

REHABILITACIÓN AMBIENTAL MINERA



Jacobo Urbino Rodríguez
Berthá Díaz Martínez
Sergio Sigarreta Vilches

ISBN 978-950-312-240-5

CISAT - CEPRONIQUÉL - IES
GEF-PNUD

PROCEDIMIENTOS DE LA REHABILITACIÓN AMBIENTAL MINERA.

Autores: Jacobo Urbino, Bertha Días y Sergio Sigarreta.

REHABILITACIÓN AMBIENTAL MINERA.

Concepto y particularidades de la RAM

Se debe recordar que la Rehabilitación Ambiental Minera (RAM) “es el proceso por el cual se garantiza el restablecimiento eficaz y eficiente de todos los componentes del medio ambiente (abióticos, bióticos y socioeconómicos) en un espacio destruido o devastado por la minería a cielo abierto y que permite la obtención de ecosistema ambientalmente autosostenible (Urbino, 2011).

Toda Rehabilitación Ambiental (RA) de un área determinada es un problema altamente complejo y por lo tanto lo que se van a dar son también soluciones altamente complejas en el tiempo y en el espacio. Por ello, el éxito de la misma depende del conocimiento y análisis del todo previo a dicha rehabilitación.

Cada área tendrá características comunes a otras áreas, pero también tendrá características específicas que la distinguen de las otras, de ahí la importancia de realizar actividades previas para conocer en detalle las particularidades de un área determinada y para ello es necesario la realización de estudios o investigaciones previas para lograr una efectiva ejecución de la Rehabilitación Ambiental.

Podemos considerar que la misma está formada por dos partes; la Rehabilitación Ecológica y la Rehabilitación Socioeconómica. La primera tratará la rehabilitación de los recursos Fisicogeográficos y Biogeográficos (Rehabilitación Ecológica) y la segunda la rehabilitación de los recursos Socioeconómicos, lo que incluye la restauración de la actitud del hombre hacia la naturaleza, la cual se debe realizar al inicio de cualquier proyecto minero.

En el capítulo se pondrá énfasis en la Rehabilitación Ecológica.

Objetivo del capítulo.

El objetivo fundamental del capítulo actual es el de decir de una forma lo más sencilla y comprensible posible del **cómo debemos hacer las cosas** para realizar con éxito una rehabilitación ambiental minera de excelencia. Son expuestos en el capítulo los procedimientos para la elaboración y aplicación de un **Proyecto de Rehabilitación Ambiental (RAM)** para un área devastada por la actividad minera a cielo abierto, en especial para regiones mineras de alto valor de biodiversidad.

COMPONENTES DE UN PROYECTO DE REHABILITACIÓN ECOLÓGICA MINERA (REM).

Componentes.

Todo Proyecto de REM tiene tres partes fundamentales; una de Investigación Aplicada (IA), otra correspondiente a la Investigación Geológica- Minera (IGM) y la otra a la elaboración y ejecución del Proyecto Ejecutivo (PE).

Un PE que no haya sido precedido de una IA y una IGM de calidad posiblemente no será un proyecto efectivo, aunque si puede ser un proyecto eficiente. En la práctica actual la industria minera de países subdesarrollados o en vías de desarrollo no se le da la suficiente importancia a la IA y a la IGM como estrategia básica para alcanzar el desempeño ambiental deseado durante todo el proceso de Rehabilitación Ecológica (RE) de las áreas devastadas.

La IA, la IGM y el PE están indisolublemente unidos y de la correcta interrelación que se haga de sus componentes dependerá en gran medida el éxito del desempeño ambiental y hasta productivo en cualquier empresa o compañía minera. La IA y la IGM ofrecerán una base segura y será un excelente punto de partida para la elaboración y puesta en marcha de un PE de Rehabilitación Ecológica (Fig.V.1.)

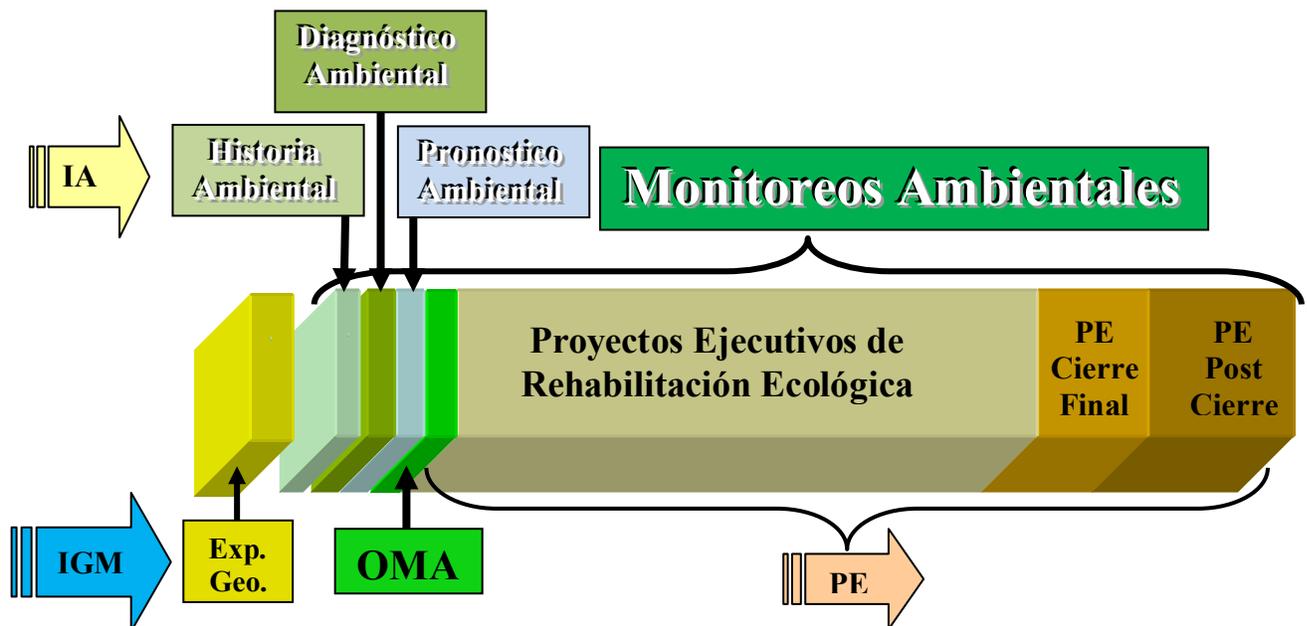


Fig. V.1. Interrelación entre las actividades de Investigación Aplicada, la Investigación Geológica Minera y el Proyecto Ejecutivo.

IA = Investigación Aplicada
 IGM = Investigación Geológica - Minera
 Exp. Geo. = Exploración Geológica

OMA = Ordenamiento Minero Ambiental
 PE = Proyecto Ejecutivo.

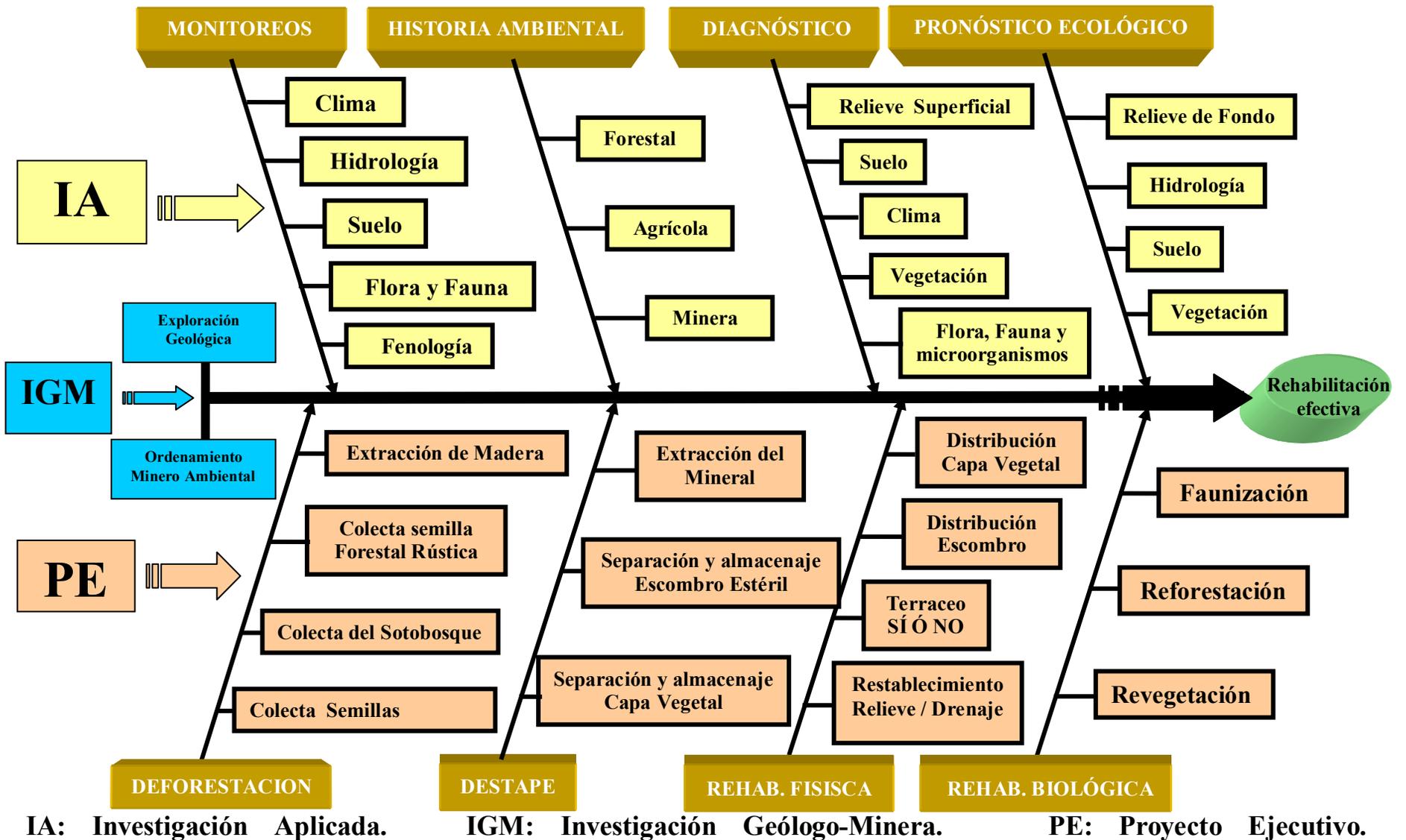
Un Proyecto de Rehabilitación Ecológica Minera comprenderá toda una serie de pasos (Fig.V.2.),

los cuales son imprescindibles realizar si se quiere obtener un restablecimiento eficaz de un ecosistema deseado, sea similar al original o sea un ecosistema de remplazo.

A continuación se presenta un modelo que dice como se deben realizar todas las etapas y pasos necesarios para la elaboración de un Proyecto de Rehabilitación Ecológica de áreas devastadas por la minería a cielo abierto. En este modelo, la etapa del Proyecto Ejecutivo (PE) sus pasos parten de los trabajos presentados por Ward (1997).

Estos pasos se expresan en el siguiente modelo:

Fig.V.2. Modelo de un Proyecto de rehabilitación Ecológica Minera a cielo abierto.



PROCEDIMIENTOS.

INVESTIGACIÓN APLICADA.

Fundamentación.

La Investigación Aplicada antes de la puesta en marcha de cualquier proyecto minero es un factor importante para lograr el manejo eficaz y eficiente de todas las actividades del proyecto, tanto de la actividad propiamente minera como de la actividad medio ambiental y en especial la ecológica. Cuanto mayor sea el conocimiento de todos los procesos y elementos que intervendrán en el proyecto minero, mayor será la posibilidad de éxito de todas las actividades del mismo.

Según Ward (1997), la IA antes de la explotación minera es un factor importante en la elaboración de un programa eficaz de rehabilitación. Por ejemplo plantea que “los datos de la vegetación y de la fauna, previa a la explotación, son una base de referencia para medir el desempeño de la actividad de rehabilitación ecológica dado un tiempo determinado. La investigación será imprescindible para determinar las especies de la flora a usar para la rehabilitación al igual que para definir la ecología de las especies autóctonas y la biología de las semillas, tanto de especies arbóreas, arbustivas y herbáceas, así como los mecanismos de establecimiento vegetal y las simbiosis entre organismos”. Otro ejemplo es el conocimiento que se debe tener sobre el potencial biológico del horizonte “A” del suelo, elemento importantísimo para el éxito del proceso de rehabilitación ecológica en función de la conservación.

La IA deben ejecutarla en lo fundamental especialistas en las diferentes materias de interés y que generalmente hay que contratarlos a entidades fuera del marco de la propia empresa, no obstante, los ejecutivos al frente de la actividad ambiental de toda entidad productiva minera deben tener conocimiento sobre cuáles y cómo deben ejecutarse las temáticas y actividades referentes a la IA, lo cual les permitirá controlar y de cierta forma dirigir el desarrollo de las actividades científicas en función de la minería propiamente dicha, pues se ha observado que en múltiples ocasiones los resultados de esta etapa no satisfacen los intereses prácticos de la actividad minera; por ejemplo, los Estudios de Impacto Ambiental no son más que una IA, sin embargo, generalmente satisfacen las expectativas de los decisores que determinarán si un proyecto o actividad minera se puede o no realizar desde el punto de vista ambiental, pero en la mayoría de las veces los resultados no responden a las necesidades concretas operativas de la empresa en materia de medio ambiente. Por ello es importante que dichos ejecutivos conozcan o tengan cultura con cierto detalle de que se debe y cómo se deben hacer las actividades del IA en un proyecto minero, lo cual además de favorecer una mayor efectividad, facilita también una mejor eficiencia y con ello la disminución de los costos, pues los resultados obtenidos se ponen realmente en función de las operaciones de la entidad productora.

La IA en función de la Rehabilitación Ecológica tiene 4 actividades fundamentales:

1. Monitoreo Ecológico.
2. Historia Medioambiental.
3. Diagnóstico Ambiental.
4. Pronóstico Ecológico.

1. Monitoreo ecológico.

El éxito de un programa de Rehabilitación Ambiental Minera depende en gran medida del conocimiento de la dinámica de los factores ecológicos que se expresan en el tiempo en ecosistemas naturales o de reemplazo de referencia y en los que se van obteniendo. Este incluirá el estudio de la evolución de los Recursos Fisicogeográficos y Biogeográficos del yacimiento. Es por ello que el objetivo principal del monitoreo ecológico es conocer el funcionamiento a corto y mediano plazo de los ecosistemas y sus componentes que serán devastados o bien los que serán restablecidos en un área determinada, lo cual permitirá a las empresas mineras la planificación más exacta de las diferentes actividades operativas y ambientales que garantizarán el desarrollo minero, así como el propio control periódico de las actividades ambientales. Por ejemplo, “permitirá conocer las mejores épocas de destape de los yacimientos desde el punto de vista climático y biológico, las mejores épocas de extracción del mineral en función de las precipitaciones, las mejores épocas de colección de semillas en función de la rehabilitación biológica” (Ward, 1997), o bien permitirá conocer la eficacia de la propia Rehabilitación Ecológica a través del tiempo.

Los procesos ecológicos se manifiestan en el tiempo, por lo cual es necesario asumir periodos más o menos prolongados para poder definir con exactitud los factores ecológicos que componen o hacen posible la existencia de los ecosistemas. Es mediante los monitoreos ecológicos que podemos describir o determinar los factores que permiten el desarrollo o no de dichos ecosistemas.

Como optimo un monitoreo ecológico debe comenzar por lo menos de 3 años antes del inicio de la explotación de un yacimiento dado, a no ser que existan monitoreos efectuados con anterioridad en el área de interés realizado por otros motivos. Los resultados de un monitoreos pueden formar parte de los Estudios de Línea Base Ambiental.

Los planes de monitoreos deben presentarse lo más detallados posibles, lo cual da también cumplimiento a la legislación referente a los Estudios de Impacto Ambiental y estos deben ser diseñados y controlados por especialistas en la materia.

Cada tipo de monitoreo debe tener los procedimientos operativos en detalle, lo cual garantiza la calidad y seguridad de los mismos.

Los elementos mínimo indispensables a conocer en un proceso de monitoreo ecológico para un proyecto minero son; el clima, la hidrología, los componentes físico y biológicos del suelo, el comportamiento de la flora, y la fauna en algunos casos.

Monitoreo climático.

Los monitoreos climáticos son relativamente sencillos y contemplarán todo el ciclo de vida del proyecto, comenzando como mínimo



Fig. V.3. Estación meteorológica automatizada. (Pinares S. A.. 1998).

3 años antes de la Extracción del Mineral. Su término puede concluir o bien con el agotamiento del mineral o bien con el Cierre Final de Minas. Para un proyecto minero es de suma importancia conocer el régimen de precipitaciones, pues además de la importancia ambiental que tiene este parámetro, es definitorio para el manejo de las operaciones mineras en los yacimientos.

Este monitoreo puede realizarse mediante la instalación de una Estación Meteorológica Automática, cuyos datos se complementarán con los resultados obtenidos de las Estaciones Meteorológicas Oficiales más cercanas al yacimiento.

Este monitoreo debe realizarse de la siguiente forma:

- a) Mediciones de la temperatura, precipitación, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, y si es posible incluir radiación solar. Lo ideal para un monitoreo climático es instalar estaciones automáticas (Fig.V.3.) lo más cercana posible al área central de un yacimiento minero las cuales pueden medir a intervalos diferentes según el interés del proyecto.
- b) Los datos obtenidos por las estaciones automáticas durante los 3 primeros años serán comparados y correlacionados con datos de la estación meteorológica permanente más próxima al área del yacimiento para un periodo a largo plazo.
- c) Para estaciones no automatizadas la frecuencia de las observaciones serán diarias en diferentes horarios del día, haciendo hincapié en los registros de precipitación, por lo cual se debe procurar instalar equipos de registro continuo, como hidrómetros (gráficos o digitales), pues este es el parámetro más determinante en el manejo de la minería, sobre todo si es a cielo abierto, de lo contrario se instalará un pluviómetro. Las frecuencias diarias de las mediciones para estaciones no automatizadas, se realizarán cada 3 horas en un horario a partir de la 7 PM en la etapa de invierno, o sea, 7.00 PM., 10.00 PM, 1 AM, 4 AM, 7 AM y 10 AM, 1 PM, 4 PM y de nuevo 7 PM. En horario de verano el horario de mediciones comenzará a partir de las 8 PM y se medirá también cada 3 horas. Para el caso de los pluviómetros, las mediciones serán realizadas también cada tres horas, pero al final del día, o sea a las 7 u 8 PM se sumará la lluvia caída. En etapas de eventos meteorológicos extremos (tormentas severas y huracanes) todas las mediciones se realizarán con intervalos de 1 hora (información ofrecida por el M. Sc. Jorge Proenza Velázquez y el Tec. Carlos Mendoza Valiente, ambos especialistas en Pronóstico Meteorológico del CPMH*).

