

MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR

INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA

“DR. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ”

FACULTAD DE GEOLOGÍA –MINERÍA

DEPARTAMENTO DE MINERÍA

Trabajo de Diploma presentada en opción al título de Ingeniero en Minas

**TÍTULO: REHABILITACIÓN DE LAS ÁREAS DAÑADAS POR
LA MINERÍA EN EL YACIMIENTO CAMARIOCA ESTE**

Autora: Lukénia Luemba de Lucas

**Moa – 2017
Año 59 de la Revolución**

**MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA
“DR. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ”
FACULTAD DE GEOLOGÍA –MINERÍA
DEPARTAMENTO DE MINERÍA**

Trabajo de Diploma presentada en opción al título de Ingeniero en Minas

**TÍTULO: REHABILITACIÓN DE LAS ÁREAS DAÑADAS POR
LA MINERÍA EN EL YACIMIENTO CAMARIOCA ESTE**

Autora: Lukénia Luemba de Lucas

Tutores: Ms. C. Ana Caridad Che Viera

Ing. Antonio Cutiño Jiménez

Dra. C. Mayda Ulloa Carcassés

**Moa – 2017
Año 59 de la Revolución**

**MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA
“DR. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ”
FACULTAD DE GEOLOGÍA –MINERÍA
DEPARTAMENTO DE MINERÍA**

Trabajo de Diploma presentada en opción al título de Ingeniero en Minas

**TÍTULO: REHABILITACIÓN DE LAS ÁREAS DAÑADAS POR
LA MINERÍA EN EL YACIMIENTO CAMARIOCA ESTE**

Autora: Lukénia Luemba de Lucas

Tutores: Ms. C. Ana Caridad Che Viera

Dra. C. Mayda Ulloa Carcassés

**Moa – 2017
Año 59 de la Revolución**

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo Lukénia Luemba de Lucas, autora del presente trabajo y los tutor Ms. C. Ana Caridad Che Viera, Ing. Antonio Cutiño Jiménez y Dra. C. Mayda Ulloa Carcassés, certificamos la propiedad intelectual de este trabajo, a favor del ISMMM y a la Facultad de Geología - Minería del mismo Instituto, los cuales podrán hacer uso del mismo con la finalidad que estimen conveniente.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de diploma a Dios, por ser mi fortaleza y amigo presente en todos los momentos.

A mis padres Eduardo Gaspar Bastos de Lucas, Madalena de Fátima Luemba, y a mi tía Maria Elvira Luemba, por el apoyo y amor incondicional.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la fortaleza y la capacidad en los momentos más difíciles de mi vida, por guiar mis pasos y enseñarme siempre el camino correcto, también por darme especialmente una nueva familia en cristo.

A mi familia, por el apoyo y en especial, a mi madre Madalena de Fátima Luemba, por ser la mujer que me enseñó el ABC de la vida y a luchar por mis sueños sin olvidar el amor y respeto por los demás ante cualquier dificultad y principalmente a confiar incondicionalmente en Dios, te amo Madre.

A mi padre Eduardo Gaspar Bastos de Lucas, por su amor y consejos.

A mi novio, William da Costa Francisco, por todo el apoyo, el amor y por nunca haber desistido ante mis terquedades.

A mis tías por el apoyo y el amor que me brindaran en todo este tiempo y a mis primos por el cariño, respeto, apoyo y el amor que tienen por mí.

A mis tutores: Ms. C. Ana Caridad Che Viera, Ing. Antonio Cutiño Jiménez y Dra. C. Mayda Ulloa Carcassés, por ayudarme a conseguir el resultado final de mi carrera, así como al Ing. Julio Montero Matos.

La gratitud especial a mis chicas Almira Gamboa, Felipa Vericimo, Custodia Loveo, Eliane Cortez, Kahundu Masule, Loide Caliata, Clotilde Gonçalves, Joice Tamara, Aslén, Marisa, Patricia Felizarda y Francisca Fictor y a mis amigos Dumilde, Wakalama, Piter, Nicolau, António, Augusto, Carlos, Jovete, Edson, Carlitin y Leornado.

A mis compañeros angolanos, namibio y los cubanos que de una forma u otra me brindaron su ayuda y colaboración, al departamento de Minería y a todos los profesores que me condujeron para que pudiera llegar hasta el final.

A mis hermanos en cristo, de la iglesia ortodoxa y Asamblea, en especial al pastor Neuris Sedeño y su esposa, a mamis Belkis y Yamile.

A mi profesor de español Lic. Yiselis Estupiñan Zayas, por ser más que una amiga y por haberme recibido en su casa como una hija y enseñarme a dar los primeros pasos en Cuba, y en especial a mi profesor Dr. C Yordany Esteban Batista.

A mí misma, por el esfuerzo y dedicación para terminar la carrera de Ingeniería de Minas.

PENSAMIENTO

La mente que se abrió a una nueva idea jamás volverá a su tamaño original.

Anónimo

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo general la elaboración del proyecto de rehabilitación para las zonas dañadas por la minería en el yacimiento Camarioca Este. En el trabajo se realiza un estudio del proyecto de explotación, con el objetivo de integrar la recuperación de los terrenos con los trabajos de explotación, en el cual se recoge de manera detallada toda la información geológica necesaria, estimación de reserva, diseño del sistema de explotación, equipamiento para los procesos tecnológicos, diseño de las escombreras y otros. En el último capítulo, se determinó el uso futuro para la recuperación de las áreas degradadas, los trabajos de rehabilitación minero-técnica progresiva y biológica del terreno y, las acciones de seguimiento y monitoreo del proyecto de rehabilitación. Además se determinaron los principales impactos que producen el proyecto de rehabilitación y la evaluación socio-económica del mismo.

Palabras clave: proyecto de rehabilitación minera, rehabilitación minero-técnica, rehabilitación biológica, yacimientos lateríticos.

ABSTRACT

The present essay had as general aim elaborate the project of rehabilitation for the zones damaged by the mining industry in the deposit Camarioca Este. In the work there is realized a study of the project of exploitation, with the aim to integrate the recovery of the areas with the works of exploitation, in which there is gathered in a detailed way all the geological necessary information, estimation of reservation, design of the system of exploitation, equipment for the technological processes, design of the dumps and others. In the last chapter, miner - technology decided the future use for the recovery of the degraded areas, the works of progressive and biological rehabilitation of the area and, the actions of follow-up and monitoring of the project of rehabilitation. There decided, in addition, the main impacts that are produced by the project of rehabilitation and the socio-economic evaluation of the same one.

Key words: project of mining rehabilitation, rehabilitation miner - technology, biological rehabilitation, deposits lateríticos.

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| INTRODUCCIÓN | 13 |
| CAPÍTULO I. ANTECEDENTES Y TENDENCIAS DE LA PROBLEMÁTICA | 15 |
| 1.1 Marco legal de la investigación..... | 15 |
| 1.2 Trabajos precedentes en la Unidad Básica (UB) Minera | 19 |
| 1.3 Resultados obtenidos en la reforestación realizada en la UB Minera. | 20 |
| 1.4 Actividades del proyecto en su fase ejecutiva | 21 |
| 1.5 Recomendaciones a tener en cuenta en la explotación y rehabilitación de actividades mineras..... | 22 |
| CAPÍTULO II.ETAPAS METODOLÓGICAS DE LA INVESTIGACIÓN | 23 |
| 2.1 Métodos de investigación científica | 23 |
| 2.2 Etapas metodológicas | 23 |
| 2.3 Efectos negativos de la rehabilitación minera al medio ambiente | 34 |
| 2.4 Ventajas de la rehabilitación minera..... | 35 |
| 2.5 Consideraciones ambientales del cierre de la mina | 35 |
| CAPÍTULO III.REHABILITACIÓN DE LAS ÁREAS DAÑADAS POR LA MINERÍA EN EL YACIMIENTO CAMARIOCA ESTE | 37 |
| 3.1 Descripción del proyecto de explotación del yacimiento Camarioca Este | 37 |
| 3.2 Estado actual del yacimiento Camarioca Este..... | 40 |
| 3.3 Determinación del uso futuro..... | 49 |
| 3.4 Rehabilitación minero-técnica progresiva del yacimiento | 49 |
| 3.5 Preparación técnica del área | 52 |
| 3.6 Rehabilitación biológica del terreno | 53 |
| 3.6.1 Marco de siembra y mejora edáfica del suelo | 53 |
| 3.7 Seguimiento y monitoreo | 54 |
| 3.8 Principales impactos ambientales producidos por el proyecto de rehabilitación | 56 |
| 3.9 Evaluación socio-económica del proyecto de rehabilitación | 58 |
| CONCLUSIONES | 61 |
| RECOMENDACIONES | 62 |

| | |
|-------------------|----|
| BIBLIOGRAFÍA..... | 63 |
| ANEXOS | 68 |

INTRODUCCIÓN

La rehabilitación es una de las prioridades más importantes de las labores mineras a cielo abierto en todo el mundo y ha sido una de las preocupaciones primordiales de las grandes compañías mineras. Las áreas minadas se han convertido en un reto global, debido a que la minería a cielo abierto provoca al medio ambiente pérdidas irreparables como: la extinción de especies, la pérdida del hábitat natural, la fragmentación del ecosistema, la contaminación de cuencas hidrográficas y en general la pérdida de la diversidad biológica; dejando la superficie expuesta a la acción erosiva de la lluvia y el viento.

Los efectos de la actividad productiva no solo se manifiestan dentro del área minada sino que también afecta el entorno de las zonas cercanas, por tanto se debe definir y velar por el cumplimiento de leyes y normas ambientales, tanto a nivel comunitario y empresarial, como individual, de forma tal que garanticen una gestión positiva y efectiva en todos los aspectos ambientales.

Conesa y Vicente (2000) explican que antes de realizar la rehabilitación en un suelo minado, se debe definir el uso futuro que se va a dar a este terreno. Actualmente en el mundo los terrenos rehabilitados son utilizados para diversos fines como es el uso agrícola, forestal, hábitat natural, actividades recreativas, urbanismo, industrial y vertedero de residuos.

En Cuba, la problemática de la rehabilitación es una de las principales obligaciones exigidas por la legislación ambiental, la cual presta una atención especial a las afectaciones en los yacimientos lateríticos de Moa, debido a que la implementación de diferentes usos, tiene sus restricciones por las características propias del material que se extrae y se deposita como escombro.

Urbino y Díaz (2011), considera la tecnología de la rehabilitación como un proceso que tiene como fin principal mitigar los impactos negativos de la actividad minera y proponen para la región de Moa, que tiene un alto valor de endemismo, una rehabilitación ecológica para las áreas degradadas por la minería del níquel.

En este territorio, la empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” es una de las encargadas de la explotación de los yacimientos lateríticos provocando fuertes impactos al paisaje, la flora, las aguas superficiales y subterráneas, dañando al ecosistema en general. El yacimiento Camarioca Este, concesionado a esta fábrica, se encuentra en su primera etapa de explotación desde febrero de 2016, causando fuertes impactos al medio ambiente. Esta situación demanda la elaboración un plan de rehabilitación minera que analice los posibles usos a poner en práctica para recuperar los suelos dañados de dicho yacimiento, teniendo en cuenta las nuevas propuestas tecnológicas y reajuste el entorno a las necesidades de la zona, por lo que el **problema** de la presente investigación es la necesidad de rehabilitar las áreas dañadas por la actividad minera en el yacimiento Camarioca Este.

El **objeto de estudio** radica en la rehabilitación de las áreas dañadas por las actividades mineras y el **campo de acción**, el Yacimiento Camarioca Este.

El **Objetivo general** es “elaborar el proyecto de rehabilitación para recuperar las áreas dañadas por la explotación minera del yacimiento Camarioca Este.

De este objetivo general se derivan los siguientes **objetivos específicos**:

1. Describir el proyecto de explotación del yacimiento Camarioca Este.
2. Caracterizar el medio físico del yacimiento.
3. Seleccionar el uso futuro de las zonas a recuperar.
4. Identificar los impactos ambientales del proyecto de rehabilitación.
5. Determinar los efectos económicos y sociales del proyecto de rehabilitación.

La **idea a defender** en este trabajo es que la correcta elaboración del proyecto de rehabilitación permitirá recuperar las áreas dañadas por la explotación minera del yacimiento Camarioca Este.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES Y TENDENCIAS DE LA PROBLEMÁTICA

1.1 Marco legal de la investigación

Las principales normativas relacionadas con la rehabilitación minera en Cuba son:

- Ley No 76 de Minas
- Ley No 81 de Medio Ambiente
- Ley No 85 Forestal

Ley No 76 de Minas

La Ley 76 de Minas, fue decretada en enero de 1995, establece en su artículo 40 y 42 que todos los concesionarios están obligados a preservar adecuadamente el medio ambiente y las condiciones ecológicas del área, elaborando estudios de impactos y planes para prevenir, mitigar, controlar, rehabilitar y compensar el impacto derivado de la actividad minera en los términos que establece la legislación. En el artículo 57, señala que los concesionarios pueden perder esta condición si no cumplen con el programa de ejecución de las medidas de mitigación y en el artículo 64 y 65, señala la obligación de rehabilitar con el cierre de la mina.

El artículo 85, indica que el concesionario estará obligado a crear una reserva financiera en una cuantía suficiente para cubrir los gastos que se deriven de:

- Las labores de rehabilitación del área de la concesión y de las áreas devueltas.
- El Plan de Control de los indicadores ambientales.
- Los trabajos de mitigación de los impactos directos e indirectos ocasionados por la actividad minera.

En el artículo 88, señala que a cuantía de la reserva a que se refiere el artículo anterior será propuesta por el concesionario al Ministerio de Finanzas y Precios dentro de los ciento ochenta días siguientes al

otorgamiento de la concesión, y no será nunca menor del cinco por ciento del total de la inversión de que se trate.

