la topografía actual de Mina 1 y Mina 2, así como la propuesta de cierre de mina con el talud final diseñado en esta investigación.

CONCLUSIONES

En sectores, hay roca “mala” e “inestable”, que requiere corrección del diseño geométrico y modificación de taludes hasta 12 m de altura y pendiente de 60°. Los patrones de escorrentía requieren rediseño adecuado para conducir aguas y sedimentos transportados, que llegan hasta la carretera Mamera–El Junquito y mejoramiento de drenajes en la Cantera, que disipen la energía, prevengan la generación de sólidos y promuevan la retención en decantadores y sedimentadores, con mantenimiento periódico, cada 2 meses y más frecuente durante las lluvias. Incluir especies herbáceas de rápido crecimiento, en etapas tempranas de la revegetación, autóctonas: *Acroceras zizanioides*, *Aegopogon cenchroides* y *Agrostis alba*. Plantar un bosque de *Acacia mangium*, como lugar de encuentro entre naturaleza y comunidad que brinde a los habitantes un espacio para actividades recreativas: ciclismo de montaña, excursionismo, escalada, senderismo, etc.

REFERENCIAS

- Blanco, Y. (2009): *Propuesta de Plan de Cierre progresivo de Mina en el Cuadrilátero Ferrífero San Isidro de C.V.G. Ferrominera Orinoco C.A. Ciudad Piar, estado Bolívar*. Trabajo Especial de Grado. Escuela de Geología Minas y Geofísica, FI-UCV. Caracas.
- Castillo, A. y Piña, A. (2003). Curso de Control de Sedimentos en Minería a Cielo Abierto. Universidad Central de Venezuela. Instituto Tecnológico de la Facultad de Ingeniería. Caracas.
- Castillejo, M. (1993). *Análisis Comparativo de los métodos de estabilidad de taludes y su control. Parte 1*. Trabajo de Ascenso, Escuela de Geología Minas y Geofísica, FI-UCV, Caracas.
- Cazal, S. (2013): *Propuesta de cierre de Cantera las Marías, Estado Miranda, como aporte al Ministerio del Poder Popular de Petróleo y Minería en las políticas mineras*. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. Escuela de Geología Minas y Geofísica. Caracas.
- Conesa, V. (1993). *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental*. MUNDIPRENSA. Madrid.
- ESAN (2016): *El planeamiento estratégico minero*. Disponible en: www.esan.edu.pe/. [Consulta 19-05- 2017].
- Fundacaracas. (2016): *Alí Primera planifica la Ciudad Comunal Ecosocialista*. <http://www.fundacaracas.gob.ve/>. [Consulta 27-05-2016].
- Ley Orgánica para la Planificación y Gestión de la Ordenación del Territorio. Gaceta Oficial N°5.820 (Extraordinario). Septiembre 1, 2006.
- Salazar, Y. y Montero, J. (2014): *La planificación del cierre de minas como parte de la sustentabilidad en la minería*. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.eumed.net/>. [Consultado el 01 de junio de 2015].
- Somenson, M. y otros (2014): *Planificación para la Restauración Ambiental de Canteras Viales en Desuso. Guía Metodológica*. [Documento en línea]. Disponible en: www.vialidad.gov.ar/. [Consultado el 19 de junio de 2016].