* Centro Provincial de Meteorología de Holguín

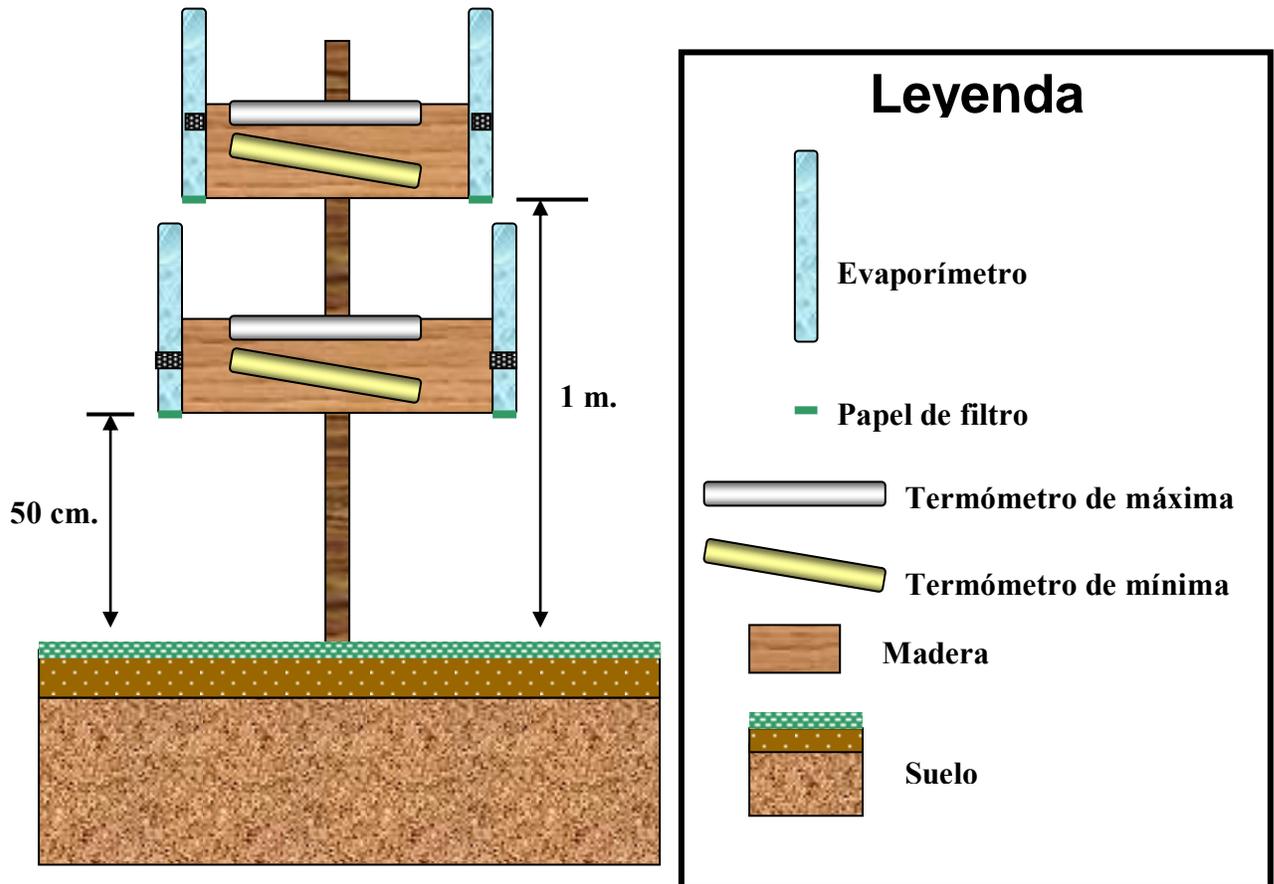
- d) Con los datos obtenidos se caracterizará el clima del área mediante programas especializados para ello, bien sean por medios convencionales o por programas computarizados.

Si se precisa de datos microclimáticos, sobre todo para determinados ecosistemas, será necesario complementar la caracterización climática con estudios del microclima. Para la realización de estudios microclimáticos será necesario construir e instalar en un sitio de interés una o varias torres microclimáticas (Herrera et al. 1989) de no más de 1.50 m. de altura, en las cuales se emplazarán termómetros normales, termómetros de máxima y termómetros de mínima, así como se emplearán psicrómetros para la determinación de la humedad relativa y evaporímetros de Piché para determinar la evaporación atmosférica (Fig.V.4.).

De ser posible se instalará un anemómetro en lo alto de la torre de medición. Las mediciones se efectuarán en los mismos intervalos que las mediciones meteorológicas normales.

Si se tiene suficiente presupuesto se pueden comprar e instalar Estaciones Meteorológicas Microclimáticas automáticas en los ecosistemas de interés.

Fig. V.4. Torre de mediciones microclimáticas.



Las mediciones microclimáticas son muy empleadas para correlacionarlas con parámetros ecológicos de determinados ecosistemas y son un término de referencia para medir el desempeño ambiental de la rehabilitación ecológica, pues uno de los objetivos de la rehabilitación es el restablecimiento del microclima hasta niveles similares al del ecosistema original.

Monitoreo hidrológico.

Los monitoreos hidrológicos son complicados y contemplarán todo el ciclo de vida del proyecto minero, comenzando como mínimo 3 años antes de la Extracción del Mineral. Su término puede concluir en la etapa de Postcierre Minero, aunque este puede concluir en aquellas áreas o microcuencas donde el ecosistema esté totalmente estabilizado. El monitoreo hidrológico en una mina tiene dos objetivos fundamentales; a) conocer el funcionamiento del sistema hidráulico del

yacimiento para garantizar un buen manejo operativo de las actividades mineras durante la extracción del mineral y b) conocer el estado hidrológico antes y después de la explotación minera para evaluar el desempeño ambiental del proyecto de rehabilitación ecológica del yacimiento o cuerpo minero.

El monitoreo hidrológico debe realizarse de la siguiente forma:

- a) Determinar o seleccionar Red de Monitoreo que contemplará toda la cuenca hidráulica del área de influencia directa e indirecta del proyecto minero. Estos monitoreos contemplarán tanto las aguas superficiales como las subterráneas y se realizará una primera etapa de monitoreo por un año, la cual permitirá optimizar la red de monitoreo para los siguientes años. Para el monitoreo de las aguas subterráneas si fuera necesario se debe construir una red de pozos profundos de “tubos” que vallan desde la superficie del suelo hasta el sustrato rocoso.
- b) Los parámetros a monitorear son físicos y químicos en general y en algunos casos si así se requiere, se incluirán parámetros biológicos. Los elementos a monitorear son; sólidos disueltos, sólidos en suspensión, DQO y DQB, conductividad del agua, pH, temperatura y calidad química del agua. Se deben determinar además volumen de agua / unidad de tiempo para cursos de aguas superficiales (aforos). Para el caso de las aguas subterráneas, se debe monitorear además el nivel piezométrico del agua, así como realizar aforos de las mismas en la época de lluvia y la época de sequía.
- c) Los monitoreos en general se realizarán una vez al mes. De ser posible se pueden instalar estaciones automáticas de monitoreo en determinados puntos de la red superficial de agua.
- d) Se tomarán muestras de agua en pomos esterilizados, las cuales se trasladarán al laboratorio según determinados requisitos de conservación de dichas muestras. Los elementos químicos a determinar en el laboratorio serán según las necesidades de la “Norma Cubana de calidad de agua” (para el caso de Cuba).

Monitoreo del suelo.

El monitoreo del suelo se efectuará en áreas en proceso de Rehabilitación Ecológica, el cual durará hasta tanto el ecosistema no se estabilice totalmente.

El monitoreo de suelo nos permitirá conocer la evolución del estado físico, químico y biológico a través del tiempo de un suelo en un área o punto determinado.

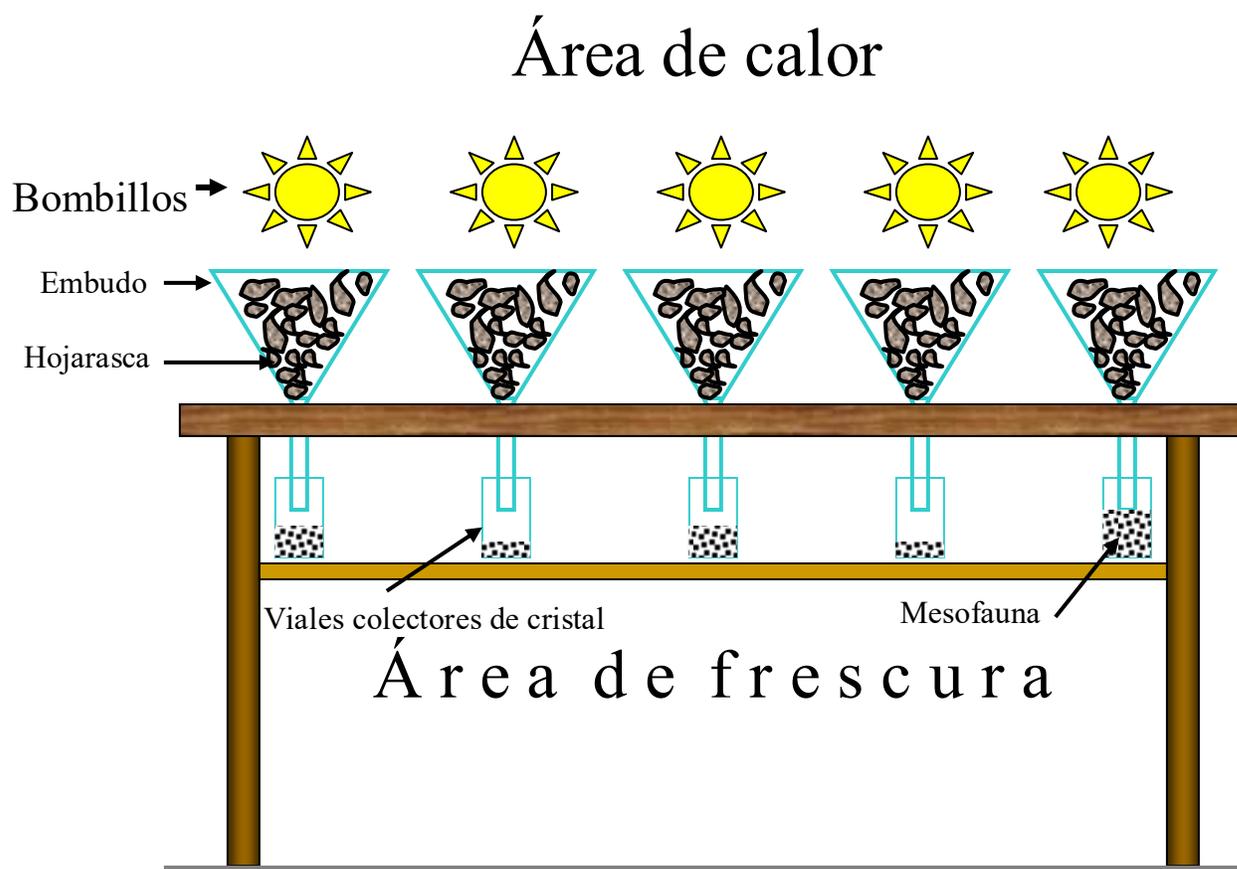
Para un proyecto de Rehabilitación Ecológica el monitoreo del suelo debe considerar en primer lugar el espacio que se va a monitorear, que para el caso será la microcuenca donde se localiza precisamente el área que está en proceso de rehabilitación. Son 3 elementos fundamentales que se deben monitorear; (a) erosión, (b) nutrientes del suelo y (c) dinámica de la materia orgánica del suelo. Puede incluirse (d) la formación de los perfiles del suelo.

- a) Monitoreo de la erosión.

- Para el monitoreo de la erosión general se ubicara una trampa receptora a la salida de varios cursos de aguas de la microcuenca, en la cual se recogerá una muestra de agua con los sólidos en suspensión contenidos en las corrientes de agua. La frecuencia del muestreo será dos veces durante la etapa de lluvia (al final de aguaceros) y dos veces en la etapa de seca. Las muestras serán llevadas al laboratorio para determinar el volumen y peso de los sólidos en suspensión y el contenido de elementos químicos.
 - Para la erosión se seleccionarán parcelas de 5 m.² en aquellos lugares con peligro de erosión o bien donde sea ya un hecho la misma. Para esta actividad se enterrarán en las áreas de interés determinada cantidad de postes o cabillas, a las cuales se le medirá periódicamente la distancia entre el extremo aéreo de la cabilla y el punto de contacto con el suelo. Para el caso de las cárcavas pequeñas se medirán periódicamente las dimensiones de la misma, que incluyen largo, ancho y profundidad. Para macro cárcavas el cálculo será por estimación o por una sección transversal de la misma. Es de destacar que durante el periodo lluvioso, se puede producir una acumulación de los sólidos arrastrados en las parcelas e inclusive en algunas cárcavas.
- b) Monitoreo de nutrientes y Ph.
- Los monitoreos de nutriente podrán hacerse una vez al año y debe realizarse a mediados del periodo seco, que es cuando el suelo está más o menos a tempero.
 - Para el análisis de los nutrientes serán seleccionadas en el terreno parcelas cuadradas de 5 m.² y en la misma se tomarán 5 muestras, cuatro correspondiente a cada esquina de la parcela y una en el centro, las cuales se mezclarán en un solo recipiente para realizarle el correspondiente análisis químico. Para la toma de la muestra se empleará un cilindro colector de suelo de 10 cm. de diámetro por 10 cm. de largo, con el cual se coleccionará una muestra del horizonte “A”. El análisis químico incluirá macroelementos y microelementos, así como el Ph de la muestra. Puede incluir este análisis el contenido de materia orgánica en el suelo y características físicas del suelo.
 - El monitoreo de nutrientes comenzará una vez realizada la implantación de la vegetación en el área devastada y se extenderá hasta que el ecosistema sea considerado por especialistas como estabilizado ecológicamente y pueda entregarse al propietario final.
- c) Monitoreo de la materia orgánica y de la biota del suelo.
- Este monitoreo se efectuará en ecosistemas naturales ya establecidos o en ecosistemas en proceso de rehabilitación ecológica. Este puede iniciarse hasta 3 años antes de iniciarse la explotación minera. Este monitoreo también se efectuará a partir de la implantación del ecosistemas.
 - La frecuencia de ambos elementos será de dos veces al año, un muestreo al final del periodo lluvioso y otro casi al final del periodo seco, o sea para Cuba, octubre y abril respectivamente.
 - Para el muestreo de la mesofauna (biota) del suelo se recogerán en el campo muestras de la hojarasca no descompuesta y en proceso de descomposición localizadas sobre el suelo, la cual

se depositará en bolsitas de nylon, que serán llevadas al laboratorio para ponerlas en un Tungler (Fig.V.5.), que en lo fundamental consiste en poner dicha hojarasca en embudos de cristal, con calor y luz por arriba y fresco por la parte de abajo del embudo. El objetivo de la toma de estas muestras es el de conocer la evolución de la diversidad de la mesofauna del suelo. Un suelo con mayor número de especies de la mesofauna, será un suelo mejor estructurado biológicamente. Con el tiempo la mesofauna contenida en la hojarasca irá descendiendo huyendo de la luz y el calor, hasta caer en un vial con contenido de formol al 10 %, donde será recogida dicha mesofauna para la posterior clasificación taxonómica de la misma.

Fig. V.5. Tungler para coleccionar la mesofauna del suelo.



- Para el muestreo de la descomposición de hojarasca del suelo primero se confeccionarán bolsas de mayas de nylon de retículo de 1 ó 2 mm.². Las dimensiones de las bolsas serán de 10 x 10 cm. Estas bolsas en el campo se llenarán de hojarasca, las cuales se cerrarán y serán pesadas en un equipo de precisión. Posteriormente serán llevadas de nuevo al campo y se depositaran en las parcelas seleccionadas debajo o dentro de la hojarasca del ecosistema. En la misma frecuencia que los anteriores monitoreos, se coleccionarán periódicamente dichas bolsas, serán pesadas y depositadas de nuevo en los mismos lugares. Este proceso será por 3 años, en los cuales se obtendrá el record de la materia orgánica descompuesta y con ello se conocerá las tendencias de la dinámica de descomposición de la materia orgánica, lo cual es importante para definir parte del ciclo de nutriente de un ecosistema.

Monitoreo biológico.

Los monitoreos biológicos generalmente son muy complicados, pues ellos conllevan a la medición y observación en el tiempo de varios parámetros que varían según los objetivos del monitoreo. En general se realizarán sobre la vegetación, la flora y la vida silvestre (fauna). Su objetivo principal es conocer la evolución de la estructura de un ecosistema determinado en el tiempo o el funcionamiento de aquellos parámetros o elementos que pudieran utilizarse para determinar una exitosa Rehabilitación Ecológica. Sus resultados pueden utilizarse (1) para conocer que especies autóctonas pueden emplearse para el proceso de rehabilitación, (2) para determinar las mejores épocas de siembra o plantación, (3) para conocer las mejores épocas de destape de un yacimiento en función de la conservación de las interacciones biológicas del suelo y la vegetación, así como (4) para conocer las características de las distintas etapas de desarrollo de un ecosistemas y utilizarlas como referencias en la evaluación del desempeño ambiental del proceso de rehabilitación ecológica.

Los monitoreos biológicos pueden ser: Estructural, Fitocenológico, Fenológico (flora), Productividad Primaria (vegetación), Vida Silvestre (fauna) y otros.

a) Monitoreo estructural del ecosistema.

Este monitoreo consistirá en conocer cómo se forman o comportan los diferentes estratos de la vegetación en el tiempo, o sea, como se van formando el o los estratos arbóreos, los estratos arbustivos y el estrato herbáceo. Puede incluir las diferentes sinucias de la vegetación, como plantas trepadoras, plantas rastreras, plantas epifitas y plantas parásitas.

Generalmente los bosques naturales que se desarrollan en yacimientos mineros tienen varios estratos, por lo cual un ecosistema en proceso de rehabilitación debe ir incrementando tanto el número de estratos como la calidad de ellos, esto último determinado por el número de especies autóctonas de la flora y por su cobertura respecto al suelo, por lo cual conocer la estratificación de un ecosistema sirve para medir el desarrollo ecológico de una vegetación para un momento determinado.

b) Monitoreo fitocenológico.

Este monitoreo nos permitirá conocer la fitocenosis (dinámica de establecimiento de especies de la flora en el tiempo) de una vegetación determinada que fue disturbada por un evento determinado. Por ejemplo; se realiza una plantación de pino y posteriormente se van evaluando en diferentes épocas la flora acompañante que va desarrollándose en el sitio.

Los parámetros a medir pueden ser por ejemplo la composición florística, que consiste en saber la evolución de las especies de la flora en el tiempo, dando su valor espacial o peso fitocenológico en el ecosistema, los cuales será: 1, 2, 3, 4 ó 5; + ó r. Se complementará el trabajo observando la evolución de los estratos de la vegetación, como arbóreos, arbustivos y herbáceos, así como la cobertura de la vegetación por especies, por estratos o total, lo cual se dará en %.