El artículo 122, explica que las personas naturales o jurídica que desarrollan actividades de aprovechamiento de recursos minerales, estarán en la obligación de rehabilitar las áreas degradadas por su actividad, así como las áreas y ecosistemas vinculados a éstas que puedan resultar dañadas, de conformidad con lo dispuesto en la ley de minas y en la presente ley, o en su defecto, a realizar otras actividades destinadas a la protección del medio ambiente, en los términos y condiciones que establezcan el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, el Ministerio de la Agricultura y el Ministerio de la Industria Básica.

La Ley No. 81 del Medio Ambiente fue promulgada el 11 de julio de 1997; según esta ley, corresponde al Ministerio de Energía y Minas reglamentar y controlar la actividad minera y las áreas mineras reservadas, sin perjuicio de la competencia que la legislación le confiere a otros órganos y organismos estatales.

La Ley 81 plantea que las personas naturales o jurídicas que desarrollan actividades de aprovechamiento de recursos minerales estarán en la obligación de rehabilitar las áreas degradadas por su actividad, así como las áreas y ecosistemas vinculados a éstas que puedan resultar dañadas de conformidad con lo dispuesto en la ley de minas y en la presente ley de medio ambiente, o en su defecto, a realizar otras actividades destinadas a la protección del medio ambiente en los términos y condiciones que establezcan el Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), el Ministerio de la Agricultura y el de Energía y Minas.

La Ley 81 del Medio Ambiente exige:

- El derecho de los ciudadanos a la información ambiental.
- El derecho de la población a la participación en la toma de decisiones ambientales.

- El otorgamiento de facultades a los órganos locales del Poder Popular para adaptar las normas generales a las características locales de cada municipio por lo que se descentraliza la toma de decisiones.
- La obligatoriedad de Licencias Ambientales para determinadas obras a ejecutar que puedan ocasionar daños al Medio Ambiente.
- La regulación en gran parte de su articulado de lo relacionado con la Educación Ambiental.

Además de esto, en la Ley 81 del Medio Ambiente en el Artículo 27 y en el artículo seis de la Resolución 77/99 de CITMA, se recogen los elementos sustantivos del proceso de EIA.

La Ley 81, dispone de forma muy acertada que la obligación que asume el concesionario de rehabilitar el área afectada por la actividad minera se extiende además, a los ecosistemas vinculados con las áreas en cuestión y que puede realizarse cualquier otra actividad relacionada con la protección del medio ambiente según dispongan los organismos correspondientes como forma de compensación del daño causado.

Según las guías para la realización de las solicitudes de licencias ambientales y los Estudios de Impacto Ambiental del Centro de Inspección y Control Ambiental (CICA), en el acápite 5.3: Guías Específicas para los estudios de Impacto Ambiental en la Industria Minera, para realizar estudios de impacto ambiental correspondiente a proyectos de obras o actividades de minería se utilizarán la Guía General y los indicadores definidos en esta guía específica. Dicho estudio debe abarcar los impactos causados por las acciones propias del proyecto y su relación con las infraestructuras ubicadas dentro del área de impacto.

La Ley No 85 Forestal, fue decretada en agosto de 1998, tiene entre sus objetivos establecer los principios y regulaciones generales para la protección, incremento y desarrollo sostenible del patrimonio forestal de la nación.

En el artículo 19, establece como bosques protectores de las aguas y los suelos situados en las cabeceras de las cuencas hidrográficas a las fajas forestales de las zonas de protección de embalses, ríos y arroyos, así como todos los situados en pendientes mayores de 45% o en zonas susceptibles al desarrollo de la erosión hídrica y eólica.

El ancho de las fajas forestales de las zonas de protección de embalses y cauces fluviales será establecido conjuntamente por el ministerio de la agricultura y las entidades que ocasionen la eliminación permanente de la vegetación en las zonas declaradas como bosques protectores.

La concepción del decreto Ley para la protección del patrimonio forestal y la fauna silvestre, fue aprobado el tres de marzo de 1993 por el Consejo de Estado de la República de Cuba, plantea que los bosques y la fauna silvestre constituyen recursos naturales renovables, patrimonio de todo el pueblo, susceptible de ser aprovechados racionalmente sin detrimento de su integridad ni de sus cualidades reguladoras y protectoras del medio ambiente.

En este sentido, establece las regulaciones generales para la protección, la conservación, el desarrollo sostenible, el incremento y el uso racional de los bosques y la fauna silvestre, así como, de las especies forestales, y controla sus recursos faunísticos y valores florísticos, mediante sus regulaciones.

Para el caso particular de las explotaciones mineras, el artículo 16 de su capítulo III, de la primera sección, establece que cualquier inversión que pueda perjudicar un patrimonio forestal o alterar el hábitat o las condiciones de vida y reproducción de las especies de la fauna silvestre, antes de su ejecución, se deberá consultar con el Ministerio de la agricultura, el cual explicará, cuando proceda, la correspondiente autorización. Además, que semejante actividad perturbadora de las condiciones medioambientales en el área forestal requiera de la correspondiente Licencia Tecnológica y Medio Ambiente.

En la cuarta sección, del artículo 25, se exige como medida correctiva y de restauración, la reforestación de las áreas del patrimonio forestal, en las

cuales se realice la explotación de minerales, y por otras razones de protección al medio ambiente, sea recomendable reforestar.

El artículo 27 se refiere, que en los trabajos de reforestación, se utilizarán especies que mejoren la calidad y las condiciones del lugar, las que estén en peligro de extinción, incluidos los de reconocido valor económico, así como, las que sean útiles para la fauna silvestre.

1.2 Trabajos precedentes en la Unidad Básica (UB) Minera

En el año 1975 cuando empezaron los trabajos de destape, en el yacimiento Punta Gorda había una extensa área expuesta a los procesos erosivos, producto del destape y el acondicionamiento de plataformas para el almacenamiento de equipos tecnológicos para la construcción de la fábrica Comandante Ernesto Che Guevara.

Al comenzar la extracción en 1985, para evitar que los productos de la erosión llegaran a los ríos, con la propia extracción del mineral se creó una depresión, que se utilizó como trampa para decantar los azolves presentes en las aguas, también se condujeron las aguas hacia la depresión a través de canales que fusionaban las cuencas afectadas, desde donde se vertían limpias hacia el Río Moa. Esta experiencia se ha aplicado con éxito en el yacimiento Camarioca Este.

Antes de emprender la reforestación masiva de los espacios minados, en el año 1987, se creó una parcela experimental, con el asesoramiento de especialistas de la Academia de Ciencias de Cuba, en la que se plantaron varias especies de árboles, a los que se les aplicaron diferentes cantidades de materia orgánica por planta, obteniéndose los siguientes resultados, después de transcurridos cinco años:

- Las especies que mejor se adaptaron fueron el *Pinus Cubensis* y la *Casuarina Equisetifolia*, el Marañón; el Eucaliptus y el Ocuje sobrevivieron pero con muy bajo crecimiento; el resto de las especies ensayadas no sobrevivieron.

- La cantidad de materia orgánica incorporada por plantas influyó notablemente en el crecimiento de las mismas; los árboles (Casuarina equisetifolia) que se le añadieron dos kilogramos por planta crecieron vigorosamente y ofrecían una buena cobertura al suelo; a los que se les añadió un kilogramo crecieron bien, pero todavía no ofrecían una buena cobertura al suelo. Los que no recibieron materia orgánica presentaron bajo desarrollo.

1.3 Resultados obtenidos en la reforestación realizada en la UB Minera

- 1) En las áreas en que las plantaciones presentan bajo desarrollo se produce un intenso proceso erosivo y surgimiento de cárcavas; afectando los árboles plantados.
- 2) Las plantaciones sobre relleno con materiales arcillosos y serpentínicos tienen bajo crecimiento y presentan raquitismo.
- 3) La casuarina ha escapado del cultivo y ha invadido los bosques naturales del entorno; lo que es peligroso para la conservación de los mismos.
- 4) Los árboles plantados cerca de los embalses de agua crecen vigorosamente y en muchos casos su talla duplica la de los plantados en otros sitios alejados de los embalses (figura 1.1).



Figura 1.1 Plantaciones cerca de una laguna en yacimiento Yagrumaje Sur.

- 5) En las trincheras cavadas a media ladera las especies autóctonas crecen de forma espontánea y con gran vigor, incluso helechos arborescentes.
- 6) Se observa un índice de supervivencia por encima del 95 % en las plantaciones realizadas en el período octubre – diciembre.
- 7) En los sitios donde se depositó escombros del primer horizonte los árboles crecen con mayor vigor.
- 8) En las áreas donde se combina la siembra de árboles con la plantación de herbáceas; los árboles crecen más saludables y se reduce la erosión del suelo.
- 9) Las gramíneas que mejor se han adaptado a estos suelos son las siguientes: *Cynodon dactylum* (jamaíquina), el *Cynodon bráctea* (bermuda); pero siempre es necesario un mínimo de materia orgánica, para lograr un desarrollo adecuado.
- 10) Otras plantas rastreras que se adaptan bastante bien a estos suelos degradados, son la *Ipomoea pescaprae* (boniato de playa) y la *Wedelia trilobata* (romerillo de playa); la que resulta excelente para el control de las cárcavas, pero siempre es necesario un mínimo de materia orgánica, para lograr un desarrollo adecuado.
- 11) En los sitios donde quedó vegetación natural, también quedaron mucho de los animales propios; lo que proporciona la regeneración de la vegetación y la fauna autóctonas.
- 12) En las plantaciones más antiguas se observa la aparición de plantas propias de la región.

1.4 Actividades del proyecto en su fase ejecutiva

En su fase de ejecución las actividades realizadas son:

1. Contratación de la mano de obra
2. Construcción de caminos
3. Traslado del equipamiento
4. Extracción del material para relleno
5. Transporte del material
6. Conformación del material

7. Des compactación
8. Plantación
9. Transporte de personal e insumos

1.5 Recomendaciones a tener en cuenta en la explotación y rehabilitación de actividades mineras

A continuación se describe algunos aspectos claves a considerar para la elaboración de los proyectos de explotación y rehabilitación:

- Aprovechamiento integral de las materias primas.
- Reciclado de materiales de deshecho.
- Utilización eficiente de la energía.
- Explotación racional de los yacimientos.
- Planificación correcta del abastecimiento de minerales.
- Legislación ambiental vigente en el país

Las actuaciones más habituales de rehabilitación son: el remodelado de los terrenos, incluyendo el relleno y tratamiento de taludes, la preparación del sustrato y la revegetación.

CAPÍTULO II. ETAPAS METODOLÓGICAS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 Métodos de investigación científica

Los principales métodos de investigación científica empleados en el trabajo se exponen a continuación:

De los métodos empíricos:

- La observación: para conocer la realidad del yacimiento, las características tecnológicas y el estado actual del medio ambiente.
- La entrevista a especialistas para determinar los posibles usos que se le pueden dar a estas áreas dañadas por la minería en el yacimiento Camarioca Este
- La compilación para reunir y sistematizar información mediante la revisión de fuentes bibliográficas, orales, digitales o de otro tipo.

Y entre los métodos teóricos:

- El Histórico-Lógico: para analizar el desarrollo de los trabajos en el yacimiento.
- El Deductivo-Inductivo: identificación de los impactos provocados durante la rehabilitación desde el punto de vista tecnológico, medioambiental y socio-económico del yacimiento.
- El Hipotético-Deductivo: para la formulación de la hipótesis y luego, a partir de inferencias lógicas-deductivas, para arribar a conclusiones específicas que posteriormente se pueden comprobar.

2.2 Etapas metodológicas

Para la elaboración del proyecto de rehabilitación del yacimiento Camarioca Este, se siguieron las etapas metodológicas establecidas en las normativas relacionadas con los contenidos del mismo:

1. Descripción del proyecto de explotación del yacimiento. Esta etapa comprende la caracterización del proyecto de explotación y la determinación de las principales acciones del mismo.

2. Estado actual del área del yacimiento.

Se describen las características generales y medioambientales del área del yacimiento, incluyendo el marco geológico, el clima, la flora y la vegetación, la fauna, las características socio- económica de la región y se realizan consultas a expertos sobre los aspectos de interés que no aparecen en la documentación analizada.

3. Determinación del uso futuro de las zonas dañadas.

4. Elaboración del plan de rehabilitación.

El Manual de Restauración de Terrenos y Evaluación de Impactos Ambientales en Minería plantea que para la rehabilitación de las áreas dañadas por la explotación del yacimiento Camarioca Estese aplicaron dos fases fundamentales: la fase minero- técnica y la biológica. Durante la rehabilitación minero- técnica se persigue la recogida, acopio y tratamiento de la capa superficial del suelo, y durante la biológica la selección y siembra de las especies. A continuación, se describe cada una de ellas.

Rehabilitación minero-técnica

La preparación técnica de las áreas afectadas se inicia durante las labores mineras de tal forma que al concluir la misma, solamente sea necesario un mínimo de trabajos preparatorios realizado con el máximo rigor técnico, y es de suma importancia para el éxito de la rehabilitación biológica, de la depreciación de los costos y para el control de los procesos erosivos. La mismase realizará de forma paralela con las labores de destape y la formación de escombreras o el relleno de las áreas minadas.

Para comenzar esta fase, no se tuvo que esperar a la culminación de los trabajos mineros, ya que el propio proyecto de explotación contempla la ejecución simultánea de la minería, con el relleno de las partes minadas y la conformación del escombro extraído sobre las mismas, así como la creación de trincheras temporales, colectores perimetrales, lagunas de sedimentación y regulación de las escorrentías, diques de filtros en las cañadas y arroyos por todo el borde inferior de la cantera con la finalidad de proteger las

cuencas hidrográficas de la contaminación producidas por los arrastres procedentes de la explotación minera.