Su importancia para la minería radica que nos permite medir periódicamente la efectividad del proceso de Rehabilitación Ecológica referente al desarrollo de su flora y vegetación. Este monitoreo se efectuará de la siguiente forma:

- Selección de las parcelas de monitoreo en un bosque o plantación determinada, las cuales podrán ser definidas por su tamaño de: 1 m.², 5 m.², 10 m.², o hasta 20 m.². Las de 1 m.², se emplearán para medir vegetación herbácea, las de 5 m.², para vegetación arbustiva y las de 10 a 20 m.², para vegetación boscosa (Ponce, 1999). Samek (1973) define, según estudios de Área Mínima, que el área para el estudio de un bosque de pino en Pinares de Mayarí es de 20 m.². (ver métodos de estudio de vegetación).
- Los parámetros a medir son diversidad de especies de la flora, cobertura de cada especie y cobertura de cada estrato, todo para un tiempo determinado. Para la determinación de la cobertura podrá emplearse el método de parcelas puntuales que se explica más adelante.
- La frecuencia de las observaciones en campo podrán realizarse al final de la época de lluvia y al final de la época de seca, de esta forma podremos conocer cómo se van estableciendo, desapareciendo o reapareciendo las especies de la flora.
- El tiempo de duración del monitoreo debe ser cuando se considere que el ecosistema disturbado haya alcanzado la estabilidad ecológica en cuanto a estratos, cobertura y número de especies autóctonas fundamentalmente.
- Todos los años se debe elaborar un informe de la investigación.

Para optimizar este monitoreo, si es posible se debe complementar con mediciones climáticas periódicas en el sitio de muestreo, como temperatura, precipitación, radiación, humedad relativa y otras.

c) Monitoreo fenológico.

La Fenología se realizará para conocer los principales estadios biológicos de una flora determinada, o sea, época de botonación, de floración, de fructificación, de maduración y caída de dichos frutos. Conocer estos estadios nos permite planificar de forma óptima el manejo de los yacimientos, en especial nos permite (a) conocer en que épocas del año se puede hacer el destape del yacimiento, afectando de forma mínima las interacciones biológicas del suelo (floración y maduración de frutos). Con estos estudios se puede (b) conocer además las épocas de colectas de semillas para actividades futuras de rehabilitación o (c) mejores épocas para chapear el sotobosque con alto contenido de semillas u otros propágulos o bien para su utilización como coberturas de protección del suelo.

Para los estudios fenológicos, recomendamos también hacerlos de forma grupal, o dicho de otra forma, de varias o de todas las especies de la flora contenidas en una parcela determinada, lo cual nos permitirá conocer en qué época del año hay mayor número de especies con frutos maduros, listos para caer al suelo y así determinar con exactitud la mejor época de destape del yacimiento.

Para el caso de los yacimientos níquelíferos de Cuba, se ha podido determinar que la mejor época del año es la época de seca, o sea de marzo a abril, por el alto potencial biológico del suelo, pues es cuando más semillas y otros propágulos de la vegetación están en estado de latencia en el suelo (Dr. Alberto Álvarez, comunicación personal). Desde el punto de vista del manejo agroforestal del suelo, el destape se debe realizar cuando el suelo esta a tempero, o sea, ni muy seco ni muy

húmedo, pues de lo contrario, se puede afectar la estructura del suelo.

Se considera que en estos meses de seca, la mayoría de las semillas u otras formas de propagación de la flora están almacenadas y en latencia en el suelo.

El monitoreo fenológico debe realizarse de la siguiente forma:

- Selección del tipo de vegetación que queremos monitorear.
- Selección de las parcelas, especies e individuos que vamos a observar durante el monitoreo, señalando los individuos con una chapa preferiblemente.
- La frecuencia del monitoreo será de al menos 1 vez por mes, durante 3 años como mínimo. Lo óptimo es una vez por semana.
- Se debe observar la botonación, la floración, la fructificación, la maduración y la caída de los frutos. Si es posible observar y tomar datos de los insectos, aves y mamíferos que visitan las flores y los frutos maduros lo cual permitirá conocer la forma de dispersión de sus semillas. El horario de las observaciones será preferible en las mañanas.
- Elaboración del informe de investigación al final de cada año y uno al final del monitoreo.

d) Monitoreo de productividad primaria.

Este monitoreo se debe comenzar en un bosque natural predisturbio, 3 años antes de iniciada la extracción de mineral y sus resultados servirán como referencia para medir posteriormente la eficiencia del bosque obtenido sobre todo en cuanto a producción de hojarasca.

Este monitoreo nos permite conocer cual es la producción de materia orgánica aérea seca de un ecosistema en un tiempo determinado, preferiblemente en 1 año.

La importancia de conocer la productividad primaria esta dado en que permite conocer cómo el bosque obtenido se ha acercado al bosque original en cuanto a producción de biomasa, además nos brinda la posibilidad de conocer si de este bosque se puede extraer materia orgánica como fertilizante natural, así como medio de propagación de semillas autóctonas para otras labores de rehabilitación de otros sitios.

Tanto en bosques naturales como en bosques de reemplazo el monitoreo se efectuará de la siguiente forma:

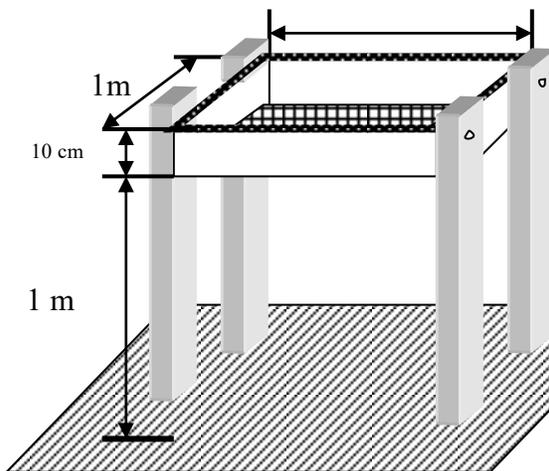
- Selección de las parcelas de monitoreo en un tipo de vegetación dado. Para un bosque de pino será de 20 m² (Samek, 1973), aunque otros autores consideran 10 m² (Oosting, 1956).
- Diseño y construcción de los colectores de hojarasca, los cuales podrán tener un área de 0.50 m.² o de 1 m.², ubicados a una altura entre 10 cm. y 1 m. (Fig.V.6.).
- Caracterización de la vegetación y flora de las parcelas a monitorear (ver metodología para

estudios de vegetación).

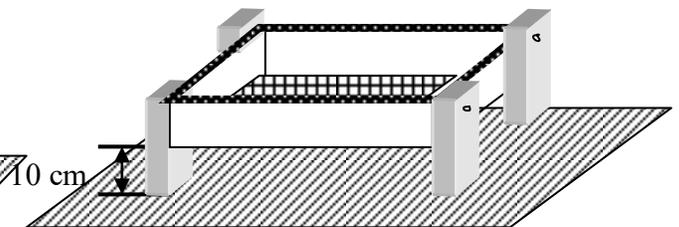
- Colocación de los colectores en las parcelas, los cuales ocuparan un área total del 5 % del área total de la parcela (L. Menéndez, com. pers.). Los de 1 m. de altura serán para el estrato arbóreo y los de 10 cm. para los estratos arbustivos y herbáceos.
- La frecuencia del monitoreo será 1 vez por mes o inmediatamente después de un evento meteorológico extremo (huracanes y fuertes vientos). El tiempo del monitoreo será por lo menos de 3 años.
- Colecta de la hojarasca por colector en bolsos de nylon.
- Secado del material colectado en estufa a una temperatura de 60° C por 3 días.
- Una vez secado el material, seleccionar las hojas y separar por especies si fuera necesario y posible.
- Pesar el material secado. Por especie y total.
- Confeccionar y llenar tablas con los datos obtenidos.
- Realizar análisis e informe con los resultados, sobre todo para determinar en peso la hojarasca producida por año.

Fig. V.6. Colectores de hojarasca.

Colector de hojarasca de 1m de altura para estrato arbóreo



Colector de hojarasca de 10 cm de altura para estrato arbustivo



2. Historia Ambiental.

La Historia Ambiental (HA) para un proyecto minero referenciará de cómo fue la asimilación del paisaje a través del tiempo por las actividades humanas, así de cómo fue la dinámica de esa asimilación. La HA debe referirse al momento que comenzaron los impactos del hombre sobre los recursos naturales de una región determinada.

La HA pretende con mayor o menor exactitud conocer quiénes fueron los actores principales y secundarios de las transformaciones, así como en que intensidad fue efectuada, y lo más importante, permitirá en muchas ocasiones definir hacia donde se quiere dirigir la futura asimilación de los paisajes a partir de la historia ambiental del sitio. La HA junto con el Diagnóstico Ambiental permitirá construir el Pronóstico Ambiental de los ecosistemas de un área determinada.

Para confeccionar o describir la HA se debe partir de la obtención de información sobre los recursos naturales y de los recursos socio - económicos pretéritos de un territorio determinado, que pueden estar en formas de mapas, esquemas e información escrita o verbal que permita conocer de cómo fue la dinámica de la transformación del paisaje. Lo primero que hay que hacer es visitar el área, buscar los habitantes más viejos y preguntar que bosques existía, que especies de la flora y que actividades económicas fundamentales han sido la causante de la transformación de los paisajes en la región. Para las regiones mineras del níquel en Cuba las actividades fundamentales han sido la actividad forestal, la pecuaria, la agrícola y la minera.

Actividades de la Historia Ambiental.

Para el caso de Proyectos Mineros como mínimo es necesaria la realización de las siguientes tareas o actividades:

Tabla V.1. Actividades de la Historia Ambiental de territorios.

No.	Actividad	Objetivo de la actividad
1	Obtención de información socio – económica.	Conocer quiénes, responsabilidad e intensidad de las transformaciones del paisaje.
2	Obtención de información sobre recursos naturales en determinados periodos históricos, por ejemplo; recursos hidrológicos, recursos de vegetación y forestales, especies de la flora, recursos de fauna, recursos del suelo y recursos del clima entre otros.	Conocer el estado de los recursos naturales para un tiempo determinado, así como la cantidad y calidad de los mismos.
3	Confección de mapas temáticos como; mapas de vegetación, suelo, hidrología y otros. Ejemplo de ello es la confección de mapas de vegetación que van desde la vegetación original, hasta los mapas de la vegetación existente en diferentes etapas. Lo mismo sucede para la Hidrología y el Uso del Suelo.	Conocer la dinámica de las transformaciones del paisaje.

4	Obtención de información sobre los principales impactos ambientales y sus causas	Conocer históricamente los impactos que significativamente han ocasionado transformaciones desfavorables para el medio ambiente, así como sus causas e intensidad.
---	--	--

3. Diagnóstico Ambiental.

Caracterización Fisicogeográfica.

Clima.

El diagnóstico de Clima debe contemplar los mismos elementos vistos con anterioridad en la etapa de Monitoreo de Clima.

Relieve superficial.

Es necesario tener conocimiento lo más exacto posible del relieve antes de ser afectada el área por la actividad minera, al menos es necesario contar con mapas de esta temática a una escala 1: 10 000. Este aspecto, además de darnos información de cómo es en la actualidad las topografías del terreno, lo cual es útil para su utilización en la construcción de instalaciones mineras y en la construcción de caminos y trochas mineras, nos permite tener una referencia para comparar la dinámica del relieve y poder reconstruir este recurso después de explotado el yacimiento, de tal forma que encaje con el relieve del entorno del área que no será afectada.

Suelo.

Lo principal de esta etapa es conocer los tipos de suelos existentes en el área, que para el caso de las lateritas níquelíferas de nuestro país son el Ferrítico Rojo Oscuro típico profundo o el Ferrítico Rojo Oscuro Hidratado, así como conocer su estado de conservación.

Los estudios de suelo deben realizarse principalmente en la etapa de Exploración Minera. Durante esta actividad se tomarán muestras de los diferentes horizontes del suelo que no tienen contenido mineral industrial, o sea del horizonte "A", del horizonte "B" y en ocasiones del horizonte "C". En minería en general estos horizontes se consideran como el "escombro", pero es necesario clasificarlos en Capa Vegetal (horizonte "A") y Material Estéril (ver ICT).

Caracterización Biogeográfica.

Vegetación y Flora.

Para el estudio de la vegetación y flora de un área de minería, lo primero que se debe hacer es un recorrido general por el área de interés, y a priori, determinar el número de formaciones vegetales o estadios de la vegetación existente en dicho sitio, de tal forma que nos permita planificar el futuro trabajo en la caracterización de la vegetación.

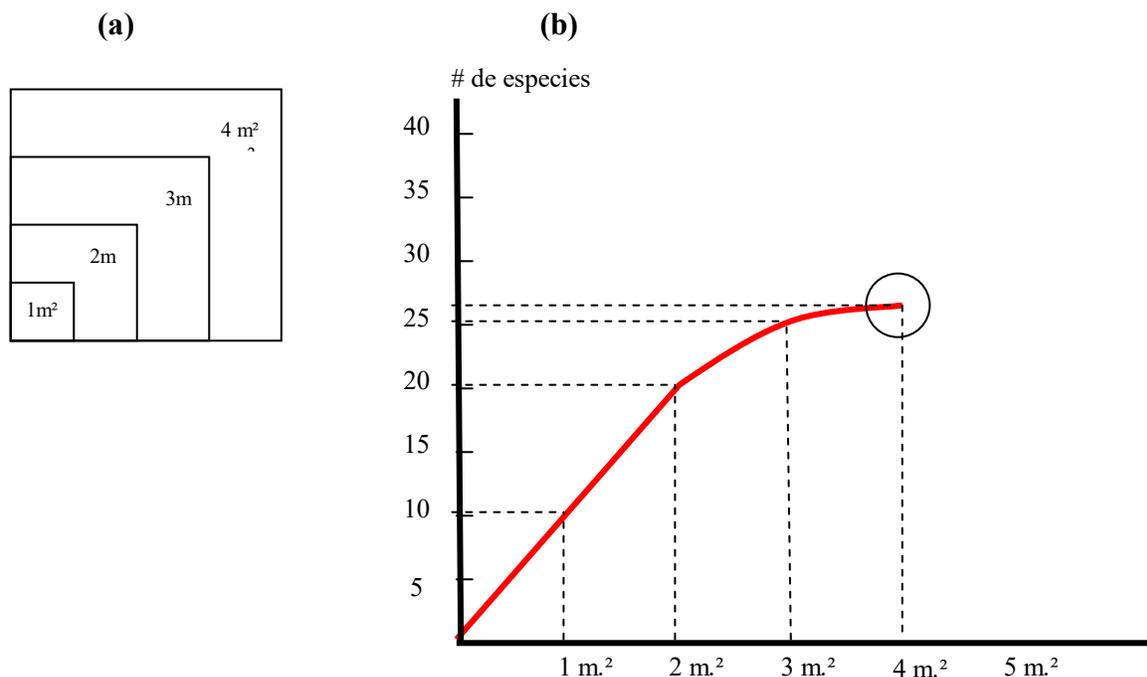
Para los estudios de vegetación se deben seleccionar un número determinado de parcelas por tipo o formación vegetal. El tamaño de las parcelas será según Oosting (1956). No obstante, para precisar con más exactitud el tamaño de la parcela se puede hacer un análisis de "Área Mínima".

Procedimiento para la determinación de Área Mínima.

- a) En la vegetación que se piensa estudiar, seleccionar 1 m.² y determinar el número de especies presentes en el área.

- b) A este metro cuadrado, añadir otro metro cuadrado y contar cuantas más especies nuevas se añaden al nuevo metro, y así sucesivamente añadir otros metros cuadrados (Figs.V.7a. y V.7b.) hasta que el valor del número de especies no crezca más. Este punto o constante corresponderá el tamaño de la parcela que nos debemos plantear.

Fig. V.7. Curva para determinar “Área Mínima”.



Procedimiento para la caracterización de la vegetación por el método de Parcelas Puntuales.

Previo a la aplicación de este método, se deben identificar los estratos de la vegetación, o sea, el estrato arbóreo, el estrato arbustivos y el estrato herbáceo, así como las sinucias de la vegetación (plantas rastreras, lianas, epifitas y parásitas).

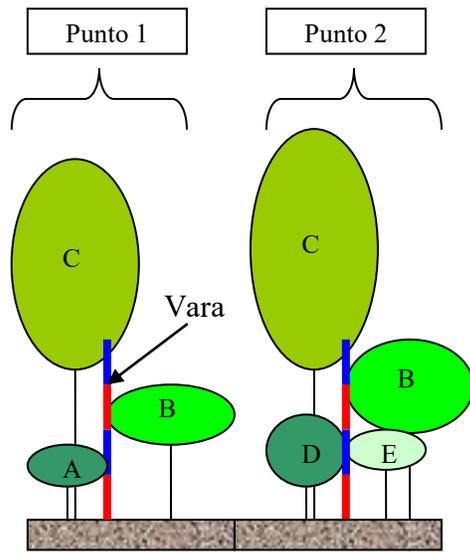
Para cada estrato se determinará su altura. De ser posible se realizará un perfil general de la vegetación a partir de un transepto de 2 metros de profundidad en la parcela seleccionada, y por último realizar la caracterización de la vegetación por el método de parcelas puntuales, aunque pueden utilizarse otros métodos menos exactos.

El método de parcelas puntuales en bosques o matorrales nos permitirá conocer semi-cuantitativamente la cobertura de cada especie dentro de la parcela, la cobertura de cada estrato y la total del ecosistema, así como la importancia fitocenológica de cada una de las especies (adaptación del método Daget y Poissonet J., 1969)

Para su utilización se debe proceder de la siguiente forma:

- Preparar una vara lo más recta, grande y de diámetro pequeño. Si se desea esta se puede graduar en centímetros y/o metros, lo cual nos ayudará en el trabajo para determinar las alturas de los diferentes estratos de la vegetación.
- Delimitar con cinta de demarcación o con una soga todo el perímetro de la parcela en cuestión. El área de la parcela coincidirá con el Área Mínima determinada anteriormente, o de lo contrario usar las dimensiones de Oosting (1956).
- Dentro de la parcela, calcular imaginariamente 50 puntos equidistantes tomados al azar de tal forma que cubran toda la parcela.
- En cada uno de estos puntos, (1) colocar la vara en forma perpendicular y al azar, (2) todas las plantas o partes de ellas (especies) que toquen con dicha vara, serán registradas para ese punto, o sea, este punto corresponde a una parcela puntual (Fig.V.8.). Así sucesivamente, hasta el punto 50, (3) se irán confeccionando los listados de flora de cada parcela puntual, los cuales se irán anotando en una libreta ó hoja preparada al efecto. Si la planta a observar es un árbol donde la vara no llega por su tamaño, calcular por aproximación si su prolongación toparía en algún punto con las hojas o ramas de dicho árbol, si topa, agregar dicha especie al listado del punto en cuestión. Cuando no sea posible determinar las diferentes especies de la flora presentes en la parcela, cada especie se le debe dar un número, coleccionarlas, herborizarlas y posterior llevarlas a un especialista en flora para su determinación, y así completar las listas de la flora de cada parcela. Es preferible que en esta operación participe un buen botánico conocedor de la flora del lugar.
- Se debe registrar además las características del punto de contacto de la vara con el suelo, o sea, si es un punto sobre hojarasca o sobre suelo desnudo. Esto nos dará al final el porcentaje en el área de hojarasca en el suelo y el porcentaje de suelo libre de hojarasca. Si en cada punto determinamos el grosor de hojarasca, podremos obtener un aproximado del volumen de hojarasca en la parcela.
- En el gabinete, con los datos obtenidos en el campo se confeccionará una tabla que nos permitirá conocer los porcentajes de cobertura de cada especie, así como el porcentaje general de la cobertura de la vegetación (Tabla V.2.),
- Con los porcentajes de cobertura, se puede confeccionar un gráfico de barra, lo cual nos permitirá determinar la importancia de cada especie o grupos de especies desde el punto de vista fitocenológico.
- Las especies que por su pobre abundancia o cobertura no fueron señaladas o tocadas en ninguna parcela, se añadirán en la lista final de la flora de la parcela y se valorará entre un 1 ó 2 % de cobertura, en dependencia de su abundancia observada a priori.
- Por último se confeccionará la tabla de evaluación de los factores (Tabla V.3.)

Fig. V.8. Método de Parcelas Puntuales.



Ejemplo de parcelas puntuales

La parcela puntual en el punto 1 esta compuesta por las especies A, B y C.

La parcela puntual en el punto 2 esta compuesta por las especies B, C, D y E.

Los valores obtenidos en el análisis de las Parcelas Puntuales se deben correlacionar con las características ecológicas del sitio donde está la parcela de estudio. Estas características pueden ser:

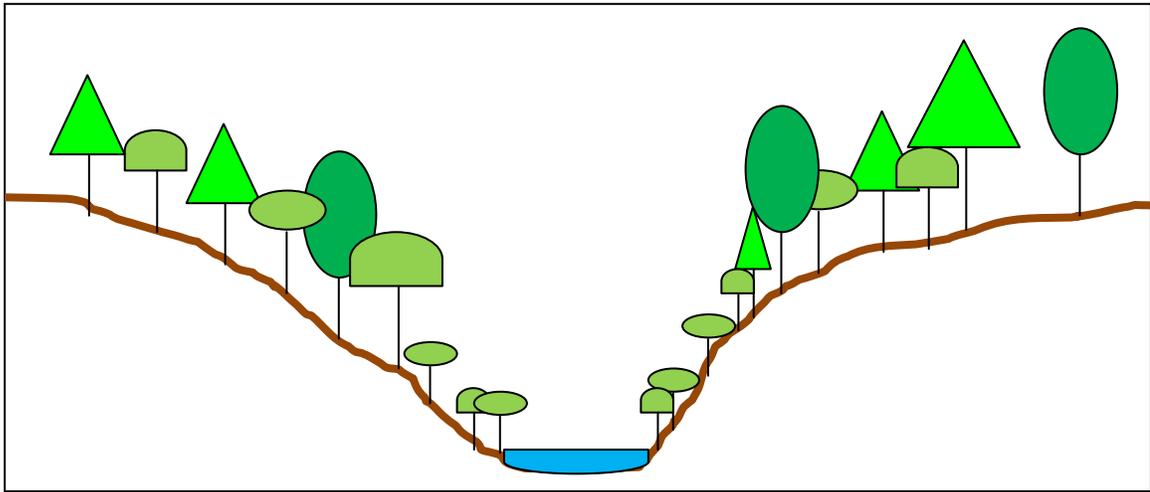
- Tipo de suelo.
- PH del suelo.
- Profundidad del suelo.
- Pendiente.
- Exposición.
- Grosor de la hojarasca en el suelo.
- Volumen de hojarasca sobre el suelo.

Estudio de vegetación por el método de transeptos de vegetación (Godron, 1971).

Se debe seleccionar un área de un ecosistema o tipo de vegetación lo más uniforme posible desde el punto de vista de la estructura, cobertura y composición florística posible, por ejemplo si es un área para la conservación, seleccionar entonces una zona bien conservada, si es un área afectada, seleccionar un área donde se manifieste bien el estado de deterioro de la vegetación. Hay que procurar que la vegetación y el área en sí sea lo más homogénea posible para el caso que sea la caracterización de una unidad de vegetación bien definida, si es un área donde queremos que se identifiquen los cambios de la vegetación en concordancia con el cambio de hábitat, entonces seleccionamos un área que represente bien ese cambio, por ejemplo el valle de un arroyo, donde se selecciona un área que incluya las laderas del arroyo y el arroyo en sí (Fig.V.9.).

El transepto podrá ser de 5, 10 o 20 metros de largo por 2 metros de ancho, en esta franja señalamos todas las especies incluidas en ella y las vamos dibujando en un plano, señalando por especie y por estimación su ubicación en el plano, la altura y su cobertura, posteriormente describimos los estratos de la vegetación y demás partes que conforman el ecosistema (lianas, epífitas, hojarasca en el suelo, y otras). Con ello obtenemos el gráfico del ecosistema deseado.

Fig. V.9. Transepto de la vegetación a orillas de un arroyo.



Listado de flora del transepto.

Pc: *Pinus cubensis*

As: *Ariadne shaferi*

Bp: *Bletia purpurea*

Gf: *Guettarda ferruginea*

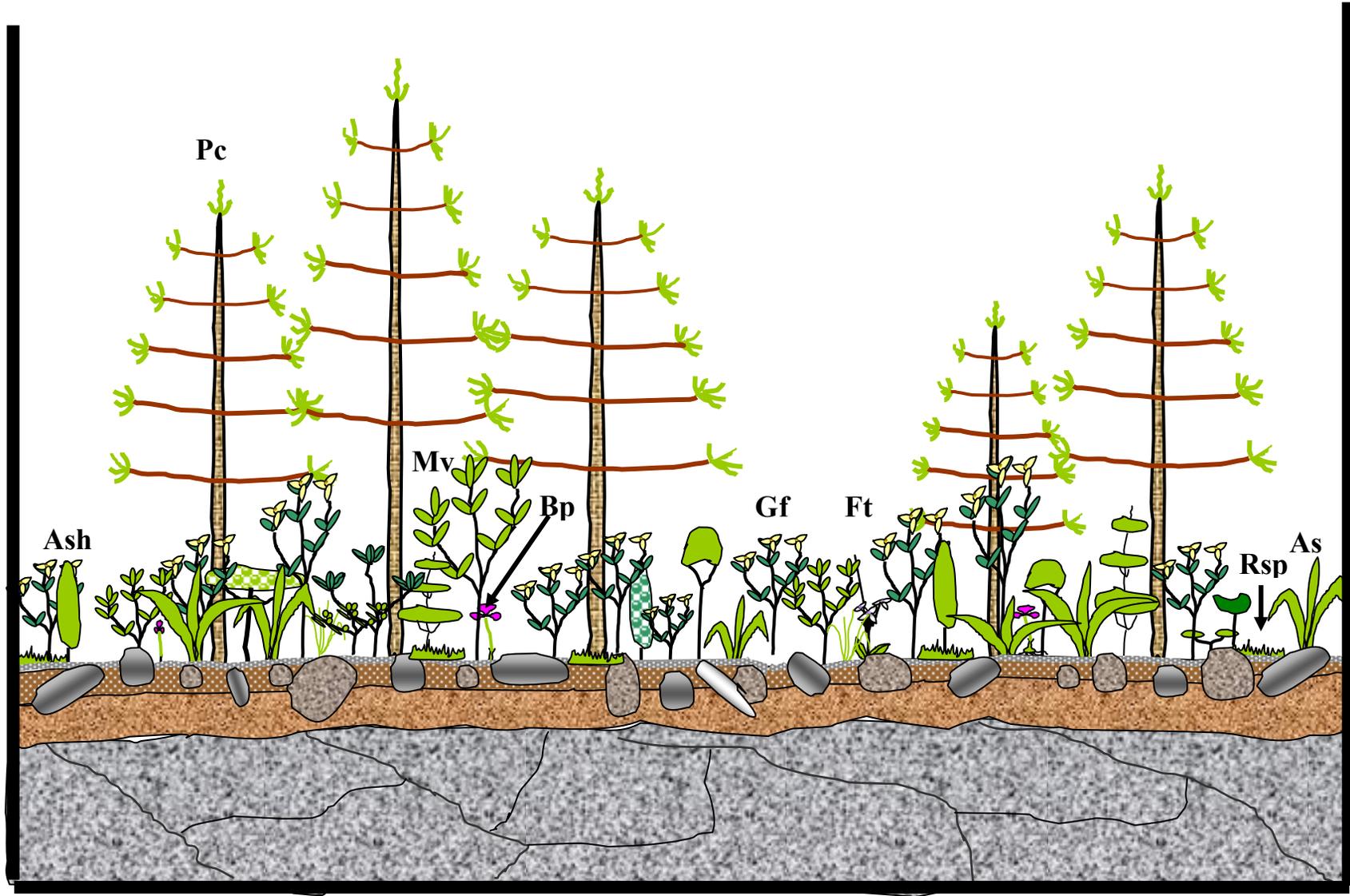
Ft: *Phallus tankervilleae*

As: *Agave shaferi*

Mb: *Metopium brownii*

Rsp: *Rhynchospora sp.*

Fig. IV.10. Ejemplo de una vegetación de un área homogénea elaborado por el método de transepto de vegetación



Estudios de Fauna o Vida Silvestre.

Con los estudios y manejo de la vegetación y la flora, se da inicialmente un paso importante en la conservación de la fauna, no obstante es necesario hacer diagnósticos de la fauna en un ecosistema determinado que será devastado por la actividad minera, pues este permitirá en un futuro conocer la calidad de los ecosistemas obtenidos referente a la fauna. En estos estudios al menos se debe inventariar la fauna, que para el caso se pueden utilizar las mismas parcelas donde se realizaron los estudios de vegetación.

Para las aves, se deben hacer dichos estudio en dos épocas del año, una coincidiendo con el periodo de más alto inmigración de las aves (diciembre – marzo) y otra en el periodo de menor inmigración (mayo – octubre) y las parcelas deben ser dimensionadas en áreas más extensas, lo cual debe realizarse por observaciones directas de un especialista en este grupo faunístico.

Los grupos taxonómicos a diagnosticar son: Mamíferos, Aves, Reptiles (lagartijas y majases), Anfibios (ranas), Moluscos (caracoles como: Polymitas, Ligus y otros), Crustáceos (Jaibas, Camarones, y otros), Arácnidos (arañas), Peces y algunos grupos de Insectos, como los Himenópteros (hormigas), Lepidópteros (mariposas) y otros.

Métodos generales.

Se seleccionan las parcelas teniendo en cuenta las características del grupo en estudio, lo cual debe aplicarse con sistematicidad y sin variar el diseño general entre grupos zoológicos, lo que garantiza la comparación de los resultados en tiempo y espacio.

Seleccionar hábitats.

Se tiene en cuenta la alta riqueza de especies, su distribución local y global, su vulnerabilidad, riesgos y amenazas a la que pueden estar sometidos dentro del mosaico de paisajes.

En las siguientes tablas se resume los grupos zoológicos, métodos y variables e índices a utilizar, según Fernández (2005).

Tabla V.4. Insectos

Grupo zoológico	Método	Variable e índices
Coleópteros Homóptera Díptera Himenóptero	<ul style="list-style-type: none"> • Métodos de intercepción y métodos activos de colectas. • Transecto lineal. • Jameo. • Trampa de intercepción (Malasie). • Red entomológica. • Trampa de agua. • Trampa de luz. 	<ul style="list-style-type: none"> • Curvas acumulativas de especies • Riqueza ponderada • Abundancia relativa • Diversidad • Equitatividad • Dominancia • Plantas hospedantes
Lepidóptero	<ul style="list-style-type: none"> • Transecto lineal 	<ul style="list-style-type: none"> • Tipos de sustratos

Tabla V.5. Moluscos.

Grupo zoológico	Método	Variable e índices
Macro y micro moluscos, terrícolas y petrícolas, en suelo, hojarasca, paredones, grietas y otros.	<ul style="list-style-type: none"> • Colecta directa: parcelas de 1 x 2m • Cribado y método mixto 	<ul style="list-style-type: none"> • Curvas acumulativas de especies • Riqueza ponderada • Abundancia relativa • Diversidad • Equitatividad
Macro moluscos arborícolas y del suelo.	<ul style="list-style-type: none"> • Colecta directa: parcelas de 25 m² 	<ul style="list-style-type: none"> • Dominancia • Plantas hospedantes • Tipos de sustratos • Variables del nicho ecológico

Tabla V.6. Anfibios y Reptiles

Grupo zoológico	Método	Variable e índices
Anfibios y Reptiles	<ul style="list-style-type: none"> • Parcelas pequeñas. Para anfibios y reptiles que viven en el suelo, hojarasca, difíciles de detectar. Parcela de 1 x 2m • Parcelas grandes. Para anfibios y reptiles arborícolas y del suelo fáciles de detectar. <ol style="list-style-type: none"> 1. Parcelas de 100 m² 2. Transecto lineal de 200 m de largo x 2 m de ancho durante 1 hora por unidad de área. Es recomendable 10 transeptos separados a 20 m cada uno (Búsqueda intensiva) 	<ul style="list-style-type: none"> • Curvas acumulativas de especies • Riqueza ponderada • Abundancia relativa • Diversidad • Equitatividad • Dominancia • Plantas hospedantes • Tipos de sustratos • Variables del nicho ecológico: Sustrato, estratos, subnicho trófico, climático, sexual y morfometría

Tabla V.7. Aves.

Grupo zoológico	Método	Variable e índices
Aves terrestres	Parcela circular de radio fijo por el método de Hutto <i>et al.</i> , (1986) modificado por Waide y Wunderle en 1989 y Wunderle (1994). 24 parcelas circulares con 25 m de radio, cada una de ellas a una distancia de 100 m., durante los 10 minutos de conteos en cada parcela se registraron todos los individuos vistos u oídos dentro y fuera del radio. Los conteos se efectuaron desde 0600 h hasta 1100 h.	<ul style="list-style-type: none"> A. Curvas acumulativas de especies. B. Riqueza ponderada. C. Abundancia relativa. D. Diversidad. E. Equitatividad. F. Dominancia. G. Constancia. H. Índices de frecuencias por categorías de residencia. I. Estratos. J. Variables que miden

		nificación y cría. K. Recursos utilizados.
--	--	---

4. Pronóstico Ecológico.

El principal objetivo del Pronóstico Ecológico será el de conocer que ecosistema se desarrollará en un sitio determinado en base a las condiciones ecológicas resultantes después de realizada la Rehabilitación Física de un terreno devastado por las actividades mineras, lo cual tiene importancia ambiental y económica para la empresa minera y para la posterior empresas o dueños que recibirán la tierra.

Los parámetros o elementos que se deben tomar en cuenta para dicho pronóstico son: el relieve, la hidrología, el suelo, la exposición y radiación solar y la dirección de los vientos predominantes y algo muy importante, la cercanía de ecosistemas naturales al sitio devastado. El valor sinérgico de todos estos elementos nos dará un Pronóstico Ecológico determinado que nos permitirá conocer hacia donde deben ir dirigidos los esfuerzos para el restablecimiento de un ecosistema deseado y con ello evitar actividades innecesarias y reducción de los costos del proceso de rehabilitación. Este pronóstico nos permitirá conocer la dirección y tiempo de restablecimiento de la conectividad en una región dada.

Para pronosticar un ecosistema resultante en tiempos futuros, debemos realizar los siguientes estudios:

Relieve de Fondo.

El relieve de fondo no es más que la reconstrucción del relieve después de realizada la Extracción del Mineral. La base para la confección de este mapa es a partir de los datos obtenidos durante la Exploración Geológica donde nos informa el punto de contacto entre el mineral y la roca madre en cada pozo.

A partir de esta información obtenida de cada pozo, se puede confeccionar digitalmente un mapa con las curvas de nivel del terreno resultante después de la citada Extracción.

El mapa de relieve de fondo es la base para el cálculo de los movimientos de tierra que se incurrirán durante la conformación del terreno, así como para la reconstrucción del drenaje superficial. Una vez realizado el mapa de relieve de fondo, con las curvas de nivel requeridas, se podrá realizar el pronóstico del relieve y de la red hidrológica del terreno disturbado.

Pronóstico Hidrológico.

Es importante prevenir cual será el comportamiento y funcionamiento del régimen hídrico, tanto de las aguas superficiales como de las aguas subterráneas, posterior a la extracción del mineral en una mina a cielo abierto, y sobre todo si se trata de una región de la cual dependen de su agua grandes extensiones de tierras y de comunidades en el entorno a dichas zonas devastadas.

A partir del mapa de relieve de fondo se reconstruye la red de drenaje futura, así como se ubican los posibles lugares donde será necesario la construcción de lagunas de sedimentación o de presas para la acumulación y uso del agua para distintos fines. Es importante señalar que después de la Explotación Minera, el balance hídrico de las regiones explotadas varía, generalmente disminuyen los volúmenes de agua acumulados por la drástica disminución de las lateritas con contenido de mineral (efecto esponja del suelo), pues al extraer el mineral disminuye el volumen

de material con poder de retención de agua. El volumen de agua perdido se debe calcular muy bien, pues de este dato depende el volumen de agua que hay que acumular en las presas que se construyan en las áreas afectadas para restituir las pérdidas sufridas producto de la citada extracción del mineral. Se debe recordar que generalmente en las regiones lateríticas cubanas nacen importantes fuentes primigenias de agua, en la mayoría de agua potable y de uso para la agricultura.

Es importante también la caracterización física y química del sustrato residual (sobre todo del escombro). La caracterización química del sustrato residual es necesaria para determinar los componentes químicos potenciales que este puede aportar al agua, o sea, para calcular la calidad del agua futura y poder determinar el contenido de metales pesados y otros elementos perjudiciales para la vida. El análisis físico, como el coeficiente de infiltración y la granulometría del sustrato son necesarios para determinar la retención física del agua en el sustrato residual.

En general, después de realizada la Rehabilitación Física, los terrenos serán más secos que antes de realizada la explotación del mineral, producto que se ha perdido el material que mayor contenido de agua tenía (la laterita niquelífera puede retener hasta un 34 % de agua).

Sustrato Pronóstico.

A partir de la información obtenida durante la Exploración Geológica, referidos al grosor de la capa vegetal y del material estéril (escombro), se obtienen los datos sobre el volumen de suelo (escombro) disponible para su posterior redistribución sobre el terreno. Es importante en esta etapa definir el volumen de capa vegetal disponible, así como si su uso será inmediato o no al destape del yacimiento (no más de 2 meses).

Con esta información se podrá definir la extensión de las áreas a rehabilitar con escombro estéril y con capa vegetal, y lo más importante, se definirán las características físicas, químicas y biológicas de los sustratos resultantes después de la rehabilitación física del terreno.

Los sustratos formados por escombro estéril y/o capa vegetal se les pueden nombrar “Ferrítico rojo modificado”, profundo, poco profundo o esquelético.