De forma organizada se procedió a la creación de las obras de protección según su secuencia lógica.

- Retirada del suelo

La retirada de la capa de tierra vegetal y la capa mineral alterada deben necesariamente retirarse de forma apropiada, almacenar y conservar por separado para preservar sus características originales, con el fin de utilizarlas posteriormente en la recuperación de los espacios alterados por la explotación, o en otro espacio que sea necesario, y las capas subyacentes son conservadas en escombrera para la conformación de la misma. Se debe realizar el análisis del suelo para determinar la conveniencia de conservar la capa de tierra vegetal, y también las capas subyacentes si poseen la calidad necesaria.

De este modo, es más beneficiosa desde el punto de vista económico y biológico, porque reduce el riesgo de deterioro de las características edáficas (figura 2.1).



Figura 2.1 Retirada selectiva y manejo del suelo.

- Extendido del suelo

Las capas de suelo preferentemente se deben extender por orden de calidades, hasta obtener un perfil similar al original (figura 2.2).



Figura 2.2 Extendido de suelo.

- Acondicionamiento de los huecos

Una vez retirado el suelo, se procede a la extracción del recurso propiamente dicho para la obtención de los minerales. Tras esta operación y antes del relleno del hueco, es preciso acondicionar el hueco para que la colocación de los materiales pueda realizarse de forma segura para el medio ambiente y para las personas, asegurando su estabilidad a lo largo del tiempo.

- Gestión del agua

Es conveniente llevar a cabo el uso eficiente del agua y en casos de lugares donde hay escasez de precipitaciones se debe aumentar la capacidad de retención de agua en el suelo y de almacenamiento para el desarrollo de la vegetación mediante la escorrentía, a través de la inclinación ascendente de las bermas, recogida y almacenamiento del agua en diques y lagunas.

Los periodos de sequía traen como consecuencia el endurecimiento de la capa superior del suelo que luego en caso de fuertes precipitaciones tiene inicialmente escasa permeabilidad, por lo que el agua no se infiltra en profundidad y al no quedar retenida, produce importantes efectos erosivos, ya que los torrentes de lluvias siguen las líneas de máxima pendiente provocando pérdidas del suelo.

Por ello, es adecuado establecer elementos que puedan desviar las aguas de las zonas más sensibles a la erosión, como trincheras anti-erosivas y piedra de escollera (Guía de Restauración de Graveras Instituto Tecnológico Geológico de España, 1997).

También se puede disminuir la pendiente de las regueras, construyendo pequeños diques transversales con materiales existentes in situ, con piedras de tamaño reducido que disminuyen la velocidad del agua. Estas pequeñas represas, al reducir la velocidad del agua, favorecen que impregne el terreno y la sedimentación de los materiales arrastrados (Figura 2.3).



Figura 2.3 Diques con piedras de escollera.

Al mismo tiempo de producir la erosión del terreno, el agua puede provocar condiciones de inestabilidad en el talud por lo que es necesario prevenir la acción de estay, así reducir los efectos desestabilizadores y erosivos sobre el mismo. Para reducir estos efectos se hace necesario la eliminación del agua superficial e interior del talud.

Para las aguas superficiales se tendrá que construir zanjas perimetrales, drenajes auxiliares, cunetas de pie, disposición de muros de contención y revegetación de las bermas; en el caso de la eliminación del agua interior se construyen, drenes horizontales, pozos verticales, contrafuertes de drenaje, zanjas de drenaje, colchones de drenaje y galerías de drenaje (Anexo 1).

- Integración paisajística de frentes y bermas (condicionamiento topográfico).

El Plan de rehabilitación debe incluir una parte en la que se explique la configuración fisiográfica que resultará de los trabajos de restauración. Debe llegarse a establecer un terreno estructuralmente estable, acorde con el entorno y capaz de permitir la implantación de una cubierta vegetal estable. La integración paisajística y la revegetación son los pilares fundamentales de la remodelación del territorio y si esto se logra, supone finalmente el éxito del plan.(figura 2.4).



Figura 2.4 Éxito de la rehabilitación.

En lo que compete a las escombreras, su construcción debe estar orientada a contribuir a la integración ambiental de la explotación y a facilitar su propia restauración. Para ello puede optarse por ir revegetando zonas de la escombrera de tal manera que, se cree una pantalla visual y sónica que disminuya los efectos del impacto ambiental ocasionado por las labores de extracción y restauración. Los criterios generalizados para remodelar las escombreras son los siguientes:

1. Considerar las sinuosidades del entorno e intentar reproducirlas.
2. Tener en cuenta la situación de las vaguadas y conservarlas.
3. Redondear los taludes.
4. Evitar formas excesivamente rectas y angulosas que resultan artificiales.
5. Cuidar que el volumen sea proporcional a los volúmenes del entorno.
6. No tapar las vistas panorámicas.
7. Diseñar bermas o terrazas de formas redondeadas en disposición desigual (no equidistantes ni totalmente en paralelo) de manera que facilite la revegetación y vayan desapareciendo gradualmente en el relieve de la escombrera.

Por lo tanto, resulta fundamental identificar los rasgos característicos del entorno, de forma que la integración sea lo más positiva posible, tanto en el caso de la ocultación como del remodelado. Todo esto, con el fin de reproducir la forma natural de las estructuras geomorfológicas para alcanzar la máxima integración.

- Estabilización de los frentes de explotación, las escombreras y las presas de residuos.

La estabilización de los frentes de trabajo de las escombreras y de las presas de residuos son tareas de gran importancia por la trascendencia de los daños que pueden ocasionar, relacionados fundamentalmente con la inestabilidad de los taludes y del terreno en general. En este sentido deben acometerse diferentes obras para su tratamiento como:

1. Remodelación de la geometría del talud para reducir su pendiente y longitud.
2. Eliminación de las masas inestables.
3. Construcción de drenajes superficiales para evitar la entrada del agua y de fondo para eliminar el agua existente.
4. Construcción de contrafuertes al pie del talud.

5. Anclajes sobre la superficie e inyección de sustancias que incrementen la cohesión de materiales.

En las escombreras para facilitar la estabilización deben definirse sus características morfológicas y la naturaleza de los materiales depositados en ellas, mediante:

1. La selección de un emplazamiento con pendientes que evacuen el agua con facilidad.
2. La construcción de pequeñas terrazas.
3. La disposición de los materiales a depositar por tamaños para facilitar el drenaje y la compactación de los mismos.

En las presas de residuos el agua genera la mayor inestabilidad. La acumulación repentina de agua de lluvia puede provocar la rotura del dique por desbordamiento o por erosión en su pie (figura 2.5).



Figura 2.5 Presas de rechazo con problemas de erosión.

Los elementos fundamentales, objeto de la remodelación, son: las escombreras y los frentes de la explotación, éstos últimos constituyen la parte más compleja del conjunto de tareas de restauración.

Para asegurar su estabilidad es necesario garantizar el drenaje hasta conseguir una superficie firme y fortalecer el talud cubriéndolo con cubierta herbácea (figura 2.6).



Figura 2.6 Talud cubriéndolo con cubierta herbáceas.

- Creación de lagunas

Las zonas húmedas suponen uno de los ecosistemas más ricos en biodiversidad y a la vez uno de los más amenazados del planeta. No sólo suponen una significativa contribución a la diversidad biológica sino al patrimonio cultural, paisajístico y de vida silvestre.

Cuando el Plan de Rehabilitación considere la recuperación dejando humedales, puede intentarse la introducción de especies que se encuentren en peligro de extinción para que puedan reproducirse.

La construcción de lagunas favorece el crecimiento de la colonia, de tal manera que se erigen de diferentes formas y tamaños, con pequeñas ensenadas protegidas del viento para que las aves puedan descansar y alimentarse. Los taludes circundantes deben tener una pendiente suave para facilitar el regreso de los animales, es preferible construir varias lagunas en una zona grande, variando su tamaño desde un mínimo de 10 m² hasta un máximo de 1.000 m² (figura 2.7).



Figura 2.7 Laguna cerca de la vegetación.

Rehabilitación biológica

La rehabilitación biológica es la consumación de todos los trabajos dirigidos a devolverle al entorno el máximo de los valores afectados por la minería y crea las condiciones para la regeneración de la flora y la fauna original, o al menos crear un entorno compatible con el ecosistema circundante (anexo 2).

- Implantación de la cubierta vegetal

La última fase determinante en el éxito de la restauración es el establecimiento de una cubierta vegetal. Consiste en hacer que el espacio degradado sea colonizado de forma artificial por una comunidad vegetal estable. Se dice artificial porque en un espacio degradado no puede esperarse una colonización natural, pues el suelo estará contaminado o no existirá (Anexo 3).

Antes de revegetar se debe recuperar la fisionomía de la mina modificando alturas y pendientes, después esparcir la tierra vegetal acopiada en un principio sobre la que finalmente se plantarán las especies vegetales adecuadas. Si se da la situación de que aparecen zonas encharcadas, se intentarán mantener dadas las condiciones favorables que crean para el asentamiento de especies de flora y fauna de interés. Con esta labor se pretenden lograr ciertos objetivos como:

1. Establecer una comunidad vegetal estable y autosuficiente.
2. Incrementar la biodiversidad: el hecho de instaurar una comunidad vegetal con un índice elevado de riqueza de especies que favorecen la colonización de distintas especies animales, reduce el riesgo de plagas y de incendios.
3. Mejoría del paisaje: la vegetación tiene también función estética, ya sea por contraste con el entorno o por integración en el mismo.
4. Estabilización y protección del suelo: las raíces cumplen dos funciones muy importantes, por un lado estabilizan el suelo, de manera que contribuyen a evitar la erosión, y por otro, favorecen la formación del mismo.
5. Pantalla visual y acústica: la vegetación reduce el impacto provocado por las labores de explotación actuando en dos frentes. Como barrera visual, ya que dificulta una visión completa del espacio degradado (en el caso de que se sincronicen las labores de explotación y las de restauración, como obliga la ley) y como barrera acústica natural.

Es importante tener en cuenta una serie de factores a la hora de seleccionar las especies que van a ser introducidas en el terreno. Debe tenerse en cuenta la calidad del suelo, las necesidades de mantenimiento de las plantas, las condiciones ecológicas estacionales en que se van a plantar, su longevidad, las relaciones de competencia con otras especies, e incluso la existencia de predadores.

- Plantaciones y siembras

Para el éxito de la revegetación, es preciso utilizar las especies vegetales más adecuadas al uso previsto y a las características de suelo y clima de la zona. Pueden utilizar plantas cultivadas en vivero, semillas, o bien una mezcla de ambas formas, y una combinación de especies que incluya árboles, arbolillos, arbustos e hierbas (figura2.8).



Figura 2.8 Talud rehabilitado con hierbas.

Las especies leñosas cultivadas en vivero se plantan en hoyos excavados en el terreno, de manera individual o en grupos, o en zanjas, disponiendo las plantas en hileras.

Una modalidad especial de plantación es el trasplante. Consiste en mudar directamente con su cepellón un ejemplar maduro desde su lugar de crecimiento en el campo, hasta otro sitio.

Plan de monitoreo

Las actividades de cierre del proyecto de rehabilitación estarán sujetas al seguimiento y monitoreo de las áreas rehabilitadas en un tiempo periódico estipulado, partiendo del hecho que con la modelación del terreno y la plantación de árboles y plantas herbáceas no se ha concluido la restauración, sino que esta será verdadera e irreversible cuando los procesos erosivos estén controlados y se hayan comenzado a regenerar la flora y la fauna autóctona. Luego las áreas rehabilitadas serán entregadas a la empresa Estatal Forestal, quien se encargará de definir su uso y protección.

2.3 Efectos negativos de la rehabilitación minera al medio ambiente

Para la evaluación de los impactos se utilizó la matriz de causas y efectos, adaptada para el proyecto de rehabilitación minera. En la misma se

relacionan las acciones del proyecto y los impactos que producen, así como la valoración cualitativa y cuantitativa de los mismos y los componentes ambientales que se afectan.

Los efectos medioambientales que se producen en la rehabilitación se deben:

- Al trabajo y a los desplazamientos de las maquinarias móviles.
- A la generación de residuos de distintos tipos como filtros, aceites usados, embalajes, restos de vegetación, etc.)
- A la gestión del agua.
- A la utilización de materiales inertes necesarios, no procedentes de la propia explotación.
- A la propia naturaleza del trabajo de rehabilitación que afecta al paisaje y a la biodiversidad negativamente en las etapas iniciales, para luego tener un efecto positivo sobre estos factores ambientales.

2.4 Ventajas de la rehabilitación minera

Con el proyecto de Rehabilitación se logra lo siguientes objetivos:

- Incremento de las áreas boscosas.
- Mejora del paisaje.
- Mejora del impacto visual.
- Mejora del entorno en general.
- Protege las cuencas hidrográficas.

2.5 Consideraciones ambientales del cierre de la mina

Cuando la operación de una mina llega a su término, diversas medidas deben ser tomadas con el fin de proteger la seguridad de las personas y los distintos componentes del medio ambiente, entre ellos el agua, el suelo, la flora y la fauna, la atmósfera y el paisaje.

Algunos de los problemas que requieren control son:

- Control del drenaje ácido (provenientes de distintas actividades y sectores de la mina).
- Estabilización de las pilas de desechos (estériles, finos y chancados).
- Control de la sedimentación.
- Estabilización y control de los deslizamientos.

En la actualidad muchas empresas mineras han incorporado un plan de cierre y abandono durante la etapa activa de la mina, como una forma de enmendar antiguos errores, y daños al medio ambiente.