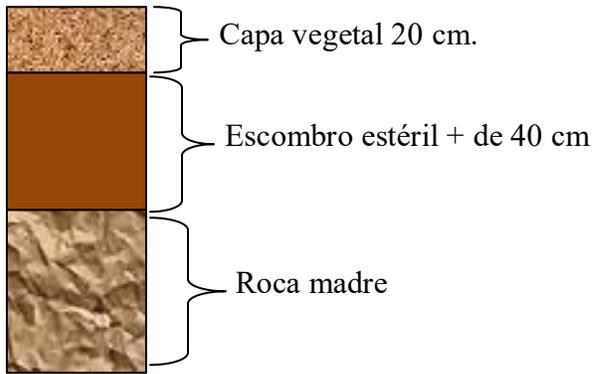
Los materiales básicos o escombro existente después de la explotación del mineral son los siguientes:

1) Rocas compactas, 2) Rocas deleznales, 3) Escombro estéril, y 4) Capa Vegetal (Horizonte “A” del suelo).

Se debe considerar que la capa vegetal debe tener diferentes valores de fertilidad, todos bajos, lo cual se debe determinar mediante análisis químico de la misma. El escombro estéril también se le debe realizar el mismo análisis químico, sabiendo que obtendremos valores mucho más bajos.

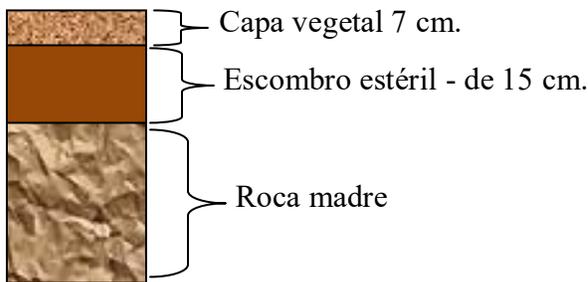
Los posibles sustratos a obtener a partir de los materiales anteriores son los siguientes:

Fig. V.11. Sustrato ecológicamente óptimo.



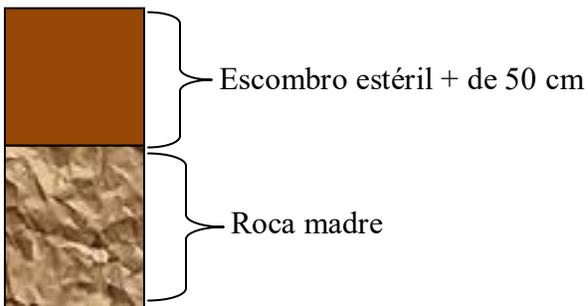
Es un sustrato ecológicamente óptimo porque contiene capa vegetal con las interacciones biológicas conservadas y una capa estéril bastante profunda, lo cual hace que este mantenga una similitud bastante cercana con el suelo original. Este "suelo" acepta el desarrollo de un bosque de pino normal. Puede proporcionar el desarrollo de un pinar para la conservación o productivo.

Fig. V.12. Sustrato ecológicamente secante.



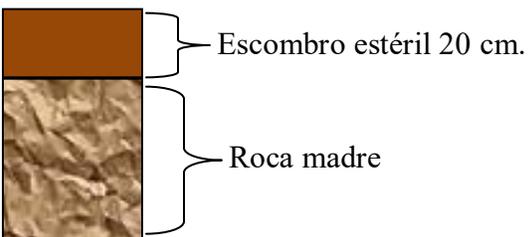
Es un sustrato bastante similar al anterior, pero con la característica que su espesor total es mucho menor, lo cual hace que el mismo acumule poca agua en su perfil y lo convierta potencialmente en un suelo secante. Las plántulas de pino que se empleen definitivamente deben ser obtenidas de semillas de pinos que crezcan en suelos esqueléticos. Puede desarrollar un pinar para la conservación.

Fig. V.13. Sustrato ecológicamente estéril.



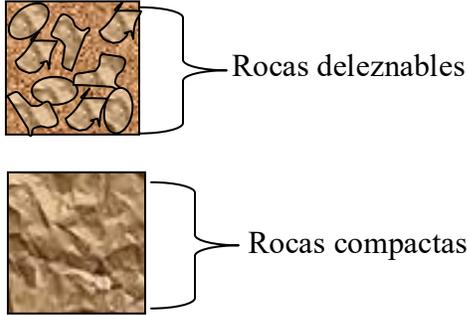
Es un sustrato sin capa vegetal, pero con una profundidad aceptable. Se debe plantar desde un inicio *Pinus cubensis*. El bosque obtenido puede ser para la conservación o productivo.

Fig. V.14. Sustrato ecológicamente estéril y muy secante.



Es un sustrato ecológicamente muy secante. Este necesita primero completar su formación como suelo, plantando primero especies formadoras de capa vegetal y posterior la especie definitiva. El bosque obtenido será para la conservación.

Figura V.15. Sustrato ecológicamente estéril extremadamente secante.



Es un sustrato prácticamente sin suelo, donde solo existen las rocas. En ambos casos es extremadamente secante, por lo cual no se deben plantar árboles. En rocas deleznales se pueden sembrar a voleo semillas de especies autóctonas; en rocas compactas, no se deben realizar plantaciones ni siembras

Vegetación Pronóstico.

Los principales yacimientos de níquel en el mundo se localizan en lateritas y en Cuba sobre estas lateritas solo se localizan como vegetación natural el bosque tropical pluvial o el bosque de pino y en algunas ocasiones el bosque tropical mixto. Como vegetación de reemplazo se pueden localizar sabanas, pastos y matorrales secundarios.

Después que se explota el mineral de un área determinada, se pierde parte importante del suelo, y con ello se pierde también parte importante del volumen de agua que era capaz de almacenar este suelo antes de ser explotado (efecto esponja del suelo). Este fenómeno provoca que el sustrato que se obtendrá después de la rehabilitación física del terreno forme en general un hábitat más seco que el original, por ello es muy difícil, para el caso de un bosque pluvial original implantar de nuevo esta formación vegetal. Generalmente ante este caso lo más seguro es que logremos implantar un bosque de pino, lo cual no quiere decir que no hagamos las gestiones para volver a implantar el bosque original.

De forma general la vegetación pronóstico asistida por el hombre para los casos que se describen corresponde su formación a un periodo que va entre 12 y 30 años.

Si empleamos capa vegetal bien conservada de alrededor de 20 cm + escombro estéril de suficiente profundidad (+ de 40 cm) (Fig.V.11.) obtendremos entre 12 y 15 años un ecosistema de pino ecológicamente estable, sin embargo, si el sustrato empleado es solo de escombro estéril (Fig.V.13.), lo cual es muy común en la rehabilitación cubana de lateritas, obtendremos un ecosistema más o menos estable entre 25 y 30 años.

En condiciones extremas, donde no exista capa vegetal y ninguno o muy poco material estéril (Fig.V.16.), la rehabilitación física del terreno dará un sitio extremo desde el punto de vista ecológico, o sea, un sitio con un sustrato prácticamente rocoso, por lo cual se debe reimplantar un matorral xeromorfo (vegetación charrascaleoide), bien por métodos asistidos por el hombre o de forma espontánea.

Para medir o evaluar el estado ecológico de un área en proceso de rehabilitación para un tiempo dado se puede aplicar el indicador Calidad Ecológica descrito al final de este capítulo.

Los tipos de formaciones vegetales que se podrán obtener serán las siguientes:

- Matorrales xeromorfos (vegetación charrascaloide).

Este ecosistema se obtendrá en terrenos formados por rocas serpentinitas compactas o deleznales (Fig.V.15.)

Los sitios formados exclusivamente por material rocoso compactado o deleznable, independientemente de la pendiente y de la exposición, no es necesario hacer la actividad de rehabilitación ecológica propiamente dicha, pues por las propias características del material, los procesos erosivos prácticamente no ocurrirán. En estos lugares no se sembrará ni plantará ninguna planta y se debe esperar que la vegetación regrese de forma espontánea mediante los procesos normales de la naturaleza.

La vegetación que se debe desarrollar sobre estos sustratos corresponde a un matorral xeromorfo esparcido en sus primeras etapas de desarrollo, con especies arbustivas en casi su totalidad y algunas herbáceas. La flora obtenida sería la correspondiente a un charrascal, tomando en cuenta además las precipitaciones que en general son abundantes. Se puede en estos sitios, previa investigación científica, probar esparcir semillas preparadas de determinadas especies arbustivas autóctonas para acelerar en algo el proceso de rehabilitación. Si estos sitios están cercanos a islas de biodiversidad, la rehabilitación ecológica será lenta pero segura.

El uso que se le darán a estos matorrales será solo para la conservación.

- Bosque de pino sobre capa vegetal y escombros estéril.

Este bosque se forma sobre sustratos estructuralmente similares al suelo original, o sea, sobre un sustrato total de + de 40 cm de espesor (Fig.V.12.) se podrá obtener el bosque de pino típico (similar al *Pinetum typicum*, Samek, 1973) y sobre un sustrato de poco espesor (Fig.V.13.) se puede obtener el bosque de pino seco (similar al *Pinetum anemietosum*, Samek, 1973).

a) Bosque de pino típico.

Es un pinar donde su suelo, su hidrología, su flora, fauna y vegetación a corto plazo alcanzan valores y funcionamiento similares al bosque original de pino. Su equilibrio y calidad ecológica será alcanzada en un tiempo que oscila entre 12 y 15 años. Este bosque se obtendrá en aquellos sustratos donde exista suficiente capa vegetal conservada y escombros estéril (Fig.V.11.). La capa vegetal conservada tendrá alrededor de 20 cm y el escombros estéril 40 cm o más. Además su vegetación estará estructurada por 3 estratos; el arbóreo con una cobertura del 80 %, arbustivo y herbáceo, con una cobertura total del 85 % y su flora estará compuesta por unas 30 especies autóctonas arbustivas.

La principal base científica para obtener este bosque es la conservación y reutilización de las interacciones biológicas (biodiversidad) contenida sobre todo en la capa vegetal conservada, aunque se podrá aprovechar la vegetación de aclareo, con su correspondiente banco de semillas de las especies arbustivas y herbáceas acompañantes del bosque original. Otro aspecto importante para la obtención de este bosque es haber realizado una correcta conformación del relieve y restablecimiento del sistema hidrológico.

Este bosque, según su uso, podrá ser un bosque para la conservación o para la producción. El bosque obtenido para la conservación no tendrá mantenimiento como lo son los chapeos del sotobosque, dejando que el mismo se desarrolle en toda su extensión. Los mantenimientos solo serán para la reposición de los árboles de pino que mueran en sus primeros estadios y quizás admite un raleo de algunos árboles para eliminar el exceso de los mismos en un rodal determinado. El bosque obtenido para la producción si se le podrán realizar mantenimiento, eliminando en parte el sotobosque, la reposición de árboles muertos y el raleo de los árboles en exceso.

b) Bosque de pino seco.

Es un pinar donde su suelo, su hidrología, su flora, fauna y vegetación a mediano plazo alcanzan valores y funcionamiento muy similares al bosque original de pino de referencia, el cual es el bosque de pino desarrollado sobre suelo esquelético (*Pinetum anemietosum*, Samek, 1973). Su equilibrio y calidad ecológica será alcanzada en un tiempo que oscila entre 15 y 20 años. Este bosque se obtendrá en aquellos sustratos extremos, donde su capa vegetal conservada y escombros estériles son de un grosor mínimo (entre 15 y 30 cm total) (Fig.V.12.). Además su vegetación estará estructurada por 3 estratos; arbóreo algo ralo, con una cobertura del alrededor del 70 %, el arbustivo y herbáceo, con una cobertura alrededor del 75% y su flora estará compuesta por alrededor de 25 especies autóctonas.

La principal base científica para obtener este bosque es la conservación y reutilización de las interacciones biológicas (biodiversidad) contenida sobre todo en el suelo y en la vegetación de aclareo del bosque original. Otros aspectos importantes para la obtención de este bosque es el empleo de plántulas de pino obtenidos de masas semilleras rústicas (*Pinus cubensis* desarrollado sobre suelo esquelético), así como haber realizado una correcta conformación del relieve, que en ocasiones será en terrazas planas por estar localizado en terrenos de pendientes más o menos abruptas. Este ecosistema debe tener también un correcto restablecimiento del sistema hidrológico (Fig. II.20.).

Según su uso, debe ser exclusivamente un bosque para la conservación y no tendrá mantenimiento como los chapeos del sotobosque. Los mantenimientos se limitarán a la reposición de los árboles de pino que mueran en sus primeros estadios y quizás admite un raleo de algunos árboles para eliminar el exceso de los mismos en un rodal determinado.

- Bosques de pino sobre escombros estériles.

Si el escombros estériles tiene 40 cm o más de profundidad (Fig.V.13.) se obtendrá un bosque de pino semejante al típico y su total desarrollo, equilibrio y calidad ecológica será alcanzada en un tiempo que oscila entre 25 y 30 años. Su vegetación estará estructurada por 3 estratos; arbóreo, con una cobertura del alrededor del 75 %, el arbustivo y herbáceo, con una cobertura de alrededor del 50% y su flora estará compuesta por unas 25 especies autóctonas.

Este bosque podrá ser un bosque de conservación o un bosque de producción.

Si el escombros estériles es de poca profundidad, o sea, entre 15 y 30 cm o (Fig.V.14.) entonces se

obtendrá un bosque de pino semejante al seco. Para este caso se puede emplear el método de reforestación sucesional, o sea, plantar primero una especie recuperadora del suelo, como *Casuarina equisetifolia* la cual se eliminará a los 8 ó 10 años de plantada y luego se plantará la especie definitiva, o sea, el *Pinus cubensis*. Su total desarrollo, equilibrio y calidad ecológica será alcanzada en un tiempo que oscila entre 25 y 35 años. Su vegetación estará estructurada por 3 estratos; arbóreo algo ralo, con una cobertura del alrededor del 50 %, el arbustivo y herbáceo, con una cobertura alrededor del 60% y su flora estará compuesta por unas 20 especies autóctonas.

Este bosque, según su uso, debe ser exclusivamente un bosque para la conservación y no tendrá mantenimiento como los chapeos del sotobosque. Los mantenimientos se limitarán a la reposición de los árboles de pino que mueran en sus primeros estadios y quizás admite un raleo de algunos árboles para eliminar el exceso de los mismos en un rodal determinado.

Exposición solar y pendiente.

Otro aspecto a tomar en cuenta para la Vegetación Pronóstico es la incidencia de la radiación solar que llega a los diferentes sitios a rehabilitar. Esta incidencia está determinada en lo esencial por la exposición y la pendiente de cada sitio, la cual influye en el balance hídrico del sitio a rehabilitar.

a) Exposición solar.

Las exposiciones que reciben más la influencia de la radiación solar son las pendientes expuestas al sur, (sur, suroeste y sureste) las cuales provocan que los hábitats de estas zonas sean más proclives a la sequía. Las exposiciones que reciben menos influencia de la radiación solar son las pendientes expuestas al norte (norte, noreste y noroeste), las cuales favorecen hábitats más húmedos. En una región montañosa las laderas que tienen exposiciones sur son más secas en general que las que tienen exposiciones norte, pues el Sol, tanto en invierno como en verano, su recorrido es de mayor tiempo por la exposición sur (Fig.V.16.).

Las radiaciones en la vertiente norte caen más oblicuas a las laderas, por lo tanto caen con menor intensidad que en las vertientes sur, que caen más perpendiculares e las laderas.

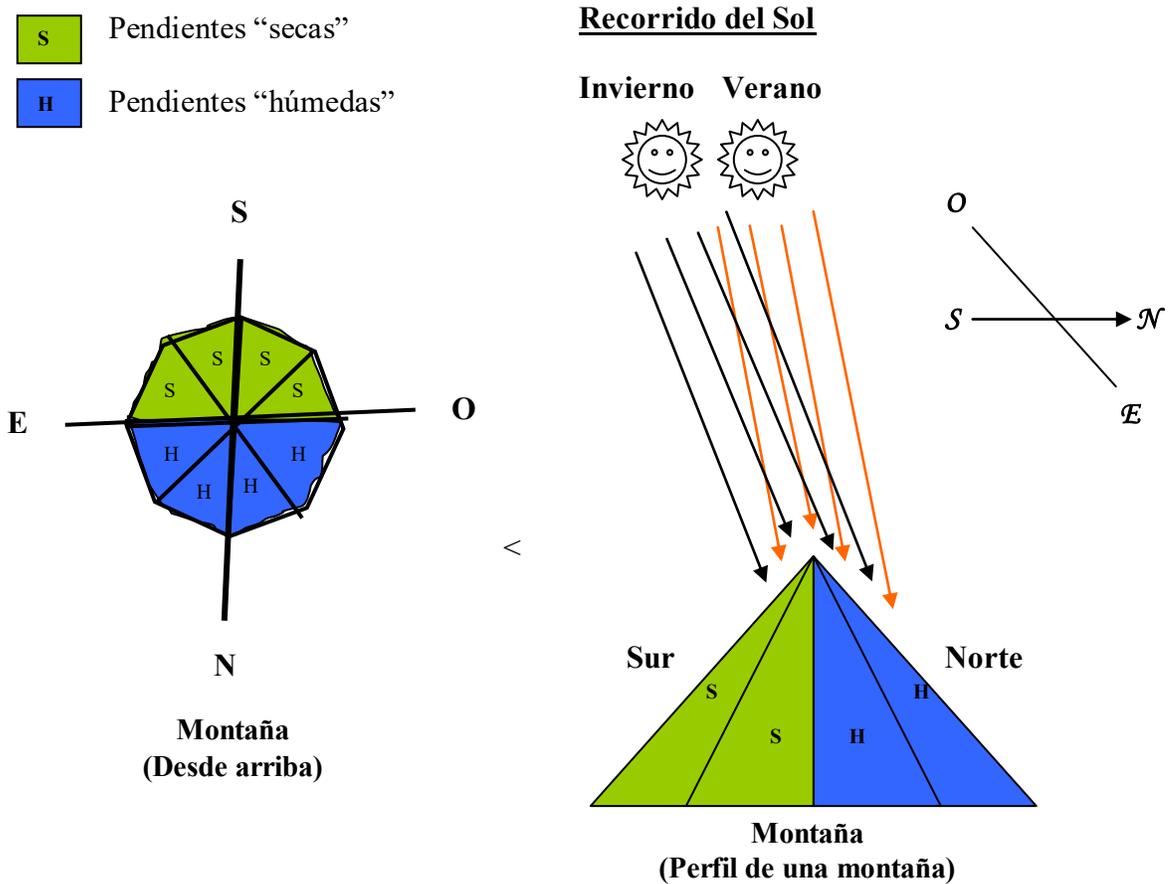
b) Pendiente

Como es lógico, otro factor que determina si un sitio es más o menos seco es la pendiente, a mayor pendiente mayor será la escorrentía y mayor será la sequedad del sitio y viceversa. O sea, este es un parámetro muy importante porque el régimen de humedad del suelo para condiciones similares de precipitación dependerá del grado de inclinación del terreno y a la vez en dependencia si el régimen de humedad del suelo es más o menos alto se implantará un determinado tipo de vegetación.