CAPÍTULO III. REHABILITACIÓN DE LAS ÁREAS DAÑADAS POR LA MINERÍA EN EL YACIMIENTO CAMARIOCA ESTE

3.1 Descripción del proyecto de explotación del yacimiento Camarioca Este

El proyecto de explotación tiene como objetivo la proyección y el diseño conceptual de las obras y operaciones a realizar para la explotación integral, racional y segura en la primera etapa de explotación de los recursos medidos del yacimiento, desde la apertura hasta la culminación de la primera etapa, así como la creación de las condiciones para la continuidad de la minería en las áreas que todavía no tienen sus recursos en categoría de medidos, aplicando en cada área el esquema de minería que resulte más adecuado para lograr un mejor aprovechamiento de los recursos minerales y el equipamiento, en aras de una minería sustentable.

El proyecto también contempla la rehabilitación de los espacios afectados durante su explotación y así, evita que el impacto de la minería se extienda fuera de los límites del mismo, también comprende las acciones a emprender desde el inicio de las operaciones mineras hasta el cierre del yacimiento, como el monitoreo ulterior para detectar a tiempo y reducir las afectaciones al medio ambiente que provoca la minería durante y después de concluida la misma, para preservar los valores ambientales y crear un nuevo medio compatible con el entorno (Proyecto de explotación minera del yacimiento Camarioca Este 2015).

Los principales procesos tecnológicos de la minería a cielo abierto que se realizan durante el proyecto de explotación son:

- Preparación para el arranque
- Arranque y carga
- Transportación
- Formación de escombreras
- **Preparación para el arranque**

Las principales tareas que se realizan en esta etapa son el desbroce y destape de las reservas para la extracción, la construcción de caminos de

accesos a las zonas a minar, el mantenimiento sistemático de los caminos y labores auxiliares y de apoyo a la producción.

El equipamiento utilizado está compuesto por: retro-excavadoras hidráulicas XCMG modelo XE-900C, buldózer Komatsu D85, motoniveladoras Champion, cargadores frontales Volvo y camiones articulados Volvo A-40FS.

- **Desbroce**

Con el buldózer se procede a la eliminación de la capa vegetal (árboles, malezas, etc.) y paralelamente se realiza la conformación del terreno que permite la entrada de los equipos de arranque y carga. Luego la capa vegetal y el material removido se llevan fuera del área de trabajo con vista a su posterior empleo como materia orgánica para la reforestación, de acuerdo al programa de rehabilitación minera establecido por la Unión del Níquel.

- **Destape**

Consiste en el corte y traslado del horizonte superior (escombro) del mineral, que por su bajo contenido de níquel y cobalto no resulta apropiado para el proceso. El mismo se deposita, en un principio, en las áreas sin mineral útil y posteriormente en las áreas minadas, rellenando los espacios minados, como parte del proceso de preparación para el cierre de mina. El arranque, carga y transportación del escombro se realiza con el esquema Retro-excavadora –Camión y también con la variante Excavadora con cuchara de arrastre o Dragalina (espacio minado) que resulta muy práctico y económico cuando las condiciones lo permiten.

- **Arranque y carga**

Consiste en la extracción del mineral útil y su transportación hasta la planta de beneficio de mineral, garantizando el suministro de materia prima con la calidad requerida del proceso metalúrgico para la obtención del producto final Níquel + Cobalto (Ni+Co). Estas operaciones se realizan con excavadoras Dragalinas ESH 5/45 y camiones articulados Volvo A-40FS.

Para la extracción del mineral se han empleado dos sistemas:

- El sistema con dragalina para las zonas de alta potencia y con alta humedad, con este sistema se extrae todo el perfil del mineral en un solo banco, situando la excavadora y los camiones en una plataforma estable sobre el banco.
- Sistema con retroexcavadoras hidráulicas en bancos de tres metros, para cualquier situación en que la humedad del terreno, no impida el trabajo de las mismas y el acceso de los camiones; el cual también se ha empleado en los tres yacimientos Punta Gorda, Yagrumaje Sur y Norte.
- **Formación de escombreras**

La construcción de las escombreras según su diseño, es de suma importancia, para la preservación de los recursos de las menas ferrosas que en el futuro pudieran ser explotadas de forma económica, como para la preservación del medio ambiente ya que las mismas forman el substrato donde se realiza la reforestación.

Para el caso particular del yacimiento Camarioca Este, que tiene una potencia de escombros promedio de 1.09 m de espesor incluyendo la laterita fuera de balance (LF) y que está situado en la cuenca de tres ríos importantes: Cayo Guam, Punta Gorda, Los Lirios y cerca del Parque Alejandro Humboldt, prácticamente todo el material de la mena ferrosa fuera de balance (FF), tendrá que ser empleado en crear un substrato para la reforestación en las áreas donde se extraiga el mineral. Por tal motivo solamente se construirán escombreras de la mena ferrosa fuera de balance, durante la apertura y el primer año, las cuales se harán en el bloque H-61 del yacimiento Yagrumaje Sur.

Con el resto del escombros de este yacimiento, se hará el recubrimiento en las áreas minadas, con el más alto rigor técnico para que, durante y después de depositar el material, no se erosione ni se formen cárcavas, y además quede en las mejores condiciones para la reforestación.

3.2 Estado actual del yacimiento Camarioca Este

Caracterización general de yacimiento

El yacimiento se encuentra ubicado en la parte noreste de la provincia Holguín, en el municipio de Moa dentro de la cuadrícula definida por las coordenadas Lambert, X: 702900 m, X: 706800 m y Y: 215000 m, Y: 217400 m, el mismo ocupa un área de 19.53 km² abarcando el macizo Moa-Baracoa en el extremo oriental de la faja Mayarí-Baracoa separados por áreas sin mineralizar. Sus límites naturales son: al Norte por la línea convencional que lo separa de los yacimientos Yagrumaje Sur y Yagrumaje Oeste, al Este y Sur, por el río Cayo Guam, por el Oeste la línea convencional que lo separa del yacimiento Camarioca Norte y Moa Oriental.

El yacimiento está planificado para dos etapas de explotación, y actualmente se está explotando la primera etapa lo que responde al objetivo de esta investigación (Figura 3.1).

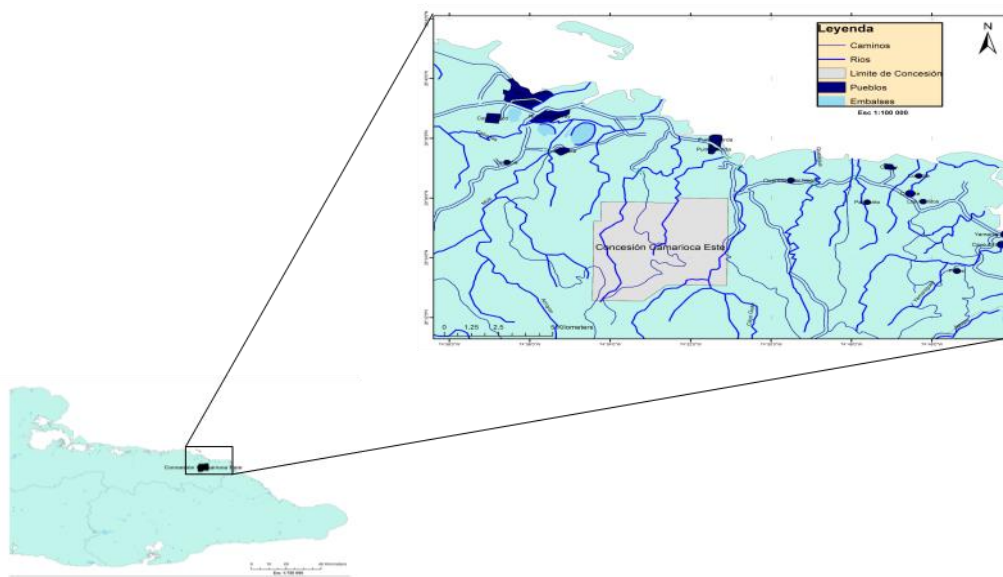


Figura 3.1 Ubicación geográfica del yacimiento Camarioca Este.

La primera etapa de explotación está comprendida en un polígono de 8.43 Km² (tabla 3.1) y los cuerpos mineralizados dentro del mismo. El área donde se planificó la minería tiene una superficie de 3.09 Km² (primera etapa), y serán rehabilitada hasta el año 2029. Como límites naturales, tiene por el Norte la línea convencional que lo separa de los yacimientos Yagrumaje Sur

y Yagrumaje Oeste, al oeste el Río Los Lirios, al Sureste el Río Cayo Guam, y al sur las áreas del propio yacimiento, que se explotarán en la segunda etapa.

Tabla 3.1 Vértices del yacimiento en la primera etapa

| VÉRTICE | X(m) | Y(m) |
|---------|--------|--------|
| 1 | 702900 | 217100 |
| 2 | 702900 | 215000 |
| 3 | 706600 | 215000 |
| 4 | 706600 | 217400 |
| 5 | 704400 | 217400 |
| 6 | 704400 | 217100 |
| 7 | 702900 | 217100 |

La potencia del mineral en las áreas con los recursos medidos es de 6.14 m, y la de escombro tiene 1.09 m, mientras que en las áreas con los recursos indicados, son de 2.9 y 1.32 m, respectivamente. La relación escombro /mineral en el área es de solamente 0.14 m³/ TM, de acuerdo con el modelo geológico.

Desde el punto de vista minero, el yacimiento no ofrece dificultades para la explotación debido a su baja potencia de escombro, hidrogeología poco compleja y relieve moderado en los cuerpos mineralizados; sin embargo, desde el punto de vista ambiental se requiere del máximo de atención ya que el mismo colinda con la zona de amortiguamiento del parque Alejandro de Humboldt, y otra parte cubre las cuencas de los ríos Cayo Guam y Punta Gorda, a lo que se agrega el poco escombro disponible para hacer el substrato adecuado para la reforestación.

Según el informe geológico de la explotación detallada por la red 33.3x33.3m del yacimiento Camarioca Este (Tomo I), elaborado por la empresa Geominera Oriental” en Marzo de 2007, el estudio del basamento se ha realizado con el objetivo de conocer las características petrográficas de sus

rocas, con este fin se estudiaron 30 secciones delgadas y se realizaron 29 análisis químico de silicato completo. Las muestras de roca fueron tomadas en 28 pozos de perforación, los cuales están distribuidos de manera representativa en todo el yacimiento, de ellos 21 son mineralógicos y siete ordinarios.

Petrología

El área del yacimiento está representada por rocas del corte ofiolítico, el complejo ultramáfico metamorizado, compuesto por peridotitas normales, peridotitas piroxénicas, gabro-peridotita, peridotitas plagioclásicas, gabroides olivínicos y gabroides normales; los cuales se localizan fundamentalmente en el flanco Este del yacimiento.

El complejo cumulativo está pobremente representado en el área del yacimiento y se manifiesta en las partes Este y Sureste del mismo. Las rocas del complejo ultramáfico metamorizado que originan las cortezas de intemperismo friables, ricas en Fe, Ni y Co, son las más abundantes en el sector y se extraen como materia prima mineral para el proceso metalúrgico.

Se observa una fuerte dependencia entre las características litológicas de la corteza de intemperismo (tipo de perfil litológico y tipo de protolito) y la concentración y disposición espacial de las masas de mineral LB+SB.

Las menas LB (Menas Lateríticas de Balance) se localizan en toda la zona de los ocres a una profundidad desde cero hasta nueve metros; en la parte superior del corte, contienen concreciones de hierro entre un cinco y un 20 % y se presentan con mineralización de Cromo-espinela, Manganeso y Magnetita. En estas menas existe predominio de las partículas finas (≤ 0.044 mm), con más de un 60%, así como los electromagnéticos: contienen un rango de contenidos de la mena de $\text{Ni} \geq 0.9\%$, $\text{Fe} \geq 35.0\%$ y con contenido promedio de: Fe 44.48 %, Ni 1.21 %, Co 0.093 %, SiO 22.21 %, MgO 0.98 %, y el Al_2O_3 4.88 %.

Las menas SB (Menas Serpentiníticas de Balance) se localizan en la zona de los Ocres Estructurales Iniciales, a una profundidad desde 4.8 hasta 18.0 m. Se presentan con mineralización de Cromo-espinela, Cuarzo, Magnetita y

más escasamente Manganese. Estas menas tienen un promedio de 70.9 % de sus partículas de tamaño ≤ 0.044 , y en todas sus clases granulométricas son electromagnéticas en más del 73 % y tienen un rango de contenido de la mena de $\text{Ni} \geq 0.9\%$, $35.0\% > \text{Fe} \geq 12.0\%$, con un contenido promedio: el Fe con 24.56%, el Ni con 1.58%, el Co con 0.056%, el Si con 12.07%, el Mg con 10.04%, y el Al con 2.97%.

En el yacimiento también se pueden encontrar otras menas como:

- Serpentinita Dura de Balance (SD).
- Menas Lateríticas Fuera de Balance (LF)
- Menas Serpentiníticas Fuera de Balance (SF)
- Mena Ferrosa Fuera de Balance (FF)
- Roca Estéril (RE)

Tectónica

La tectónica del desarrollo del macizo es muy compleja. En el proceso de orogénesis ocurrido a finales del Cretácico Tardío, las rocas del macizo se dividieron en grandes bloques, dando lugar a la formación de fallas limítrofes y grandes zonas de fracturación.

En la divisoria de las aguas de los mismos yace el yacimiento Camarioca Este, el cual presenta un sistema de grietas con orientación variada, sobre todo en dirección noreste. Como consecuencia de estas fallas el área del yacimiento se dividió en bloques independientes, los que se desplazaron verticalmente y con giro alrededor de un punto.