Estas variantes, exposición y pendiente, se tendrán en cuenta para el pronóstico ecológico de un sitio determinado donde se vaya a realizar la rehabilitación ecológica minera.

Las pendientes se clasificaran según lo expresado en “Las unidades del paisajes del Capítulo III”.

Fig. V.16. Influencia de la radiación solar sobre las zonas montañosas de Cuba.



Estudio de caso No. 2. (IA).

Mina de níquel, Compañía Pinares S. A. Experimento de Revegetación Espontánea.

Ubicación: concesión Minera Pinares oeste, Pinares de Mayarí.

Clima: tropical lluvioso con un periodo seco de 3 meses en invierno.

Objetivo del experimento: demostrar la factibilidad ecológica de la reutilización del horizonte “A” del suelo en labores de rehabilitación de áreas minadas cuando este tiene conservadas sus interacciones biológicas.

Implementación: Pinares S. A. estableció un experimento que se llamó “Revegetación Espontánea”, el cual consistía en coleccionar la capa vegetal de un bosque de pino natural con sus interacciones biológicas conservadas (parcela de préstamo) y depositarla en un área devastada (parcela experimental) por la minería niquelífera en Pinares de Mayarí, previa rehabilitación física del terreno en forma de terrazas de plataformas constante (Fig.V.17.).



Fig. V.17. Rehabilitación Física del terreno en terrazas.
(Pinares S. A., 1999)

El experimento se concibió en tres tratamientos y un testigo: (a) capa vegetal de 7 cm. de espesor, (b) capa vegetal de 15 cm. de espesor y (c) ambos con arrojado de sotobosque, además (d) el testigo que no se le depositó capa vegetal. El experimento duró 3 años sin actividades de mantenimiento.

Procedimientos:

Primero se procedió a la caracterización de la vegetación de la parcela de préstamo, limitándose un área de 20 x 20 metros (Samek, 1973), con un área total de 400 m². La caracterización se realizó por el método de “parcelas puntuales” (Matteucci, S. D. y A. Colma, A. 1982), combinando dicha técnica con el método de perfiles de vegetación. Además se hizo listado de las especies de la flora.

Segundo se realizó la caracterización del suelo, para lo cual se hizo una calicata de 1 x 1 x 1 m., donde se determinaron los horizontes y su profundidad, así como se anotó la presencia y profundidad de la materia orgánica y de estera radical.

Tercero se procedió a la tala de los árboles y al chapeo del sotobosque (vegetación de aclareo).

Cuarto, con la utilización de un buldócer se procedió al destape de la capa vegetal con sus interacciones biológicas conservadas (con banco de semillas, yemas germinativas, rizomas, microorganismos y nutrientes naturales), el cual conformó un montículo de 90 cm de altura.

Quinto, al mes de la operación anterior, con un tractor cargador frontal se recogió la capa vegetal, se depositó en un camión y este la traslado y deposito en el área de las parcelas experimentales. Este material fue distribuido según lo planificado en un Diseño Estadístico que se realizó al efecto. Algunas parcelas de 7 y 15 cm. se le añadieron encima de ellas vegetación de aclareo del sotobosque de pino original.

Sexto, por 3 años se observó si crecía alguna vegetación, lo cual fue positivo y al final de este tiempo se realizó una evaluación ecológica de la vegetación y flora desarrollada.

Resultados:

1. En el bosque de la parcela de préstamo crecía un bosque de pino afectado, con un total de 28 especies de la flora, de las cuales 27 eran autóctonas y 1 era introducida, con la presencia de 8 especies endémicas regionales.
2. Sobre la caracterización de la parcela de préstamo se observa que las especies predominantes en cuanto a cobertura son las siguiente:

Andropogon sp. con 70 %,
Pinus cubensis con 52 %,
Baccharis scoparioides con 34 %,
Lyonia macrofila con 22 %,
Smilax havanensis con 24 %

3. Sobre las parcelas experimentales a los 3 años se observó que se desarrollaron un total de 28 especies de la flora, 26 autóctonas y 2 introducidas (Fig.V.24. y V.25.). De las autóctonas 3 resultaron ser endémicas regionales. La cobertura general de la vegetación fue 70 %.
4. Los tratamientos de mayor efectividad fueron los de 15 cm. de grosor, tanto con vegetación de aclareo como sin ella. Se destaca la cobertura de especies de gramíneas, con un 50 % (Fig.V.19.), así como la presencia de especies pioneras como *Dodonea viscosa* en su primera etapa de desarrollo.



Fig. V.18. En los tratamientos de 15 cm de grosor se establecieron de forma espontánea 28 especies autóctonas.
(Urbino, 2003)



Figura V.19. Gramíneas con una cobertura del 75 %, desarrolladas en capa vegetal de 15 cm.
(Urbino, 2006)

Conclusiones:

1. Con el experimento se demostró que era factible conservar las interacciones biológicas y la reutilización de la capa vegetal en labores de rehabilitación ecológica minera.
2. A los dos meses de almacenada la capa vegetal en montículo de 90 cm de altura se mantienen conservadas las interacciones biológicas del suelo.

INVESTIGACIÓN GEOLOGO – MINERA (IGM).

Pormenores de la IGM.

La Investigación Geólogo – Minera es un proceso que se sustenta sobre la base de un enfoque integral y complementario con la actividad de Investigación Aplicada (IA) propiamente dicha.

Por lo tanto la IGM tiene 2 actividades fundamentales que se ejecutan en el siguiente orden:

- 1. La Exploración Geológica.**
- 2. El Ordenamiento Minero Ambiental.**

La Exploración Geológica no es más que una IA que además de su fin principal, el de conocer el potencial real mineral del yacimiento, debe ocuparse también del conocimiento del potencial y la calidad físico y biológica del suelo, como lo son la capa vegetal y el escombros estéril, ambos elementos importantes para la posterior rehabilitación ecológica. La Exploración Geológica debe ser utilizada también para caracterizar el potencial hidráulico del yacimiento, algo muy importante desde el punto de vista operativo que influye de forma significativa en el proceso de explotación del yacimiento.

El Ordenamiento Minero Ambiental (OMA) (Guardado, 2006) es otro eslabón de la IGA, el cual nos da la oportunidad de realizar una planificación racional general de un yacimiento desde el punto de vista productivo y ambiental. La OMA es la introducción de la dimensión ambiental en un proyecto minero a cielo abierto.

Recordando que entre la Exploración Geológica y el Ordenamiento Minero Ambiental se realiza la Línea Base Ambiental (Capítulo IV) que se empleará para la evaluación de los impactos que se producirán en la etapa de Extracción del Mineral.

1. Exploración Geológica.

Durante la Exploración Geológica se deben tomar también muestras del suelo propiamente dicho, cuestión que es de suma importancia pues nos permite obtener información del potencial del horizonte “A” (capa vegetal) y de los horizontes “B y C” (escombro estéril) del suelo, así como de la calidad física y biológica de los mismos, cuestión que es de vital importancia para la planificación de la rehabilitación física y biológica del terreno una vez terminada la Extracción del Mineral en el cuerpo minero.

La toma de datos a tomar durante la exploración debe realizarse sobre los siguientes elementos:

Durante la etapa de campo.

- Medir en cada perforación el grosor o profundidad de la capa vegetal al sacar el primer metro de dicha perforación. En general el grosor debe ser entre 10 y 25 cm o algo más y se puede identificar por la presencia más o menos abundante de raicillas y por su textura. Obteniendo el grosor promedio de la capa vegetal y conociendo la extensión del terreno se podrá determinar aproximadamente el volumen total de dicha capa vegetal con que se dispone para la posterior actividad de rehabilitación.
- Medir en cada perforación el grosor o profundidad del escombro estéril al sacar los primeros metros de la perforación (horizontes “B + C”). Obteniendo el grosor promedio del escombro estéril y conociendo la extensión del terreno se podrá determinar aproximadamente el volumen total de dicho escombro estéril con que se dispone en un cuerpo minero.
- Cada 10 barrenos de perforación, en los primeros 25 cm, tomar muestra de la capa vegetal de unos 10 cm. de grosor x 10 cm de diámetro y depositarlo en una bolsita de polietileno para su posterior traslado y análisis físico y químico en el laboratorio.
- Cada 20 barrenos de perforación, debemos tomar una muestra del escombro estéril, de unos 10 cm de grosor x 10 de diámetro y depositarlo en una bolsita de polietileno para su posterior traslado y análisis físico y químico en el laboratorio.
- Es de suma importancia determinar en cada perforación la profundidad del estrato rocoso, con el objetivo de determinar, por comparación con la altura actual del suelo, la altura sobre el nivel del mar del fondo rocoso, lo cual permitirá reconstruir el relieve posterior a la explotación minera del área.

Durante la etapa de laboratorio

- Determinación de los niveles de fertilizante natural de la capa vegetal, obteniéndose información sobre los micro y los macroelementos (N, P y K; así como de Ca, Mg, Zn, Bo, Fe, Cu, Cr, y otros si fuera necesario).
- Determinación de compuestos químico tóxicos, sobre todo del escombro estéril.
- Determinación de la acidez del suelo (pH) para la capa vegetal y escombro estéril.

- Determinación de la Capacidad de Cambio Catiónico del horizonte “A”.
- Determinación de materia orgánica en la capa vegetal (calidad y volumen aproximado).
- Determinar textura del suelo en capa vegetal y escombros estéril.
- Determinación de la granulometría de la capa vegetal y escombros estéril, lo cual será de utilidad para calcular el volumen total de estos elementos a mover.
- Calcular capacidad de retención del agua de la capa vegetal y sobre todo del escombros estéril.

De ser posible, tener en cuenta el análisis químico de la región de contacto entre el material explotable (saprolita) y la roca madre, para conocer la existencia y contenido de metales tóxicos para la vida en esta zona.

Toda la información obtenida en el campo y laboratorio debe ser registrada en una libreta.

2. Ordenamiento Minero Ambiental (OMA)

Como se dijo anteriormente es de suma importancia realizar OMA, pues así garantizamos la dimensión ambiental en el proceso de Extracción del Mineral.

A partir de los datos obtenidos sobre los yacimientos en la etapa de Exploración Geológica, así como de los datos de las propiedades metalúrgicas del yacimiento o cuerpos mineros y de la Línea Base Ambiental, se realiza el OMA.

El OMA tiene la finalidad de planificar de forma interrelacionada tanto la actividad minera como la actividad ambiental de un yacimiento o cuerpo minero determinado, de tal forma que se reduzcan a la mínima expresión los impactos negativos al medio ambiente, así como que la actividad minera sea lo más eficaz y eficientemente posible. El OMA constituye una Estrategia Ambiental del Sistema de Gestión Minera.

Objetivos específicos de la OMA.

- Elaborar mapa de Ordenación Minero Ambiental que sirva de base para la integración de la actividad minera con la actividad ambiental, de tal forma que se pueda emplear en los planes de Ordenamiento Territorial.
- Establecer modelos de explotación racional y seguros para la menor afectación al medio ambiente.
- Determinar criterios para la Reconstrucción de los terrenos y la Rehabilitación Ecológica.

El OMA consta de cuatro etapas fundamentales:

- Planificación del Medio Físico y Biológico.
- Evaluación del Riesgo Geológico y Ambiental.
- Proceso de Explotación del yacimiento.
- Procesos de Rehabilitación Ecológica de los terrenos devastados.

Durante la Planificación del Medio Físico-Biológico se realizará la Zonificación Funcional Minero – Ambiental (Tabla V.8.) la cual define 3 zonas fundamentales de manejo:

Tabla V.8. CRITERIOS DE ZONIFICACION (Guardado, inédito)		
ZONAS DE PROTECCION AMBIENTAL.	ZONAS EXPLOTABLES CON DIVERSOS GRADOS DE PRIORIDAD	ZONAS FAVORABLES PARA LA UBICACIÓN DE INFRAESTRUCTURAS
Áreas donde no es recomendable la Explotación Minera y si la Protección de Recursos Bióticos.	El orden de prioridad se basa en la mínima afectación al medio ambiente.	Viales, escombreras, lagunas de sedimentación, naves, etc. Se definen en base a criterios técnico económicos y de protección al medio ambiente.
MAPA DE ORDENACION MINERO AMBIENTAL		

La Evaluación del Riesgo Geológico y Ambiental permitirá conocer las debilidades desde un punto de vista operativo, lo cual viene dado por las características físicas y químicas de un yacimiento o cuerpo minero. También permitirá analizar y conocer los impactos negativos al medio físico y biológico que ocasionará la explotación del mineral.

El proceso de explotación no es más que la descripción de cómo se llevará a cabo dicha actividad, tomando en cuenta la potencia del mineral, los contenidos explotables del mineral, y la base material para la explotación (buldócer, excavadoras, camiones y otros).

Por último se debe planificar a nivel de proyecto conceptual la actividad de rehabilitación ecológica del yacimiento explotado, definiendo los procedimientos, la reutilización de capa vegetal, las especies a emplear, y los métodos para evaluar la efectividad de la rehabilitación.

Una vez logrados los objetivos anteriores y ejecutados todos los pasos pertinentes (a–d), se aplica entonces los Criterios de Zonificación (Tabla V.8.) a partir de los cuales se obtiene el Mapa de Ordenación Minero – Ambiental y los procedimientos para la gestión minero - ambiental del yacimiento o cuerpo minero.

Es importante recordar que la OMA debe realizarse antes de iniciar el proceso de EsIA y antes de la explotación de cada yacimiento o cuerpo minero.

PROYECTO EJECUTIVO.

Premisas de un Proyecto Ejecutivo de Rehabilitación Ecológica (PERE).

Para la elaboración del PERE se tomó como base los trabajos realizados por Ward, S. 1997, en la revista “Rehabilitación y Repoblación Forestal”. La mejor práctica de Gestión Ambiental en la minería. Environment Australia.

Es importante señalar que para lograr un éxito eficaz y eficiente de un PERE debe haberse realizado como mínimo el siguiente grupo de actividades mineras previas:

- a) La aplicación exacta de las Normativas Ambientales durante la Exploración Geológica y la Extracción del Mineral para garantizar el mínimo impacto al ecosistema.
- b) La realización del Ordenamiento Minero Ambiental para la conservación de partes del ecosistema predisturbio, como lo son las islas y corredores de biodiversidad natural, ríos y arroyos.
- c) La conservación de las interacciones biológicas contenidas en el horizonte “A” del suelo.
- d) Diagnosticar durante la Exploración Geológica el potencial del suelo (capa vegetal + escombro estéril) para su posterior empleo de ser posible en labores de rehabilitación.

Si se realizan todas estas actividades previas a la elaboración del Proyecto de Rehabilitación Ecológica tendremos garantizado más de un 50 % del éxito de la aplicación de dicho proyecto.

El **PERE** tiene cinco actividades fundamentales (Fig.V.2.) que se ejecutan en el siguiente orden:

1. Deforestación del yacimiento.
2. Destape.
3. Extracción del mineral.
4. Rehabilitación Física del terreno.
5. Rehabilitación Biológica del terreno.

1. Deforestación del yacimiento.

Para realizar un máximo de aprovechamiento durante la deforestación del yacimiento, sea un bosque, un matorral o una vegetación herbácea, se deben hacer toda una serie de operaciones previas para garantizar la utilización de todos los recursos naturales del área, estas operaciones son las siguientes:

a) Colecta de semillas.

Esta actividad consiste en la colecta de semillas de especies (o frutos maduros con semillas) de la mayoría de las plantas que crecen en el dosel arbóreo o en los arbustivos de los ecosistemas presentes en los yacimientos de mineral, con el fin de coleccionar, almacenar si fuera necesario y sembrar dichas semillas durante el proceso de rehabilitación biológica del área minada o bien para la implantación de viveros.

Las semillas silvestres están referidas a las que se desarrollan en ecosistemas boscosos o arbustivos. Las semillas forestales normales son semillas que se coleccionan en el dosel arbóreo de ecosistemas boscosos que se desarrollan sobre sustratos relativamente fértiles o en condiciones ecológicas favorables. Las semillas forestales rústicas son las semillas obtenidas en ecosistemas boscosos que se desarrollan en sustrato con condiciones de ecológicas desfavorables, como el caso de los pinos que crecen en suelos serpentínicos esqueléticos en alta pendiente.

Por ejemplo, la obtención de semillas de árboles de pino se efectuará cuando el bosque de pino esté produciendo semillas viables, o sea, para Cuba, en el mes de julio o agosto cuando los frutos están maduros.

Para la obtención de semillas del estrato arbustivo será necesario primero llevar a cabo un monitoreo fenológico de las plantas del ecosistema, lo cual permitirá conocer cuando están fructificadas y maduras la mayoría de las especies, aunque observaciones de plantas localizadas en el Herbario Nacional de La Habana, Cuba, demuestra que la mayoría de los arbustos del bosque de pino están fructificados en los meses lluviosos, o sea de mayo a octubre.

b) Desbroce y recolección de plantas y hojarasca del sotobosque (aclareo de vegetación).

Previo a la tala de los árboles de un ecosistema boscoso, se efectuará el chapeo, colecta y almacenamiento de todas las plantas que crecen en el sotobosque (arbustos y hierbas que crecen debajo de los árboles) para su utilización como materia orgánica en el proceso de rehabilitación ecológica del ecosistema deseado. También se debe coleccionar toda la hojarasca depositada sobre el suelo, con el objetivo de contar con otro material fertilizante (materia orgánica), que además tiene la propiedad de contener semillas y fauna natural (lombrices, hormigas, mesofauna y otros), que si se emplea con rapidez y cuidado es un elemento más para la actividad de faunización en el proceso de rehabilitación ecológica.

Otra ventaja de la utilización de los componentes del bosque es que le ofrece al sustrato o terreno protección inmediata contra los procesos erosivos así como contra la desecación, pues disminuye la fuerza de los impactos con que el agua de lluvia cae sobre el terreno así como disminuye la velocidad del proceso de evaporación de agua contenida en el suelo.

El uso de las plantas del sotobosque como abono verde se puede realizar de dos formas:

- Como abono verde, se puede almacenar y mediante un proceso de descomposición planificado, se puede obtener compost, el cual se utilizará como fertilizante orgánico. Esta técnica tiene la ventaja de que podemos contar con un abono orgánico natural de alto contenido de nutrientes y la desventaja que sus interacciones biológicas en su mayoría desaparecen.
- Las plantas chapeadas del sotobosque se pueden utilizar directamente sobre el terreno como abono verde, de tal forma que conforme una capa de hojas y ramas de unos 5 a 10 cm. de espesor, lo cual será en dependencia de la cantidad del material obtenido y del área del terreno, y tiene la ventaja que puede contener semillas y otros propágulos de la vegetación y fauna original con potencial de establecerse de nuevo, además que le ofrece al terreno protección contra la erosión y la desecación de forma inmediata. El abono verde debe usarse cuando se ha empleado capa vegetal fresca, pues esta favorece la descomposición de la hojarasca por la presencia de microorganismos en el suelo.

c) Extracción de madera.

Una vez realizada la colecta de semillas y plantas del sotobosque se puede proceder a la tala de árboles, para el caso de los árboles de pino principalmente.