Relieve

El área del yacimiento se caracteriza por tener un relieve montañoso típico, con cotas absolutas desde 102.4 m hasta 788.5 m y valles profundos en los ríos Cayo Guam, Yagrumaje y Punta Gorda y otros arroyos. El relieve se presenta bien diseccionado por las cañadas y pendientes de los arroyos y ríos relacionados con la cabecera de los ríos Cayo Guam, Punta Gorda y Yagrumaje, que se han desarrollado siguiendo principalmente líneas tectónicas, que afectan relevantemente al área de Camarioca Este.

Hidrografía

En el área del yacimiento la red hidrográfica está constituida al Noreste por el río Cayo Guam, y varios afluentes del mismo que surcan el yacimiento, y hacia la parte central lo corta de Sur a Norte el río Punta Gorda, y el río Yagrumaje que sirve como frontera en el flanco Oeste. Como corriente superficial interior tiene una serie de arroyos y cañadas intermitentes que lo surcan en varias direcciones principalmente de Sur a Norte, los mismos están confinados en depresiones abruptas con baja mineralización pero dificultan el acceso a las áreas mineralizadas.

Hidrogeología

Conforme los resultados obtenidos de la investigación hidrogeológica en el yacimiento, se concluye que no existen condiciones hidrogeológicas complejas que dificulten el proceso de explotación del yacimiento.

Según el informe hidrogeológico el yacimiento está condicionado a los períodos de seca y lluvia, solamente en época de lluvia pueden existir complicaciones en zonas donde existen las fallas, mientras que en época de intensas sequía las condiciones hidrogeológicas son simples. Se pudo verificar que los niveles del agua en época de seca descienden rápidamente y luego se mantienen estables, hasta tanto comienza la lluvia, donde ascienden rápidamente y al terminar estas y en pocos días retornan al comportamiento de periodo de seca prolongado.

Según el mapa de hidroisohipsas en época de lluvia las cotas del nivel del agua subterránea oscilan entre 15 y 90 m y la descarga de estas se realiza al Norte, al Oeste, al Sureste y al Suroeste.

Clima

El clima de la región del Municipio de Moa, según la clasificación de Köppen, es tropical y húmedo, con lluvia todo el año, a diferencia de la mayor parte del resto del país, que son clasificados como tropical con verano muy húmedo (Díaz, 1989). Las temperaturas en Moa generalmente son altas, con un promedio mensual que van desde 21°C hasta más de 27°C. Los meses

más calurosos son de junio a septiembre y los meses más fríos de diciembre a marzo.

Vientos

El sistema local de vientos se caracteriza por el predominio de los vientos alisios reforzados por brisas marítimas procedentes del noreste durante los meses de octubre a enero y del este-noreste de marzo a septiembre. La velocidad del viento varía entre cinco y 15 km/h.

Paisaje

El paisaje de la región se caracteriza por la combinación de la costa con las montañas boscosas, que ofrecen un panorama paradisiaco en su estado natural, lo que contrasta con las áreas donde se están realizando los trabajos mineros, que tienen una superficie irregular de color marrón, que produce un impacto visual desagradable.

La restitución de la vegetación en las áreas afectadas por la minería, así como la preservación de la vegetación, es una prioridad insoslayable para todo proyecto minero.

Vegetación

La vegetación es tropical, las montañas están cubiertas de manera espesa por arbustos espinosos entrelazados por lianas. En las zonas peniplanizadas donde se desarrollan las lateritas, crecen de manera abundante los pinos.

Flora

La flora de la región se ha desarrollado sobre los suelos derivados de las rocas ultra básicas serpentinizadas, que tienen abundantes elementos pesados y altas concentraciones de MgO y SiO_2 y son muy pobres en $CaCO_3$, por lo que la flora está constituida por plantas que se han ido adaptando a este medio a través de su evolución, tomando características muy particulares, llegando a alcanzar el 33 % de las plantas endémicas del país. En el área del yacimiento se encuentra una diversidad florística de 50 especies en total representada con 14 especies endémicas difíciles de encontrar en otros países, y las más predominantes son los pinares.

Tabla 3.2 Principales especies endémicas en el yacimiento

| Especies | Estado |
|---|------------|
| <i>Arthrostylidium pinifolium</i> (Catasús) | Endémica |
| <i>Casearia bissei</i> (J.E. Gut.) | Crítica |
| <i>Coccoloba coriacea</i> (A. Rich.) | Rara |
| <i>Coccoloba coriacea</i> (Urb.) | Crítica |
| <i>Croton moanus</i> (Urb.) | Rara |
| <i>Dracaena cubensis</i> (M. Ich.) | Vulnerable |
| <i>Jacaranda arborea</i> (Urb.) | Venerable |
| <i>Manilkara mayarensis</i> (Ekman ex Urb.) | Endémica |
| <i>Micropholis polita</i> (Griseb.) | Venerable |
| <i>Pimenta olinolens</i> (Urb.) | Vulnerable |
| <i>Sideroxylon jubilla</i> (Ekman ex Urb.) | Vulnerable |

Las especies más abundantes en la zona se pueden ver en (anexo 4).

Fauna

En el yacimiento se encuentran 106 especies animales, de ellas 50 de invertebrados pertenecientes a 21 familias, y 56 de vertebrados distribuidos en 29 familias. También se encontraron 33 especies endémicas, de las cuales 14 son de la región Oriental y el Norte de Oriente, las demás 19 son endémicas de Cuba, entre ellas, el pan cubano (*guapeen*). Durante los estudios en el yacimiento los trabajadores encontraron una especie amenazada no reportada por los especialistas, que es la cotorra cubana (*Amazona leucocephala*), una especie de lagarto (culebra con patas).

En el área de estudio se encontraron las mariposas diurnas que pertenecen a los invertebrados, fue el grupo más representado con 15 especies distribuidas en 6 familias, también se encontró la *Agraulis vanillae insularis* que fue dominante por su abundancia en las áreas de la concesión, aunque parece ser que esta especie tiene condiciones muy favorables en Moa, ya que en la ciudad resulta ser el lepidótero de mayor frecuencia de avistamiento.

El grupo animal más representativo resultó ser el de las aves, con 28 especies distribuidas en 14 familias; la mejor representada fue la familia *Parulidae* con nueve especies, de ellas el 88.8% son migratorias neárticas, es decir, bajan del Norte del continente a pasar el invierno en Cuba.

En el yacimiento se encontraron cinco especies invasoras de mamíferos (anexos 5):

- Perro Jíbaro (*Canis lupus familiaris* L.)
- Gato Jíbaro (*Felis silvestris catus* L.)
- Ratón Doméstico (*Mus musculus* L.)
- Rata Negra (*Rattus rattus* L.)
- Puerco cimarrón (*Sus scrofa*)

Tabla 3.3 Composición taxonómica de la fauna presente en la concesión

| Grupo taxonómicos | Especies | Endemismo regional | Endemismo cubano |
|-------------------|----------|--------------------|------------------|
| Insectos | 32 | 1 | 1 |
| Arácnidos | 11 | 3 | 2 |
| Crustáceos | 2 | - | - |
| Moluscos | 5 | 4 | 1 |
| Peces | 5 | - | 2 |
| Anfibios | 6 | 2 | 3 |
| Reptiles | 12 | 3 | 5 |
| Aves | 28 | 1 | 4 |
| Mamíferos | 6 | - | 1 |

Humedad relativa

La humedad relativa de la región, es alta y está influenciada sobre todo por la cercanía de la costa y el macizo montañoso que sirve de pantalla a los vientos alisios cargados de humedad, la cual alcanza los valores máximos desde mediados de otoño hasta el inicio de la primavera. La humedad relativa anual es de 90-95 % a las 7:30 horas y de 70-75% a las 13:00 horas.

Características geo-mecánica de los suelos en el yacimiento

Todos los yacimientos de la región, no perturbados, se caracterizan por tener un perfil completo, con la siguiente secuencia litológica en la medida en que profundiza:

- 1- Ocrec inestructurales con concreciones de hierro. (OICC)
- 2- Ocrec inestructurales sin concreciones de hierro (OISC)
- 3- Ocrec estructurales finales (OEF)
- 4- Ocrec estructurales iniciales (OEI)
- 5- Serpentinatas desintegradas (SD)

En la tabla 3.4 se pueden ver los parámetros geotécnicos de las litologías en que se realizarán las labores mineras. (Proyecto de apertura del yacimiento Camarioca Este).

Tabla 3.4 Propiedades físico mecánicas de las litologías

| Indicadores | U/M | OICC | | OISC | | OE | |
|------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | Min. | Max. | Min. | Max. | Min. | Max. |
| Humedad natural | % | 18.3 | 23.5 | 27.0 | 30.0 | 35.0 | 41.0 |
| Densidad húmeda | TM/m ³ | 2.0 | 2.2 | 1.8 | 2.15 | 1.62 | 1.85 |
| Densidad seca | TM/m ³ | 1.6 | 1.7 | 1.3 | 1.6 | 0.98 | 1.27 |
| Peso específico | TM/m ³ | 3.26 | 3.36 | 3.7 | 3.8 | 3.6 | 3.6 |
| Índice de poros | % | 0.9 | 1.28 | 1.2 | 1.9 | 0.93 | 2.63 |
| Cohesión | Kg/cm ² | 0.55 | 0.98 | 0.43 | 0.89 | 0.27 | 0.48 |
| Fricción interna | Grados | 31.0 ⁰ | 46.0 ⁰ | 13.5 ⁰ | 34.5 ⁰ | 24.0 ⁰ | 33.0 ⁰ |

En este momento desde el punto de vista ambiental el yacimiento se encuentra no solo afectado por las trochas realizadas para la exploración geológica y los caminos de acceso a las mismas, sino por los trabajos y labores de la explotación minera que por su vez es la que afecta con severidad el medio ambiente. Luego estos terrenos afectados serán rehabilitados con la finalidad de lograr un entorno similar al original y evitar que las afectaciones se propaguen a las áreas cercanas del yacimiento.

3.3 Determinación del uso futuro

Debido a las características morfológicas y físico-mecánicas que presenta el terreno del yacimiento, se concluyó que estos terrenos serán destinados al uso forestal, a pesar de que tengan una rentabilidad baja y sus resultados son a largo plazo, y puede ser un buen método para los terrenos de peor calidad donde no es posible llevar a cabo otras utilidades.

3.4 Rehabilitación minero-técnica progresiva del yacimiento

Se comenzó con la protección de las cuencas hidrográficas contaminadas por los arrastres procedentes de las áreas de explotación minera, desde el inicio de la minería, que termina luego de concluida la misma. Las obras de protección van desde las temporales que se realizan con carácter local, hasta los diques-filtros que perduran luego de concluida la minería.

A continuación se detallan las obras de protección según su secuencia lógica.

- **Trincheras temporales construidas aguas abajo de los frentes de minería**

Estas trincheras se construyen inmediatamente después del desbroce, concomitante con la evacuación del material del desbroce; las mismas son eficaces para retener los arrastres procedentes de los frentes de extracción y destape durante su ejecución. En la figura 3.2 se ilustra un perfil típico de estas.



Figura 3.2 Perfil típico de una trinchera para la protección.

- **Diques - filtros en las cañadas y arroyos por todo el borde inferior del yacimiento**

Estos diques se construirán con anticipación al laboreo minero de la cuenca; los mismos se proyectarán para una vida útil de más de 10 años, con capacidad de almacenamiento para retener una precipitación de 50 mm/hora durante 90 minutos. Este proyecto contempla la construcción de 16 diques-filtros, desde el inicio hasta su culminación de toda el área de la primera etapa, incluyendo el sector que se dejó como emergencia (figura 3.3 y tabla 3.5).

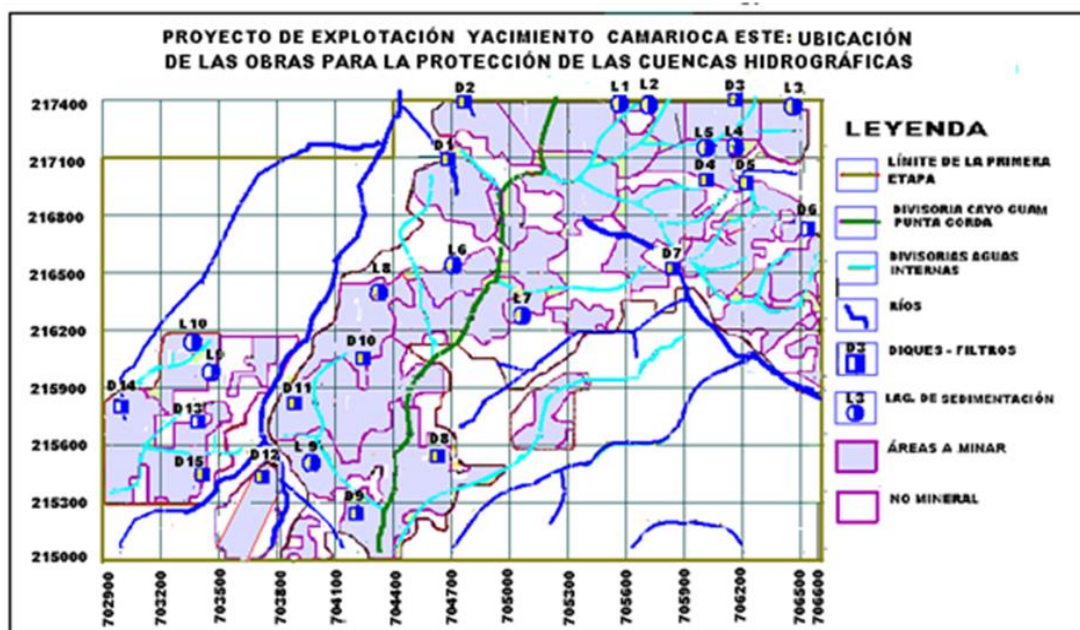


Figura 3.3 Ubicación de los diques y las lagunas de sedimentación

En la siguiente tabla se muestra las coordenadas y características de los diques.

Tabla 3.5: Ubicación y características de los diques

| Dique | Localización | | Cuenca protegida | | Capacidad | Materiales | | Año |
|-------|--------------|--------|------------------|------|---------------------------------|---------------------|----------------------|---------|
| | X (m) | Y (m) | Río | ha. | m ³ H ₂ O | m ³ esc. | m ³ grava | |
| D 1 | 704674 | 217077 | P.Gorda | 31,4 | 19782 | 3925 | 675,1 | 2019 |
| D 2 | 704735 | 217375 | P.Gorda | 17,4 | 10962 | 2175 | 374,1 | 2024 |
| D 3 | 706144 | 217386 | C.Guam | 54,5 | 34335 | 6812,5 | 1171,75 | 2016 |
| D 4 | 705978 | 216980 | C.Guam | 17,4 | 10962 | 2175 | 374,1 | 2017 |
| D 5 | 706201 | 216940 | C.Guam | 5,8 | 3654 | 725 | 124,7 | 2017 |
| D 6 | 706512 | 216706 | C.Guam | 12,7 | 8001 | 1587,5 | 273,05 | 2018 |
| D 7 | 705818 | 216506 | C.Guam | 24,9 | 15687 | 3112,5 | 535,35 | 2018 |
| D 8 | 704601 | 215518 | C.Guam | 9,3 | 5859 | 1162,5 | 199,95 | Reserva |
| D 9 | 704191 | 215222 | P.Gorda | 5,9 | 3717 | 737,5 | 126,85 | Reserva |
| D 10 | 704222 | 216037 | P.Gorda | 22,5 | 14175 | 2812,5 | 483,75 | 2022 |
| D 11 | 703875 | 215797 | P. Gorda | 6,6 | 4158 | 825 | 141,9 | 2026 |
| D 12 | 703706 | 215417 | P. Gorda | 6,7 | 4221 | 837,5 | 144,05 | 2028 |
| D 13 | 703359 | 215696 | P. Gorda | 3,6 | 2268 | 450 | 77,4 | 2026 |
| D 14 | 702984 | 215783 | P. Gorda | 8,5 | 5355 | 1062,5 | 182,75 | 2028 |
| D 15 | 703406 | 215419 | P. Gorda | 6,1 | 3843 | 762,5 | 131,15 | 2028 |
| D 16 | 703281 | 215858 | P. Gorda | 6,3 | 3969 | 787,5 | 135,45 | 2028 |

Los diques 8 y 9 pertenecen al área que se ha previsto dejar como reserva, en el caso de que se produzcan incrementos en los volúmenes asimilados por la fábrica.

- **Colectores perimetrales**

Durante la extracción del mineral se dejó una pared del lado inactivo inferior del yacimiento, dejando espacios cerrados para que se almacenen el agua y los arrastres procedentes de las cotas superiores, y no lleguen a las corrientes fluviales. Es importante tener cuidado para dejar sin rellenar un corredor entre la pared y el área a reforestar (Anexo 6).

- **Lagunas de sedimentación y regulación de las escorrentías**

Durante el relleno de los espacios minados se dejarán sin cubrir con escombros algunos tramos a lo largo de las depresiones y cañadas, los que

se cerrarán con pequeños diques provistos de un sifón; estos espacios servirán como lagunas de sedimentación y regulación de las escorrentías. Para este proyecto se ha planificado la construcción de 10 lagunas cuya ubicación se da en la tabla 3.6.

Tabla 3.6: identificación y ubicación de las lagunas

| Identificación | Localización | | Año de Ejecución |
|----------------|--------------|--------|------------------|
| | X(m) | Y(m) | |
| L 1 | 705544 | 217378 | 2019 |
| L 2 | 705689 | 217370 | 2021 |
| L 3 | 706444 | 217324 | 2016 |
| L 4 | 706176 | 217114 | 2017 |
| L 5 | 706082 | 217087 | 2017 |
| L 6 | 704681 | 216515 | 2022 |
| L 7 | 705020 | 216260 | 2024 |
| L 8 | 704292 | 216390 | 2022 |
| L 9 | 703953 | 215483 | 2026 |
| L 10 | 703443 | 215950 | 2028 |

3.5 Preparación técnica del área

La preparación técnica de los terrenos minados se realizó a través de un conjunto de medidas para la prevención y control de los procesos erosivos de acuerdo a la fragilidad de este yacimiento que colinda con el área de amortiguamiento del Parque Alejandro de Humboldt. La secuencia de realización fue la siguiente:

- Se excavarán trincheras anti-erosivas siguiendo el contorno de las curvas de nivel en tramos de 20 a 30 m, interrumpidas por espacios sin cavar de tres metros, y espaciadas en el sentido de la pendiente a una distancia de 120 m, con lo que se asegura que la velocidad de la corriente no sobrepase de 0.2 m/s y por ende no se erosione el suelo.
- Luego de terminar el relleno, el cual debe de quedar lo más uniforme,

durante el mismo se conformará definitivamente, y se procederá a la subsolación, la cual se hará siguiendo las curvas de nivel.

- En cada 15 a 20 m se interrumpirá la subsolación por espacio de 0.5 m y luego se continuará. Para evitar que el agua corra a través de los surcos y asegurar que, aún en los casos en que los surcos queden con inclinación, no se formen corrientes.

3.6 Rehabilitación biológica del terreno

Como especie arbórea se plantará únicamente el *Pinus cubensis*, debido a que el mismo es compatible con las especies locales, se adapta muy bien al suelo y queda como plantación definitiva.

No se plantará casuarina, ya que esta especie escapa del cultivo y puede invadir la vegetación natural, lo que resulta en extremo peligroso para la conservación del entorno natural de la zona de amortiguamiento del parque Alejandro de Humboldt.

Para la protección contra la erosión en las laderas se utilizarán plantas herbáceas, pudiéndose emplear las siguientes especies, en función de la disponibilidad de semillas: *Cynodon nlemfluensis* (pasto estrella), *Cynodon dactylum* (jamaiquina), *Cynodon bráctea* (bermuda), *Ipomoea pescaprae* (boniato de playa) y *Wedelia trilobata* (romerillo de playa).

3.6.1 Marco de siembra y mejora edáfica del suelo

Con la finalidad de lograr un alto crecimiento en las plantaciones, así como evitar realizar el raleo cuando los árboles no han alcanzado una talla que permita su utilización de forma adecuada, se proyecta un marco de siembra de 2 X 2 metros y un incremento en la cantidad de materia orgánica a 2 kg por planta (Anexos 7).

Como medida de protección del suelo, en la etapa en que los árboles no han alcanzado su desarrollo, se intercalarán barreras herbáceas entre las hileras de árboles; estas barreras se harán a lo largo del surco, en el cual se esparcirá materia orgánica para asegurar el crecimiento de las hierbas. En el

mapa se puede observar la secuencia durante la rehabilitación del yacimiento en la primera etapa (figura 3.4).

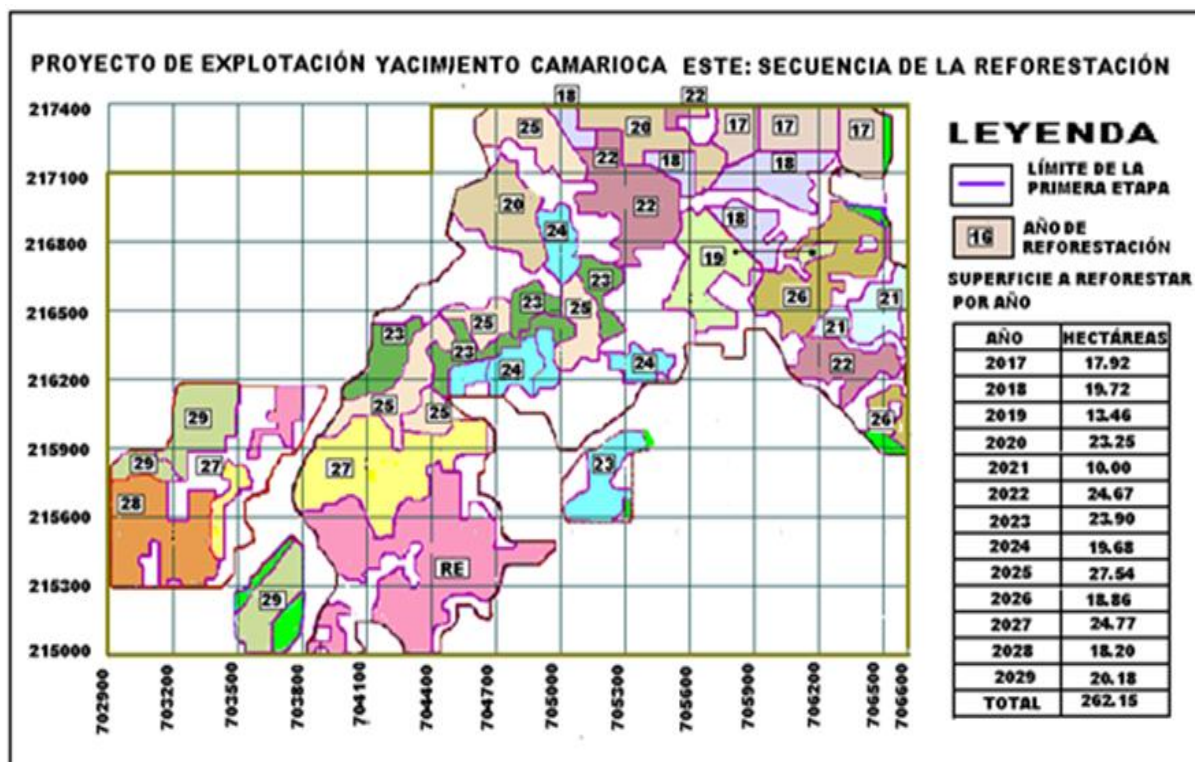


Figura 3.4 Secuencia de la reforestación.

3.7 Seguimiento y monitoreo

Las actividades de cierre del proyecto de rehabilitación se dedicará al seguimiento y monitoreo de las áreas rehabilitadas; esta actividad se realizará durante 3 años o más, hasta que la rehabilitación sea irreversible y esté avalada por el CITMA. Luego las áreas rehabilitadas serán entregadas a la empresa Estatal Forestal, quien se encargará de definir su uso y protección (figura 3.5).

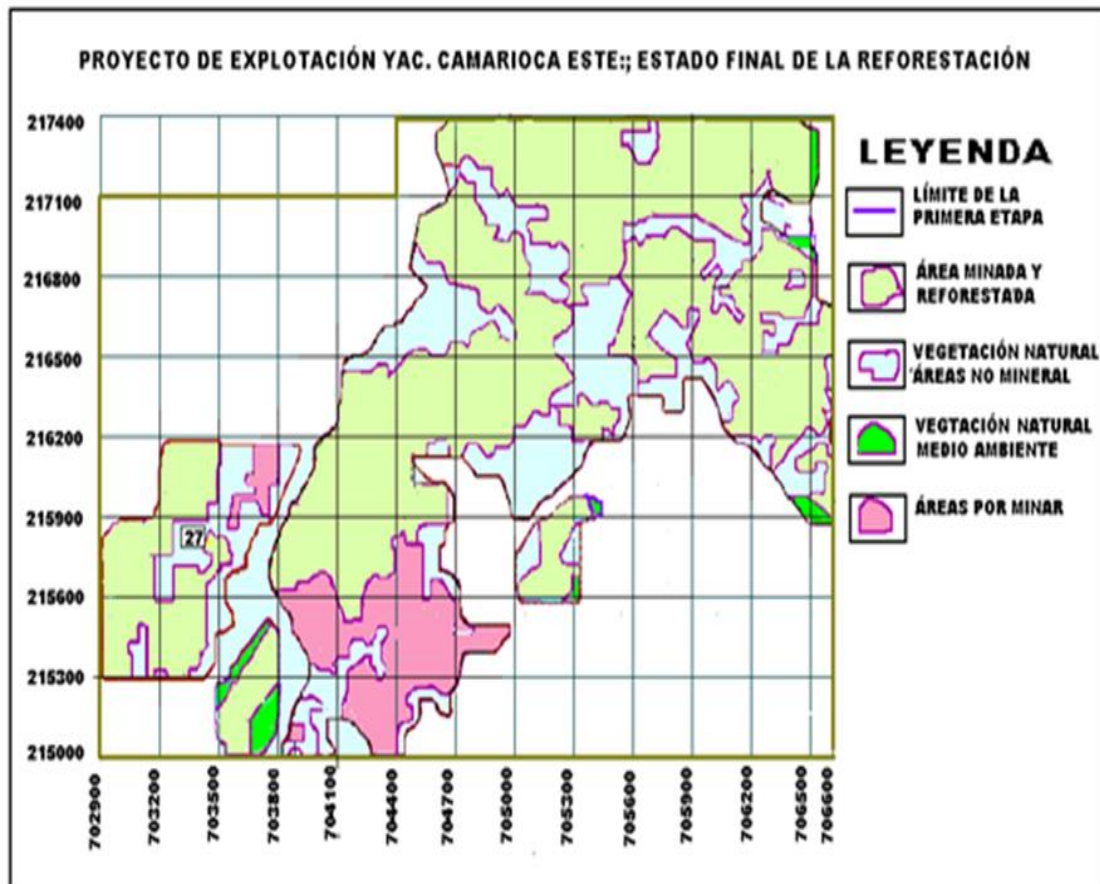


Figura 3.5 Estado final de la reforestación.