La tala se efectuará lo más rente posible al suelo, evitando cortes oblicuos (Capítulo IV, Normativas Ambientales).

Esta actividad de tala se podrá efectuar en cualquier época del año, aunque es preferible en la época de sequía (diciembre – abril), pues el suelo es más resistente a los daños mecánicos que puede producir la actividad forestal de tala. Se debe evitar al máximo, durante las actividades de traslado y carga de la madera, el movimiento de tierra (de la capa vegetal), como lo es el destocoado, pues esto afecta la capa vegetal que es de vital importancia para su reutilización en el posterior proceso de Rehabilitación Ecológica una vez agotado el mineral del yacimiento.

Es importante que tanto las actividades de aclareo de vegetación como la extracción de madera se realice en fecha cercana al destape del yacimiento, pues de lo contrario se producirá un desgaste de las interacciones biológicas del ecosistema, lo cual será desfavorable para el posterior proceso de rehabilitación ecológica.

2. Destape.

Una vez realizadas las actividades de desbroce de la vegetación y la tala de los árboles, se podrá efectuar las actividades de destape del yacimiento el cual consta de 2 actividades fundamentales: a) destape y almacenaje de la Capa Vegetal y b) destape y almacenaje del escombros estéril.

a) Destape y almacenaje de la Capa Vegetal.

Para el caso de los bosques de pino, estos crecen mejor sobre corteza de interperismo profunda, originada a partir de rocas de serpentinitas, dunitas y piroxenitas o bien a partir de gabros que presentan bajo contenido de mineral de níquel. Los suelos originados de las tres primeras se presentan con un color rojo púrpura o rojo intenso y las originadas de gabros con un rojo anaranjado intenso.

Los perfiles de estos suelos pueden estar constituidos por la siguiente estructura:

- Horizonte “A” o capa vegetal, que puede oscilar entre 5 y 25 cm. de profundidad, con contenido de materia orgánica, presencia abundante de raíces y raicillas, presencia de semillas y frutos, rizomas, microorganismos y mesofauna del suelo entre otros elementos bióticos (Fig.V.20.). Es el horizonte más fértil del suelo y donde se desarrolla la mayor parte de las interacciones biológicas (existencia de vida), por lo cual su conservación es de vital importancia para su posterior utilización en las labores de rehabilitación biológica del ecosistema.



Fig. V.20. Horizonte A (capa vegetal fresca) de unos 10 cm. en un suelo Ferrítico Rojo Oscuro. Obsérvese las raicillas en el mismo.

(CESIGMA S.A, 2008)

- Horizonte “B”, que oscila entre 30 cm y 2 m de profundidad generalmente, constituyendo en su mayoría un material estéril de bajo contenido de mineral explotable. Es un sustrato de muy poca fertilidad, con muy bajo contenido de materia orgánica y con presencia de algunas raíces (sobre todo de árboles de pino) y raicillas, así como la presencia de interacciones biológicas es muy pobre. Generalmente es de buen drenaje.

- Horizonte “C” + “D”. Pueden alcanzar hasta 20 m de profundidad, son los horizontes níquelíferos desde el punto de vista industrial, compuesto fundamentalmente por arcillas, con drenaje deficiente y de fertilidad prácticamente nula. En ocasiones, cuando el drenaje ha sido muy deficiente, se puede presentar en esta región una coraza ferruginosa.
- Para el caso específico de los pinares ubicados en la Altiplanicie del Toldo, Moa, a una altura de más de 600 msnm con precipitaciones de más 3000 mm./año, se desarrolla sobre el horizonte “A” del suelo una capa de materia orgánica de hasta 1 m de profundidad, compuesta por raíces, raicillas y materia orgánica descompuesta y en proceso de descomposición (Fig.V.21.).



Figura V.21. Capa de materia orgánica de 30 cm de profundidad sobre un suelo Ferrítico Rojo Oscuro. Obsérvese el alto contenido de raíces así como hojas en proceso de descomposición lenta.
(CESIGMA S. A., 2008)

b) Época de destape del horizonte “A” (Capa Vegetal).

El destape se debe hacer preferiblemente en el período seco, o sea, entre los meses de enero – abril, pues en esta época del año las plantas han dejado caer sus semillas y frutos al suelo, el cual almacena dichos elementos y los mantiene en estado de latencia hasta que las condiciones edafoclimáticas sean favorables para la germinación y establecimiento de las nuevas plántulas. Es de suponer que la germinación y establecimiento de la mayoría de las especies de la flora sea en el período lluvioso (mayo o septiembre – octubre).

c) Mecanismo de destape.

Con un buldócer, se procede al destape del horizonte “A” del suelo, el cual se efectuará a una profundidad que oscila entre 20 y 25 cm. de profundidad, tomando en cuenta la profundidad

natural de dicho horizonte. En esta etapa también se producirá el destocoamiento. Para el control de la profundidad de esta actividad se puede realizar previamente al destape la confección de huecos de 4 a 5 cm. de diámetro y de 20 a 25 cm. de profundidad, los cuales se rellenarán con un material marcador, como polvos calcáreos, los cuales servirán para controlar la profundidad del destape en la medida que el buldócer avanza. Puede emplearse para el destape de la capa vegetal una mototrailla (Fig. V. 23).

d) Forma de almacenamiento de la Capa Vegetal y ubicación.

Producto que la capa vegetal tiene altos contenidos de arcillas (Suelos de la provincia de Holguín, 1985) los montones de almacenamiento de este material deben ser alrededor de 90 cm de altura.

La configuración del montón debe ser en forma de artesa, donde sus bordes deben tener una inclinación escalonada no mayor de 30° (Fig.V.22.).

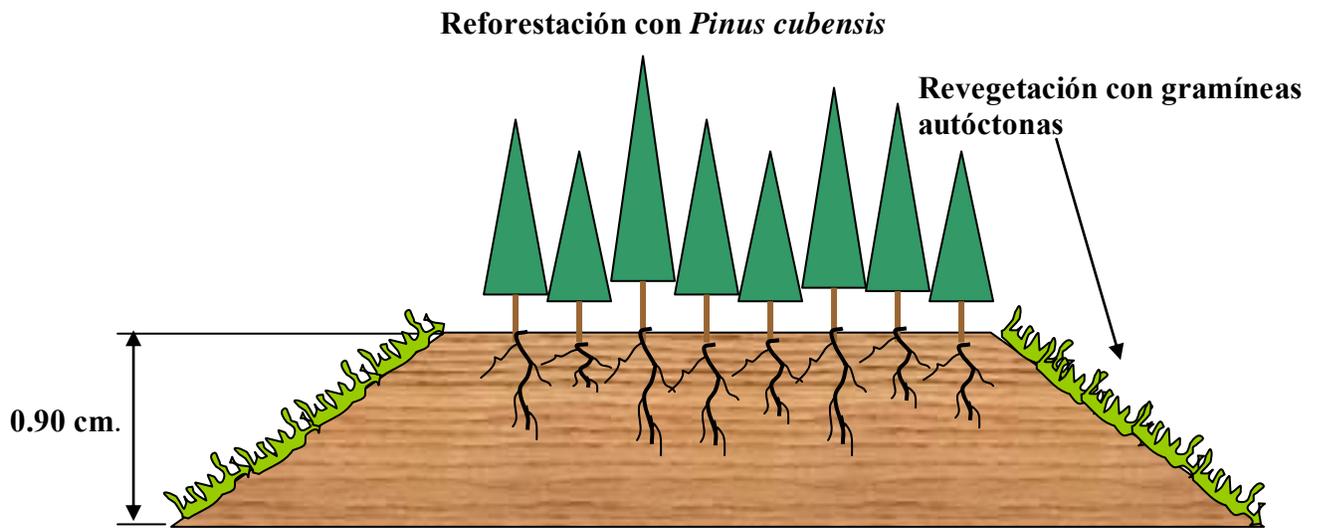


Fig. V.22. Almacenaje en forma de artesa combinada con plantación de gramíneas y pinos

La ubicación del montón debe ser a un lado del cuerpo minero con un relieve de baja pendiente, de tal forma que por erosión hídrica no se pierda el material.

e) Tiempo y ubicación del almacenaje.

El tiempo de almacenaje oscila entre 0 tiempo hasta 3 meses. Lo ideal es utilizar la capa vegetal de inmediato, o al menos con 2 meses de almacenaje para el proceso de rehabilitación ecológica. Si es necesario el almacenaje por más de 1 año (no más de 2 años), proceder a la reforestación y revegetación inmediata de dicho montón de capa vegetal con especies autóctonas, principalmente con *Pinus cubensis* y algún tipo de cobertura herbácea autóctona (gramíneas), los cuales mantienen viva algunas interacciones biológicas del suelo como las micorrizas y otros organismos asociados a las raíces de los pinos. Estos elementos favorecen el drenaje normal del suelo y disminuyen los procesos erosivos sobre el montón de almacenaje. Los pinos plantados pueden reutilizarse por moteo para lo cual las posturas no deben tener más de 2 año de plantadas. Se debe recordar que el montón no debe exceder los 90 cm.

f) Destape y almacenaje del Escombro Estéril.

En su mayoría el Escombro Estéril está constituido por el horizonte “B” del suelo, aunque puede tener partes del horizonte “C” del suelo.

Este se debe hacer con máquinas excavadoras o con buldócer, lo que dependerá en lo fundamental de la potencia de dicho material estéril y de la disposición o no de uno u otro equipo.

La profundidad dependerá de la potencia de dicho material estéril y abarcará un área determinada durante el Ordenamiento Minero Ambiental del yacimiento, el cual fue caracterizado a partir de la información obtenida durante la Exploración Geológica.

g) Ubicación, forma y tiempo de almacenaje del material estéril.

La ubicación del montón de estéril se realizará en un lado del cuerpo minero, alejado lo más posible a pendientes fuertes, de tal forma que durante las lluvias los procesos erosivos sean mínimos. La forma de almacenaje debe realizarse también en forma de artesa (Fig. V.20.), a una altura dada, determinada por el volumen y el espacio calculado que el montón ocupará. Nunca se realizará en forma piramidal.

Si el almacenaje del estéril fuera por más de 1 año, este será objeto de una compactación y reforestación y/o revegetación; los bordes del montón serán objeto de una revegetación con un estrato de gramíneas de rápido crecimiento o coberturas semi-artificiales (mantas) y la parte superior del montón o explanada, puede combinarse con gramíneas y árboles forestales también de rápido crecimiento, como *Pinus cubensis* o *Casuarina equisetifolia* (ver Rehabilitación Física y Biológica).

3. Extracción del Mineral.

Este debe realizarse según lo planificado en el Ordenamiento Minero Ambiental, procurando hacer los movimiento de tierra exclusivamente en los lugares de contenido mineral explotable, evitando dichos movimientos de tierra en lugares de bajo o nulo contenido de mineral, de tal forma que disminuyan los impactos negativos al suelo que pueden provocar erosión o pérdida innecesaria de capa vegetal (Capítulo IV, Normativas Ambientales).

La época de extracción dependerá del cronograma de producción de la planta procesadora, aunque es preferible realizarlo solo en periodos de poca o ninguna lluvia, el cual podrá ser llevado a almacenes bajo techo o zonas de secado para su aprovechamiento en épocas lluviosas.

Es conocido que la extracción del mineral se puede realizar a la vez en varios cuerpos mineros para proporcionar una mezcla óptima de mineral antes de que este se introduzca en el proceso de metalurgia, no obstante se debe procurar, que en cada cuerpo minero, se vallan dejando espacios preparados para entrar en el proceso de rehabilitación, y no esperar a que todo el yacimiento minero le sea extraído todo el mineral. Esto conlleva a una minuciosa organización y planificación (ver anexo No. 2).

Se debe señalar que durante esta actividad es muy importante hacer una planificación racional de la explotación del mineral, asegurando que se dejarán en los alrededores del yacimiento o cuerpo minero islas o corredores de biodiversidad en aquellos sitios con bajo contenido o volumen del mineral, lo cual garantizará durante la rehabilitación ecológica el regreso espontáneo de parte de la flora y la fauna (ver anexo No. 2).

Durante toda la actividad de extracción el personal de supervisión, control o inspección deben velar por que se aplique con todo rigor las Normativas Ambientales para esta actividad (Normativas Ambientales, Capítulo IV).

4. Rehabilitación Física del terreno.

a) Restablecimiento del Relieve / Drenaje.

A partir de los datos obtenidos durante la Exploración Geológica respecto a la profundidad de la roca madre del yacimiento, se planificará en detalles todas las actividades de conformación del terreno, lo que incluye la confección y empleo del mapa de Relieve de Fondo a escala ejecutiva. Este mapa será la guía para la conformación del terreno una vez extraído el mineral.

En esta etapa se incluirá los cálculos de los volúmenes de material estéril que debe moverse y que se localiza en el cuerpo minero.

También se planificarán las obras ingenieriles necesarias, como caminos, lagunas de sedimentación, alcantarillas y puentes entre otras obras. Una vez obtenido el diseño de la obra a escala de ingeniería de detalle, así como los materiales necesarios para efectuar dicha obra, se procederá a la ejecución de la rehabilitación física.

La conformación del terreno se realizará de la siguiente forma:

- Conformación del fondo pedregoso + escombros estéril residual del terreno mediante la utilización de un buldócer de alta potencia, procurando la reconstrucción de la red de escurrimiento hídrico superficial, de tal forma que se inserte al escurrimiento del entorno natural del área. Como guía se empleará el mapa de Relieve de Fondo.
- Una vez conformado el relieve de fondo, en dependencia de la pendiente del terreno, se procederá a la construcción o no de terrazas. Si la pendiente es mayor que la pendiente natural original del área entonces se procederá a la construcción de terrazas.
- Donde sea necesario se construirán lagunas de sedimentación, las cuales evitarán o disminuirán la sedimentación hacia las diferentes cuencas naturales de arroyos y ríos.
- En esta etapa se construirán las obras ingenieriles, como caminos, puentes y alcantarillas, procurando que donde existan posibilidades de altos volúmenes de agua producto del escurrimiento masivo, poner preferiblemente puentes de fondo abierto y no alcantarillas, para lo cual se calculará con precisión el máximo de crecida posible para un tiempo determinado, tomando en cuenta que el volumen de escurrimiento está determinado por el área de captación de agua, el largo de la pendiente y el valor en grados de dicha pendiente.
- Se puede considerar en esta etapa la construcción de presas de envergadura, con la función de almacenar agua para diferentes usos, como el agrícola o para la población (no como agua potable en sus primeras fases). Este tipo de construcción permitirá mantener o recuperar el equilibrio del régimen hídrico entre las zonas montañosas y las zonas llanas aledañas. En toda la superficie del fondo de las presas se depositará una capa de unos 20 cm de material estéril, lo que reducirá la transformación de Fe_2 a Fe_3 , el cual es un compuesto químico perjudicial para la salud de animales y del hombre.

b) Distribución del escombros estéril y subsolación del terreno.

- La distribución del escombros estéril se efectuará una vez conformado el relieve y se realizará mediante la utilización de camiones de volteo, tractores, cargador frontal y buldócer.
- Como dijimos con anterioridad la mejor fecha de distribución del escombros será en la época de sequía (enero – abril) y su forma de aplicación sobre el terreno dependerá en lo fundamental de la pendiente del terreno a rehabilitar.
- Si el relieve recuperado tiene una pendiente menor a que la pendiente natural original, entonces se empleará un buldócer o una mototrailla para la distribución del escombros con uniformidad. Si el relieve es mayor de dicha pendiente natural, entonces es necesario la construcción de terrazas y se empleará un camión, un cargador frontal y un buldócer para la distribución del escombros sobre la pista de la terraza de forma uniforme.
- El grosor del escombros estéril dependerá de los volúmenes almacenados durante el destape del yacimiento. Lo óptimo sería un grosor no menor de 1 m.
- Para el caso de las terrazas, el grosor óptimo sería de 40 cm., no obstante se tiene que tomar en cuenta que en ocasiones no hay material estéril disponible o es muy deficiente, por lo cual el grosor disminuirá considerablemente o será nulo.
- Una vez depositado el material estéril sobre el relieve de fondo, se procederá a la subsolación del terreno, para lo cual se empleará un buldócer con un subsolador (Fig. III.11.). Este se realizará a una profundidad de 1m cuando las condiciones del terreno lo permitan y siempre se efectuará siguiendo las curvas de nivel. Entre un surco de subsolación y otro se guardará una distancia entre 1.5 y 2 m. La subsolación permitirá que buena parte del escurrimiento durante las abundantes precipitaciones de la región se efectúe de forma interna (dentro del terreno), así como que el escombros estéril penetre en las capas inferiores del terreno y que las raíces de los árboles plantados a posterior penetren y se agarren con más fuerza en el terreno. Los surcos de subsolación deben ser marcados con estacas en su derrotero para la optimización de la plantación de árboles, o sea, para que la futura plantación siga el curso de dichos surcos.

c) Distribución de la capa vegetal conservada.

- Seguido a la subsolación del terreno se procederá, cuando esta exista, a la deposición de la capa vegetal biológicamente activa. Esta actividad se efectuará mediante el uso de un cargador frontal y un camión de volteo, el cual será de dimensiones medias.
- Si la reutilización de la capa vegetal es inmediata, entonces se podrá utilizar una mototrailla para su distribución uniforme de la misma sobre el escombros estéril (Fig.V.23.).
- Una vez distribuida la capa vegetal se procederá a la apertura de los huecos de plantación. Los huecos deben seguir un patrón de distribución, y siempre que se pueda, aplicar un marco de plantación a tres bolillos (Fig.V.24.), con una distancia de plantación entre 1 o 1.5 metros, pues como la misma tiene un banco de semillas activas, se desarrollarán de forma espontánea un rebrote de hierbas y arbustos los cuales competirán con el desarrollo de las plántulas de

los árboles.

- Si la plantación se realiza sobre escombro estéril directo, entonces la distancia de plantación será a 2 metros o más, pues no existirá en un inicio ninguna competencia con otras plantas que no sean las de la misma especie plantada.

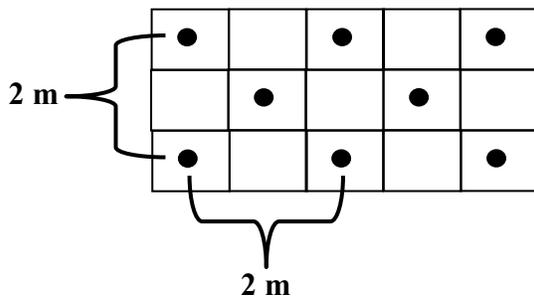


Fig. V.23. Mototrailla (pala transportadora) para destape, traslado y deposición de la capa vegetal. (Environment Australia, 1997)

Medio Ambiente Australia

La pala transportadora coloca y esparce la capa vegetal en la mina de bauxita Willowdale de Alcoa en Australia Occidental.

Fig. V.24. Plantación a tres bolillos



- Los huecos de plantación tendrán una dimensión de 15 cm de profundidad por 10 cm de ancho.
- En los huecos, si existe la posibilidad, debemos hacer una fertilización de fondo con materia orgánica, la cual favorecerá la fertilización y la regulación hídrica a la plántula en la primera etapa del crecimiento.