Los aspectos a monitorear son:

- La supervivencia y desarrollo de las diferentes especies.
- La efectividad en la protección del suelo y tiempo en lograrlo.
- El proceso erosivo y la formación de cárcavas.
- La compatibilidad entre especies.
- La aparición de plagas y enfermedades.
- La influencia de la preparación técnica del terreno en los dos primeros aspectos.
- Las cuencas hidrográficas y calidad de las agua a la salida de la mina.

Para una mejor comprensión del proceso de rehabilitación técnica y biológica, así como para la protección contra los procesos erosivos y la

protección de las cuencas hidrográficas, se han añadido fotos de trabajos realizados con anterioridad en otros yacimientos (ver anexo 8).

3.8 Principales impactos ambientales producidos por el proyecto de rehabilitación

Para la evaluación de los impactos se utilizó la matriz de causas y efectos, adaptada para el proyecto de rehabilitación minera. En la misma se relacionan las acciones del proyecto y los impactos que producen, así como los componentes ambientales que se afectan.

Los componentes ambientales e impactos que los afectan son:

1. Aire

- Aumento del polvo en la atmósfera durante la ejecución del proyecto.
- Aumento de la cantidad de gases producto de la combustión durante la ejecución del proyecto.
- Aumento de la producción de oxígeno y reducción de CO₂ después de restaurada

2. Aguas

- Reducción de los azolves en suspensión.
- Reducción del escurrimiento superficial
- Almacenamiento
- Aumento de la infiltración

3. Suelos

- Acercamiento a la morfología natural
- Reducción de la erosión por la rehabilitación.
- Mayor oxigenación por la des compactación

4. Flora y Fauna

- Recuperación a mediano y largo plazo de la vegetación con especies maderables y frutales.
- Incorporación de plantas herbáceas
- Atracción de aves e insectos con la vegetación gracia a las áreas rehabilitadas.

5. Paisaje

Se crea un entorno visual agradable a la vista, en las áreas degradadas por la minería.

Tabla 3.7 Matriz de evaluación de impactos ambientales del proyecto de rehabilitación

| Acciones del proyecto | EMISIONES DE POLVO A LA ATMÓSFERA | RUIDO | VIBRACIONES | RESIDUOS | AGUA | PAISAJE | BIODIVERSIDAD | CONTAMINACIÓN DEL SUELO |
|---|---|-------|-------------|----------|------|---------|---------------|----------------------------|
| Retirada del suelo | X | X | | X | | X | X | X |
| Acondicionamiento del hueco | X | X | X | X | | | | X |
| Gestión del agua | | | | X | X | | | |
| Relleno de huecos | X | X | | X | | | | X |
| Integración de frentes y taludes | X | X | X | X | | | | |
| Acondicionamiento de escombreras y coleras | X | X | | X | X | | | X |
| Demolición de estructuras y depósitos | X | X | X | X | | | | X |
| Reconstitución del suelo | X | X | | X | | | | |
| Reposición de la vegetación | X | X | | X | X | | | |
| Señalización y cerramiento | | | | X | | | | |
| Mantenimiento y control | | X | | X | X | | | |

3.9 Evaluación socio-económica del proyecto de rehabilitación

Para la evaluación socio-económico del proyecto de rehabilitación se tuvo en cuenta el volumen de trabajo, equipos y materiales necesarios para su realización.

Los trabajos contemplados en este acápite son únicamente los destinados al cierre de la mina: conformación final de relleno, subsolación, construcción de trincheras antierosivas, construcción de diques – filtros y reforestación.

Los trabajos de relleno con escombros y su conformación preliminar para la preparación técnica, las lagunas de sedimentación y regulación y los colectores perimetrales no se contemplan ya que forman parte de la tecnología de extracción y el destape.

La rehabilitación técnica y la reforestación se realizarán con el avance de la minería hasta llegar a la etapa de cierre, lo cual abarca un área total de 262,15 hectáreas, que deben concluirse en el 2029. En la tabla 3.8 se da el volumen de trabajo para la construcción de los diques-filtros. En la (tabla 3.9) se muestra el volumen de trabajo para la preparación técnica del terreno y en la (3.10) los insumos necesarios para la construcción de los diques y la preparación técnica y biológica, los presupuestos y gastode la rehabilitación minera se indica en la (tablas 3.11).

Tabla: 3.8 Volumen de trabajo para la construcción de los diques filtros

| Construcción de diques- filtro para la protección de las cuencas hidrográficas | | | | |
|--|-------------------|----------------|---------|-------|
| Tipo de trabajo | Equipo empleado | U/m | Volumen | Horas |
| Transporte de escombros | Camión articulado | m ³ | 29950 | 450 |
| Transporte de grava | Camión articulado | m ³ | 5151 | 235 |
| Sub- total | Camión articulado | m ³ | 35101 | 685 |
| Excavación | Retroexcavadora | m ³ | 29950 | 133 |
| Conformación del relleno | Bulldózer | m ³ | 29950 | 120 |
| Corte, relleno y explanación | Bulldózer | m ³ | 15000 | 178 |
| Acomodo de la grava | Bulldózer | m ³ | 5151 | 22 |
| Sub total | Bulldózer | m ³ | 50101 | 320 |
| Compactación de los diques | Compactador | m ³ | 50101 | 604 |
| Carga de grava | Cargador frontal | m ³ | 5151 | 152 |

Proyecto de Explotación Minera del Yacimiento Camarioca Este

Tabla 3. 9Volumen de trabajo para la rehabilitación técnica del terreno

| Conformación del terreno, subsolación, y construcción de trincheras antierosivas | | | | |
|--|------------------|----------------|---------|-------|
| Tipo de trabajo | Equipo empleado | U/m | Volumen | Horas |
| Conformación del terreno | Bulldózer | m ³ | 786000 | 480 |
| Escarificación | Bulldózer | Hectáreas | 262,15 | 873 |
| Sub- total | Bulldózer | | | 4523 |
| Trincheras antierosivas | Retroexcavadoras | m ³ | 47160 | 265 |

Proyecto de Explotación Minera del Yacimiento Camarioca Este

Tabla 3.10Insumos totales, para la rehabilitación y cierre de mina

| Insumos para la rehabilitación y protección de las cuencas, hasta el cierre | | |
|---|----------------|----------|
| Descripción | U/m | Cantidad |
| Posturas de pinus cubensis | unidad | 656375 |
| Motas de synodom dactylum, u otras rastreras | unidad | 328187,5 |
| Materia orgánica para árboles y herbáceas | ton | 2022,08 |
| Tubos de 500 mm de diámetro para los diques-filtros | m | 720 |
| Tubos de 150 mm de diámetro para las lagunas | m | 400 |
| Grava o rechazo del beneficio del mineral para diques | m ³ | 5151 |
| Combustible diésel | litro | 105012 |

Proyecto de Explotación Minera del Yacimiento Camarioca Este

Tabla 3.11 Presupuestos de los costos de la rehabilitación minera

| Costos estimados de las actividades del plan de rehabilitación | | | |
|---|---------------|-----------|--------------|
| Año | \$/ ha | ha | Pesos |
| 2016 | | | |
| 2017 | 21941 | 17,92 | 393183 |
| 2018 | 21941 | 19,72 | 432677 |
| 2019 | 21941 | 27,54 | 604255 |
| 2020 | 21941 | 18,86 | 413807 |
| 2021 | 21941 | 10 | 219410 |
| 2022 | 21941 | 24,67 | 541284 |
| 2023 | 21941 | 23,9 | 524390 |
| 2024 | 21941 | 19,68 | 431799 |
| 2025 | 21941 | 13,46 | 295326 |
| 2026 | 21941 | 23,25 | 510128 |
| 2027 | 21941 | 24,77 | 543479 |
| 2028 | 21941 | 18,2 | 399326 |
| 2029 | 21941 | 20,18 | 442769 |
| Total | | 262.15 | 5 973 438 |

Proyecto de Explotación Minera del Yacimiento Camarioca Este

Desde el punto de vista socio-económico el plan de rehabilitación de yacimiento Camarioca Este provoca un impacto social positivo ya que constituye una gran fuente de empleo para los trabajadores designados a la realización de los trabajos de rehabilitación.

CONCLUSIONES

1. La aplicación adecuada del proyecto de rehabilitación minera elaborado permitirá la correcta recuperación de las áreas dañadas por la explotación del yacimiento Camarioca Este.
2. La descripción del proyecto de explotación y la caracterización del medio físico del yacimiento Camarioca Este, sirvieron de base para la selección del uso futuro de las zonas a recuperar.
3. Las acciones del proyecto de rehabilitación del yacimiento Camarioca Este, causarán impactos negativos y positivos que a mediano y largo plazo producirán mejoras significativas sobre el medio ambiente.
4. Desde el punto de vista socio-económico el proyecto de rehabilitación de yacimiento Camarioca Este provocará un impacto social positivo, fundamentalmente porque constituye una importante fuente de empleo.

RECOMENDACIONES

1. Estudiar la factibilidad de la aplicación de la tecnología de hidrosiembra en este yacimiento para la rehabilitación de taludes muy abruptos.
2. Realizar investigaciones para establecer los criterios de rehabilitación adecuada para los yacimientos lateríticos.

BIBLIOGRAFÍA

- 1.- ADAMS, W. M. (1990). Green development: environment and sustainability in third world. London, Routledge. En. Notas de clases dictadas en el *II curso internacional de aspectos geológicos de protección ambiental*, Campiñas, SP, Brasil del 5 al 20 de junio de 2000.
- 2.- *Agenda 21*. [en línea]. [Consultado: 2017-03-22]. Disponible en: <http://www.vitiria-gasteiz.org/>
- 3.- ALAYA CARCEDO, F. et al. (1989). *Manual de restauración de terrenos y evaluación de impactos ambientales en minería*. Serie Ingeniería Geo Ambiental I.T.G.E. Madrid: Ministerio de Industria y Energía.
- 4.- BITAR, O.Y. (1997). *Avaliação das áreas degradadas por mineração na região metropolitana de São Paulo*. Tese (Doutoramento) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. 185 p.
- 5.- CEPRONIQUEL (2015). *Proyecto de explotación minera del yacimiento Camarioca Este de la empresa C.M.D.C.G.* 73 p.
- 6.- CEPRONIQUEL (2014). *Proyecto de rehabilitación minera de áreas minadas de la Empresa C. M. D. C. G.* 20 p.
- 7.- CESIGMA. (septiembre, 2003). Estudio de impactos ambientales para la explotación del yacimiento Camarioca Este, Tomo I y II. La Habana.
- 8.- COLUMBIÉ H., T. (2003). *Estudio de impacto ambiental del proyecto de explotación de los años 2002-2005 del yacimiento Punta Gorda*. Tesis de Maestría ISMM.

- 9.- CONESA FERNÁNDEZ VITORA, V. (2000). *Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental*. 3 ed. Madrid: Mundi-Prensa, 2000.
- 10.- COPA LAVANT, W. (marzo, 2007). Informe geológico final de la explotación del yacimiento Camarioca Este por la red 33,33x33,33, en los bloques 1951; 1952; 2051; 2052; 2150; 2151;2152;2251; Tomo I.99p.
- 11.- CUBA. (1995). Ley 76 de Minas, enero de 1995.
- 12.- CUBA. (1997). Ley No. 81 del Medio Ambiente, 11 de julio de 1997.
- 13.- CUBA. (1998). Ley No 85 Forestal, agosto de 1998.
- 14.- *Ecología para la rehabilitación de áreas afectadas por la minería en Moa*.
(2002). Folleto. 19 p.
- 15.- *Fomento a la Forestación Recuperación de Suelos Degradados*. CONAF. *Región del Maule* (1991). [en línea]. [Consultado: 2017-04-18]. Disponible en <http://www.gaf.cl>
- 16.- *Guía ambiental minería del carbón a cielo abierto*. (1998). [en línea]. [Consultado: 2017-03-12]. Disponible en: http://www.upm.gov.co/guía.ambiental7carbón7gestión7guías7min_cab7contenid/#INDICA DORGESTIONAMBIENTAL44
- 17.- *Guía de restauración de graveras*. (1997). Madrid: Instituto Tecnológico Geológico de España. Serie: Geoambiental.
- 18.- GUILARTE ALPAJÓN, D. (2005). *Propuestas de factores e indicadores de manejo ambiental para las escombreras de los yacimientos lateríticos en la región de Moa*. Tesis de especialidad. Moa, ISMM.
- 19.- GUILARTE ALPAJÓN, D. Consideraciones esencial para la proyección de una rehabilitación minera sustentable en los yacimientos lateríticos. [en línea]. [Consultado: 2017-03-12]. Disponible en:

http://www.portaldelmedioambiente.com/html/gestorarticulos/docs/minera_sustentable.pdf.

- 20.- GUILARTE ALPAJÓN, D. Control de la erosión en escombreras níquelíferas. [en línea]. [Consultado: 2017-05-17]. Disponible en: http://www.portaldelmedioambiente.com/html/gestor_articulos/descargas/Control_de_la_erosion_en_escombreras_niqueliferas.pdf
- 21.- MADARIAGA, Y.; et al. (Marzo, 2007). Informe de la explotación detallada por la red 33,33 x33, 33 m actualización del yacimiento Camarioca Este: proyecto para el estudio geológico del yacimiento Camarioca Este. empresa C. M. D. C. G. tomo I.
- 22.- *Manual de ingeniería de taludes*. (1991). Madrid: Instituto Tecnológico Geominero de España. Serie de ingeniería geoambiental.
- 23.- *Manual de recuperação das áreas degradadas pilas mineração*. (1990). Técnicas de revegetação. Brasília: IBAMA. 96 p.
- 24.- *Manual de restauración de terrenos y evaluación de impactos ambientales de minería*. (1989). Madrid: Instituto tecnológico geominero de España.
- 25.-MAYES, W.N.; et.al. (2009). A national strategy for identification, prioritisation and management of pollution from abandoned non-coal mine sites in England and Wales: methodology development and initial results. Science of the Total Environment. 407 p.
- 26.- MUNDELE, P.D. (2001). *Características e influencia de los trabajos de explotación en el entorno ambiental de la región "Empresa Comandante Ernesto Che Guevara"*. Trabajo de diploma, ISMM, Moa.
- 27.- NACIONES UNIDAS. (1992). *Agenda 21, cumbre de la tierra*. Río de Janeiro.

- 28.- POLANCO ALMANZA, R. (2003), Programa de control de Erosión y Sedimentación en la Empresa Moa níquel s.a. Pedro Sotto Alba. Memorias GEOMIN, La Habana: TGMNI-112.
- 29.- Projetos de recuperação: usos futuros e a relação com a comunidade. (1994). En: *Encontro de mineração no município de São Paulo, 1, 1994*. São Paulo. Anais... São Pulo: Sar/pmsp/Epusp, v. 1, p. 53-83.
- 30.- *Rehabilitación minera en 2001*. [en línea]. [Consultado: 2017-03-12]. Disponible en: http://www.alcoa.com.au/environment/bib_internet.pdf
- 31.- RODRÍGUEZ, R.; LINARES, R. y SALVADO, V. (2009). *Causas de los grandes desastres medioambientales producidos por la industria minero - metalúrgica a nivel mundial. Consecuencias ecológicas y sociales*.
- 32.- RODRÍGUEZ, R. y ACERO, P. (2007). *Impacto y riesgo ambiental de las actividades minero- metalúrgicas*. Madrid: Instituto geológico y minero de España. 377 p.
- 33.- RODRÍGUEZ PÉREZ, J. (1998). Recursos minerales y alterables. En: *Geología Ambiental*. La Habana: ISPJAE. p.119 -130.
- 34.- RODRÍGUEZ SEVILLA, X. (2004). Metodología para la rehabilitación de áreas degradadas por la minería en el yacimiento Punta Gorda. Trabajo de Diploma. ISMM, Moa.
- 35.- SUÁREZ DÍAZ, J. (1998). Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Colombia: Universidad Industrial de Santander, UIS. 548 p.
- 36.- *Tarea técnica para la aprobación de micro y licencia ambiental de los nuevos yacimientos, Yagrumaje Oeste*. (Febrero 2005).

37.- UNIÓN FENOS. (2005). *Cierre técnico de la mina de Meirama, 10 de febrero del 2005*. [en línea]. [Consultado: 2017-04-23]. Disponible en:

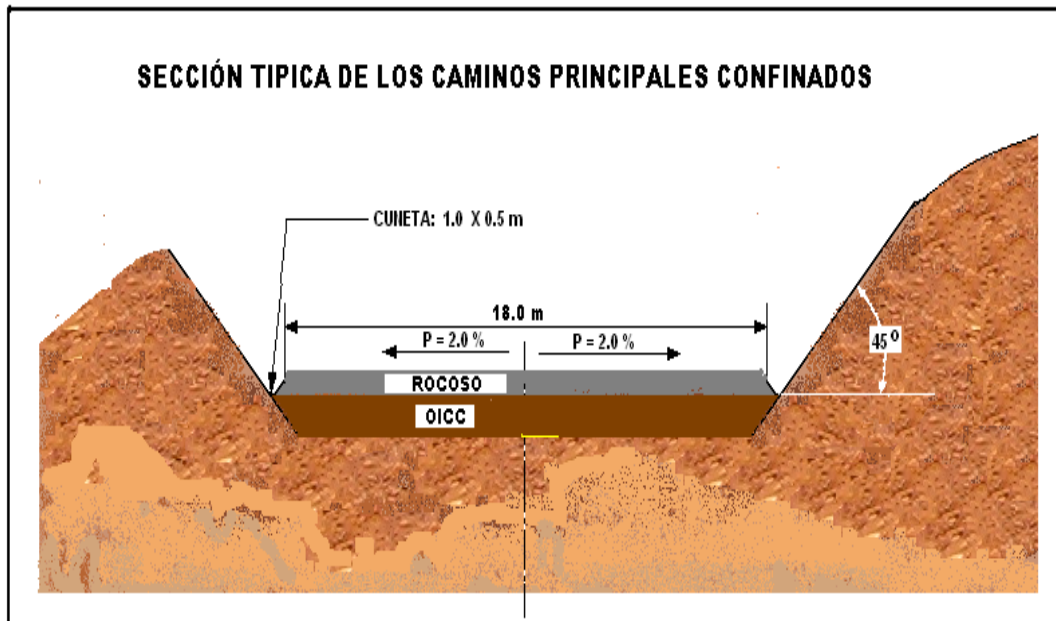
http://www.Ingenierosdeminas.org/docu/documentos/cierre_tecnico.pdf

38.- URBINO, J. Y DÍAZ, B. (2011). "Rehabilitación ambiental minera, una opción holística". En: *IV Congreso cubano de minería, cierres de minas y pasivos mineros ambientales. IV Convención cubana de Ciencias de la Tierra, GEOCIENCIAS 2011*. La Habana: Sociedad Cubana de Geología. 39.- YOUNGER, P., BANWART, S. and HEDIN, R. (2002). *Mine water. hydrology, pollution, remediation*, Kluwer. Dordrecht: Academic publishers. Series: Environmental pollution. 464 p.

ZIPPER, C. and JAPE, C. (2001). *Passive treatment odd acid- mine drainage with vertical- flow systems*. En: *Reclamation guidelines for surface mined Land Southwest, Virginia*. EU: Virginia Co. p. 460-133.

ANEXOS

Anexo 1 Cuneta.



Anexo 2 Éxito de la reforestación



Anexo 3 Suelo contaminado por las labores mineras



Anexo 4 Establecimiento de una cubierta vegetal



Anexo 5 Especies más abundantes

| Nombre científico | Nombre común |
|-------------------------------|----------------------|
| <i>Acrosynanthus revoluta</i> | Jaragua |
| <i>Bactris cubensis</i> | Pajuá |
| <i>Bonnetia cubensis</i> | Manguillo |
| <i>Calophyllum utile</i> | Ocuje Colorado |
| <i>Cameraria latifolia</i> | Maboa de Montaña |
| <i>Carapa guianensis</i> | Nagesí |
| <i>Cecropia peltata</i> | Yagruma |
| <i>Chimarrhis cymosa</i> | Hilacho |
| <i>Clusia rosea</i> | Cupey |
| <i>Crotus moensis</i> | s/n |
| <i>Cycathea arborea</i> | Helecho Arborescente |
| <i>Dioymophanx morotonii</i> | Yagruma Macho |
| <i>Dracena Cubensis</i> | Dracena |
| <i>Euphorbia helenae</i> | Jazmín de pinar |
| <i>Garcinia polyneura</i> | Manajú Cimarrón |
| <i>Garcinia revoluta</i> | Manajú |
| <i>Gautteria brainii</i> | Purio Fangar |
| <i>Guatteria moralesii</i> | Purio Prieto |
| <i>Hyeronima nipensis</i> | Sangre de Docella |
| <i>Jacaranda arborea</i> | Abey |
| <i>Malpighia coccigera</i> | Palo Bronco |
| <i>Metopium pigra</i> | Guao |
| <i>Ocatea cuneata</i> | Canelón |
| <i>Pera ekmanii</i> | Jiquí |
| <i>Pinus cubensis</i> | Pino |
| <i>Piper ossanum</i> | Guayuyo |
| <i>Podocarpus aristulatus</i> | Sabina Cimarrona |
| <i>Protium baracoe</i> | Incienso |

| | |
|-------------------------------|----------------|
| <i>Protium cubense</i> | copal |
| <i>Protium fragans</i> | Incienso |
| <i>Redia revoluta</i> | Manajucillo |
| <i>Sideroxylon jubilla</i> | Jubilla |
| <i>Smilax havanensis</i> | Ñame Chino |
| <i>Terminalia nipensis</i> | Cacao Cimarrón |
| <i>Terminalia orientensis</i> | Pomada |
| <i>Xilopia ekmanii</i> | Yararey |

Anexo 5. Fauna

Rata Negra (*Rattus rattus* L.)



Perro Jíbaro (*Canis lupus familiaris* L.)



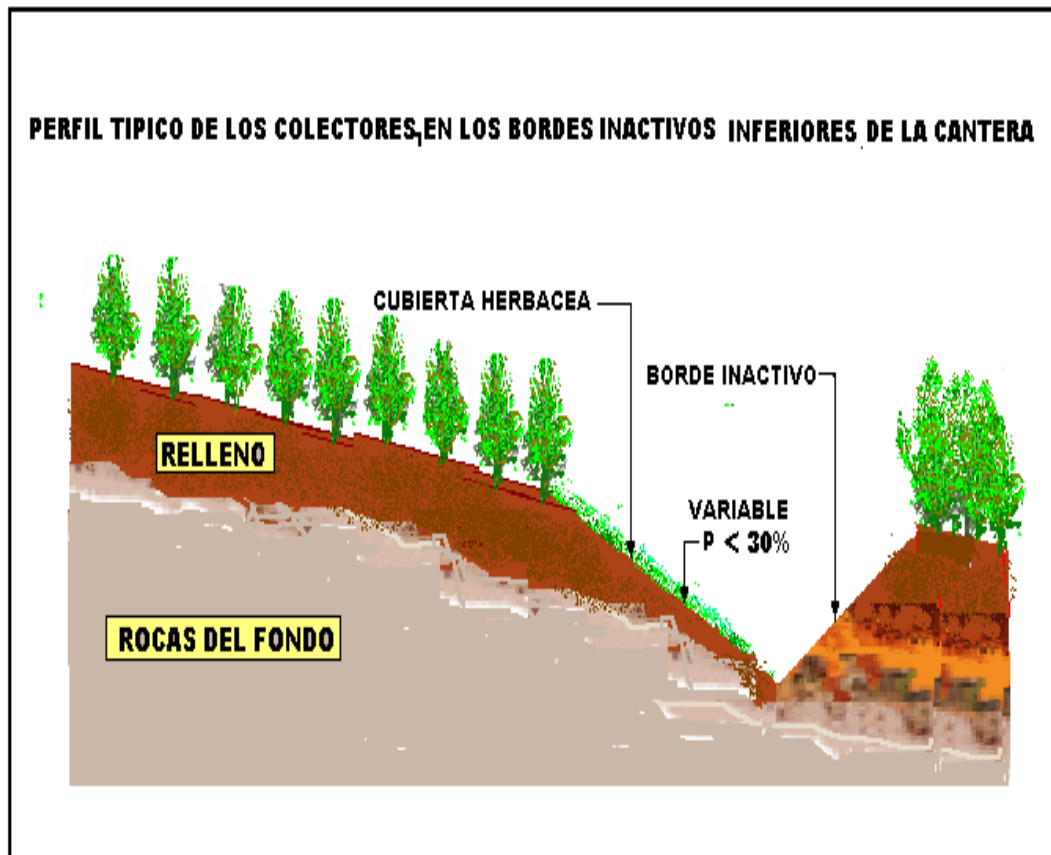
Gato Jíbaro (*Felis silvestris catus* L.)



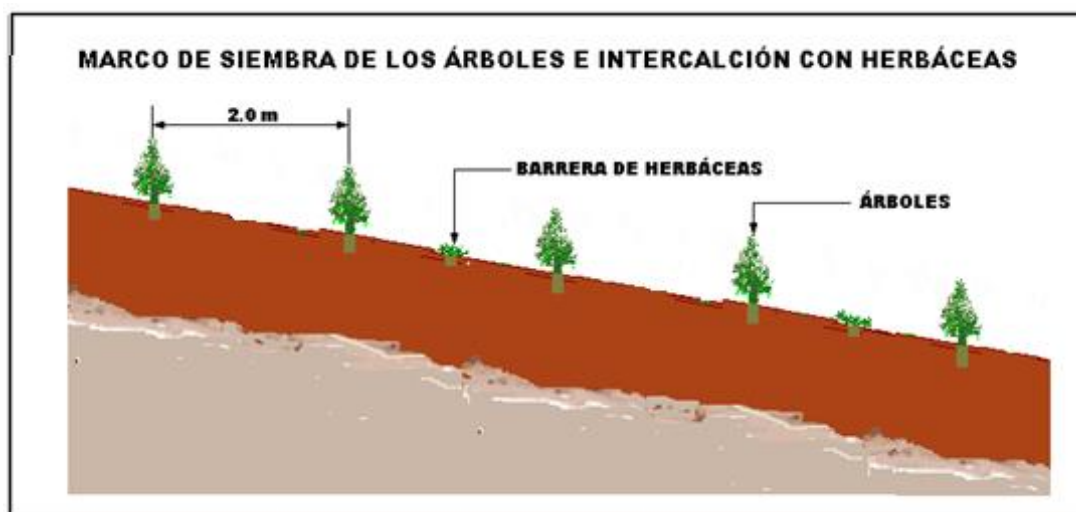
Puerco cimarrón (*Sus scrofa*)



Anexo 6. Perfil típico de un colector perimetral



Anexo 7. Arco de siembra de los árboles y las barreras de herbáceas



Anexo 8. Fotos de trabajos realizados con anterioridad en otros yacimientos





PROTECCIÓN CONTRA LA EROSIÓN CON ROCAS



PROTECCIÓN CONTRA LA EROSIÓN CON MADERA