- Una vez realizado todo lo anterior procedemos a la plantación de los árboles, lo cual debe ser a comienzos de la época lluviosa, que en Cuba corresponde a los meses de mayo y septiembre – octubre.
- A un año aproximado de la plantación, revisar el % de supervivencia de las posturas, y de inmediato realizar la reposición de las posturas muertas. Esto se realizará en los meses de sequía, y en los meses de humedad o lluvia realizar la reposición de plántulas.
- Si fuera necesario, realizar a los 3 años de la plantación una fertilización inorgánica con fertilizantes de formula completa, o sea, con N, P, K según las normas establecidas.

5. Rehabilitación Biológica.

La reutilización inmediata de la capa vegetal fresca en si es una rehabilitación biológica pues en ella hay contenidos de semillas, rizomas y otros propágulos de vegetación, así como microorganismos, fauna edáfica, y otros elementos, que de forma espontánea se desarrollarán.

La rehabilitación biológica considera dos componentes fundamentales, la rehabilitación de la flora y la rehabilitación de la fauna (faunización).

Restauración de la flora.

Considerando las particularidades del terreno y los fines de la restauración de la flora se podrá realizar de dos formas, la Biológica Directa y la Biológica Sucesional.

- Biológica Directa.

Se realiza cuando el terreno posee condiciones ecológicas favorables (presencia de capa vegetal conservada, nutrientes y humedad del suelo). Se emplea desde un inicio las especies definitivas, o sea, las especies que estarán toda la vida en el terreno, para el caso de lateritas níquelíferas de Cuba debe ser el *Pinus cubensis*.

Cuando el grosor del sustrato final es pobre, o sea, entre 20 y 30 cm, considerando la capa vegetal + el escombro estéril, se empleara de nuevo *Pinus cubensis*, pero en esta ocasión las plántulas de esta especie serán obtenidas a partir de una masa semillera rústica, o sea, de pinos adaptados a condiciones ecológicas extremas, como pinares sobre suelos esqueléticos (*Pinetum anemietosum*, sensus Samek)

- Biológica Sucesional (Reforestación sucesional).

Se realiza cuando el sustrato está compuesto solo por material estéril, preferiblemente de poca profundidad, primero se planta una especie que prepare o recupere las condiciones del suelo, bien sea por simbiosis con microorganismos nitrificantes o por su aporte de materia orgánica de su follaje, la cual permanecerá en el sitio hasta que estén listas las condiciones del suelo; segundo, después de eliminar esta especie se planta otra u otras especies, las cuales irán complementando la preparación definitiva del suelo y del bosque. Para ello se debe tomar muy en cuenta la estrategia natural de las especies de plantas cuando hacemos un claro en el bosque natural o de reemplazo, la cual es la siguiente:

Plantas pioneras: especies de crecimiento muy rápido y maderas blandas que colonizan inicialmente las áreas degradadas con un aporte importante de materia orgánica y proveen un microclima favorable para el establecimiento de otras especies de crecimiento más lento.

Plantas colonizadoras: especies de crecimiento más o menos rápido y maderas semiduras que se establecen en el sitio después de las pioneras y junto con ellas garantizan las condiciones para la entrada y establecimiento de las especies clímax de crecimiento más lento.

Plantas estabilizadoras y rezagadas: especies clímax de crecimiento lento y maderas duras, aparecen en las últimas etapas sucesionales y son las encargadas de estabilizar el ecosistema y tipifican su funcionamiento.

Por ejemplo, un sitio formado solo por escombros estériles de poca profundidad (20 – 30 cm.) se debe aplicar la reforestación sucesional, plantando primero una especie que prepare las condiciones biológicas del suelo, como *Casuarina equisetifolia*, que fertiliza con nitrógeno el suelo y le aporta suficiente materia orgánica, y posterior, al cabo de 8 a 10 años, cortar esta especie y plantar la especie definitiva, que para el caso será *Pinus cubensis*. La casuarina, una vez talada podrá usarse para la elaboración de carbón vegetal o directamente como leña.

Cuando el sustrato este formado solo por escombros estériles pero de profundidad considerable (+ de 40 cm de profundidad), se puede plantar también primero una especie que prepare las condiciones del suelo, y posterior plantar la especie definitiva, aunque para estos casos es aconsejable plantar desde un inicio la especie definitiva (*Pinus cubensis*)

El empleo de la casuarina puede ocasionar como consecuencia la introducción de especies vegetales invasoras, pues la casuarina puede traer en las bolsas semillas de este tipo de plantas, además que la fertilización nitrogenada y el aporte de materia orgánica puede crear condiciones ecológicas favorables en los suelos para el desarrollo de malezas secundarias, lo cual es desfavorable para el desarrollo de ecosistemas para la conservación. Cuando esto ocurra hay que tomar en cuenta que especies se irán estableciendo de forma espontánea, por ejemplo si son plantas más sensibles, sensibles, resistentes (indiferentes) y oportunistas a las perturbaciones en el ecosistema, para lo cual hay que realizar un plan de mantenimiento para el control de las mismas. Estas plantas están definidas de la siguiente manera:

Plantas más sensibles: especie que desaparece cuando se inicia una perturbación.

Plantas sensible: especie que disminuye sensiblemente su población ante una perturbación.

Plantas resistente: especie indiferente que mantiene su población estable ante una perturbación

Plantas oportunista: especie que ante una perturbación aumenta considerablemente su población.

- Otras técnicas de rehabilitación biológica.

a) Plantación de arbustos.

Esta técnica consiste en la obtención de posturas de arbustos autóctonos obtenidos en viveros o por moteo en bosques naturales o de reemplazo y posterior plantarlos en áreas en proceso de rehabilitación. Pero para ello, hay que conocer en detalle cual es la sucesión de especies de la flora en ecosistemas naturales, o sea, conocer cuáles son las especies pioneras, las especies que aportan alimentos a la fauna y las especies definitivas en la sucesión, para reproducirlas y posterior plantarlas en el área deseada. Esto conlleva a una investigación con el propósito de domesticar dichas especies, algo que en Cuba se conoce muy poco para las áreas niquelíferas. Es importante en esta etapa dirigir los trabajos a reproducir especies para alimentos de fauna, en especial de aves y murciélagos, pues ellas son dispersoras de semillas de plantas autóctonas.

b) Plantación de capa vegetal (nucleación)

Esta técnica debe emplearse cuando se han establecido sistemas boscosos sobre material estéril y consiste en tomar porciones de capa vegetal (o núcleos de suelo) de ecosistemas naturales o de reemplazo y posterior, depositar dicha capa vegetal en huecos preparados al efecto en terrenos en proceso de rehabilitación ecológica, lo cual favorecerá el desarrollo espontáneo de la flora autóctona.

Para aplicar esta técnica primero seleccionar de donde se extraerá la capa vegetal, la cual debe ser de ecosistemas boscosos lo más conservados posibles. Una vez realizada esta selección proceder a la obtención de dicha capa vegetal la cual se obtendrá haciendo calicatas en el suelo en espacios de 40 cm de diámetro y 15 a 25 cm de profundidad, almacenando dicho suelo para su traslado y reutilización en bolsas preferiblemente de saco o de tela. Segundo preparar en las plantaciones seleccionadas para su enriquecimiento de especies los correspondientes huecos, con una profundidad de unos 20 a 25 cm y diámetro aproximado de 40 cm. Estos huecos podrán ser distribuidos en un marco de 5 x 5 m, preferiblemente a 3 bolillos. La fecha de realizar dicha actividad será en los meses de seca, o sea, para Cuba entre marzo y abril.

Restauración de la fauna (faunización).

La faunización de un área devastada por la minería consiste en la reintroducción de la fauna al sitio, preferiblemente la fauna autóctona.

Esta es una etapa importante de cualquier proyecto de Rehabilitación Ecológica cuyo objetivo sea la conservación del ecosistema.

Consideraciones para el reintegro de la fauna (Según, Ward, 1997).

- El nivel de reintegración de la fauna depende de una serie de factores, tales como el tamaño de la zona a rehabilitar, las poblaciones de fauna en las zonas adyacentes y del éxito del Programa de Revegetación y Reforestación.
- Algunos invertebrados se integrarán a la zona en rehabilitación si se deposita la Capa Vegetal Conservada en el terreno, pero la mayoría de la fauna deberá reincorporarse de zonas aledañas con ecosistemas naturales bien conservados, como son las islas o corredores de la biodiversidad.
- Muchos grupos de la fauna se establecerán rápidamente en una zona que provea los recursos necesarios para la subsistencia de la fauna, por ejemplo, comida, resguardo de hábitat y áreas adecuadas para su reproducción.
- Un muchos casos el objetivo principal del reintegro de fauna será el apoyo al restablecimiento de la vegetación y flora autóctona, como es el caso de murciélagos, aves y hormigas. Se deben plantar o sembrar especies de la flora autóctona que la fauna emplea para su subsistencia.
- Habrá dificultades en el restablecimiento cuando hay niveles bajos de poblaciones de

animales en zonas cercanas o cuando la especie deseada este extinguida en un radio bien grande. Para estos casos se recomienda la implementación de un Programa de Cría de animales en espacios preparados para esto y su posterior liberación en las zonas en proceso de rehabilitación.

- La fauna tardará en reintegrarse cuando las especies necesitan recursos que no están disponibles en la zona, sobre todo en las etapas iniciales de la rehabilitación.
- Se podrá acelerar el reintegro de la fauna si se crean hábitats y corredores adecuados, utilizando troncos, tocones, piedras y otros materiales. Los corredores faunísticos que se extienden desde zonas aledañas hasta el centro de la zona en rehabilitación fomentarán el regreso de reptiles y algunos mamíferos, que por lo general son reacios a atravesar espacios abiertos medianamente grandes. Ubicando sobre el terreno estructuras de madera en forma de “T”, con una altura entre 1 y 1.5 m. se acelera el regreso de ciertas especies de aves de forma temprana, que a la vez estas, en sus excrementos, reincorporan generalmente pequeñas semillas de plantas autóctonas, lo cual favorece el desarrollo de la vegetación original. Se puede, por ejemplo, ubicar troncos con huecos y nidos artificiales en determinadas alturas para favorecer también el regreso de las aves.
- Algunos grupos de animales, son importantes en muchos de los procesos ecológicos, tales como el ciclo de nutrientes (descomponedores de materia orgánica), la aireación del suelo (lombrices), la dispersión de semillas (aves, murciélagos), la polinización (abejas). Los invertebrados son además parte importante de la cadena alimenticia de numerosas especies de la fauna. Las hormigas, en hábitats secos, son un grupo importante en el desarrollo de áreas en rehabilitación, pues las mismas en muchos casos son dispersoras de semillas y proporcionan el restablecimiento de los suelos.
- Se utiliza con frecuencia en diversos países la abundancia y diversidad de invertebrados para medir la efectividad de la rehabilitación ecológica. Por ejemplo las hormigas constituyen un grupo ideal para usarlas como indicadores biológicos en la evaluación de programas de rehabilitación ecológica de áreas devastadas por la minería.

Mantenimiento (Según Ward, 1997).

Las zonas en proceso de rehabilitación deberán ser controladas y administradas inclusive después de realizada la rehabilitación ecológica como tal por un periodo de tiempo más o menos prolongado. La invasión de animales exóticos, la maleza y el público en general pueden comprometer el éxito de la rehabilitación.

El mantenimiento de zonas en proceso de rehabilitación suele comprender los elementos siguientes:

- a) Volver a plantar en zonas fracasadas o inadecuadas.
- b) Reparación de zonas erosionadas.
- c) Control de incendios.

- d) Control de plagas y enfermedades.
- e) Control de colonias de plantas y animales exóticos o invasoras.
- f) Aplicación de fertilizantes inorgánicos y orgánicos.
- g) Riego de a las plantas en épocas de grandes sequías. Especialmente en la fase de establecimiento de las plantas.

Los incendios juegan un papel importante en el desarrollo de las zonas forestales en áreas en rehabilitación. Algunas especies plantadas no toleran el fuego, o son intolerantes cuando son jóvenes, por lo cual será necesario la elaboración y puesta en marcha de un programa de prevención contra incendios por varios años, o por lo menos hasta que la vegetación pueda sobrevivir a los incendios o sea capaz de formar semillas, lo cual le permite restablecerse espontáneamente después de un incendio.

Los programas de prevención de incendios incluirán:

- a) Líneas cortafuegos, que pueden ser caminos, trochas, forestación con plantas resistentes al fuego (Ej. árboles latifolios siempreverdes).
- b) Quemadas controladas cuando sea necesario.
- c) Control de malezas y hierbas propensas a incendios (material combustible).
- d) Señalización de prohibición de fumar o hacer fogatas.
- e) Señalización de zonas altamente vulnerables a incendios.
- f) Puesta en práctica de Programa de Educación Ambiental contra incendios en comunidades, organizaciones empresariales y transeúntes.

CRITERIOS DE RENDIMIENTO Y MEDIDAS DE CONTROL PARA LA REHABILITACIÓN ECOLÓGICA MINERA.

Criterios de Rendimiento.

Es indispensable evaluar periódicamente el rendimiento de las áreas en proceso de rehabilitación, así como estar preparados a implementar trabajos o medidas adicionales en dichas áreas cuando sea necesario.

Los criterios de rendimiento deben establecerse de común acuerdo con las entidades de Control, Inspección y Supervisión, así como con los interesados a nivel de empresa. El debate referente a lo que constituye el fin del proceso de rehabilitación ecológica de una zona no podrá resolverse hasta tanto no se llegue a un cabal acuerdo de qué se puede considerar como un ecosistema rehabilitado.

No obstante, las empresas y los organismos de regulación medioambiental deben enfrentar este tema con realidad y flexibilidad.

Se considera necesario al menos aplicar los siguientes criterios de rendimientos para zonas en proceso o rehabilitadas (Ward, 1997):

- a) Aspectos físicos, tales como; estabilidad del terreno, resistencia a la erosión, y restablecimiento del drenaje.
- b) Aspectos biológicos, tales como; riqueza de especies autóctonas y exóticas, cobertura vegetal a nivel de especie y de vegetación, estructura de la vegetación, densidad de los individuos de la vegetación, producción de semillas viables, reintegro de fauna, control de maleza, productividad vegetal, establecimiento del ciclo de nutrientes, etc.
- c) Normas de calidad del agua de drenaje.
- d) Uso público y empresarial de las zonas rehabilitadas.

El debate referente a lo que constituye el fin del proceso de rehabilitación ecológica de una zona no podrá resolverse hasta tanto no se llegue a un acuerdo sobre temas tales como (Ward, 1997):

- a) Qué constituye un ecosistema estabilizado (físico y biológico).
- b) Qué significa un nivel adecuado de diversidad de especies.
- c) Hasta qué punto la zona rehabilitada será indistinguible de las zonas adyacentes con vegetación natural.
- d) Hasta qué punto se ha obtenido un drenaje adecuado y con la calidad requerida.
- e) Hasta qué punto los procesos erosivos han sido detenidos (valores bajos de sólidos en suspensión después de la lluvia, y detención del proceso de formación de cárcavas).

Evaluación del Desempeño Ecológica de la Rehabilitación Ambiental.

A. Evaluación Fisicogeográfica y Biogeográfica.

“Es indispensable evaluar periódicamente el estado ecológico de las áreas en proceso de rehabilitación, así como estar preparados a implementar trabajos o medidas adicionales en dichas áreas cuando sea necesario” (Ward, 1997).

Para esta evaluación se debe primero elaborar y aplicar un programa de Monitoreo Ambiental. El MA debe empezar en el momento de terminada la rehabilitación biológica de la primer área del Cierre Progresivo. Para Cuba, la periodicidad del monitoreo será 2 veces al año como mínimo, o sea, un monitoreo en tiempo de seca y otro en tiempo de lluvia, procurando que el monitoreo de lluvia sea después de un buen aguacero. El monitoreo de seca debe realizarse en la temporada más fría, o sea entre Febrero y Marzo. Cada elemento a monitorear será acorde con la metodología adecuada para cada elemento o parámetro.

Los criterios de evaluación deben coordinarse de común acuerdo con las entidades de Control e Inspección del CITMA (Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente), para Cuba, así como con los interesados a nivel de empresa.

Para el punto de la evaluación ecológica de un sitio rehabilitado o en proceso se presenta la utilización de un indicador ecológico que precisamente se le nombra “Calidad Ecológica”.

Después de preguntarnos y responder los anteriores criterios, debemos definir desde el punto de vista espacial que dimensiones debemos tomar en cuenta para definir los niveles de evaluación.

Se puede considerar tres dimensiones espaciales:

La Parcela

La Microcuenca.

Un área de 100 m².

a) Parcela.

La parcela permitirá conocer con precisión el estado ecológico de un ecosistema determinado a nivel de unidad funcional. Se propone que la parcela sea de 400 m². (Samek, 1973), lo cual sobrepasa las dimensiones mínimas para evaluar cualquier tipo de vegetación (arbórea, arbustiva y herbácea). El nivel de parcela se presta mejor para monitoreos periódicos. La parcela no evalúa con precisión los recursos Fisicogeográficos de un área determinada.

b) Microcuenca.

La microcuenca permitirá determinar la Calidad Ecológica para un momento dado a nivel de unidad geográfica tangible y puede abarcar todos los parámetros ecológicos a evaluar correspondiente a los recursos Fisicogeográficos, Biogeográficos y en algunos casos hasta los Socioeconómicos.

Para esta dimensión los valores de calidad ambiental no son referenciales, pues cada microcuenca tiene sus particularidades intrínsecas, por lo cual solo daremos los valores para un momento determinado en un tiempo dado. Estos valores se irán monitoreando a medida que pasa el tiempo, lo cual permitirá conocer el carácter de la evolución (positivo o negativo y velocidad) en la unidad geográfica (Ward, 1997).

La evaluación se realizará sobre la base de la aplicación de Indicadores Ecológicos, los cuales mientras más integrales sean, más efectivos serán.

A nivel de Microcuenca se presta mejor para el análisis de entrega de terrenos o zonas ya rehabilitadas o próximas a su entrega al propietario definitivo.

c) Área de 100 m².

Abarca un área equivalente a 10 000 metros cuadrados, por lo cual tiene similitudes funcionales con el área correspondiente a la microcuenca, pues en ella se pueden verificar prácticamente todos los parámetros ecológicos considerados en los recursos Fisicogeográfico y Biogeográficos

Indicadores Ecológicos

Los **Indicadores Ecológicos** son las variables que representan el estado ecológico de los recursos Fisicogeográficos y Biogeográfico en un tiempo y lugar dado (Barrera et al, 2010).

Para la aplicación de los indicadores debemos tener bien claro que el objetivo de los mismos es conocer el estado de la calidad de la rehabilitación ecológica de áreas devastadas por la minería a cielo abierto en un tiempo y espacio determinado. Los criterios de evaluación deben establecerse para cada área de interés y deben tomar en cuenta el estado ecológico del área después de rehabilitada físicamente y el Uso del Suelo posterior que se le pretenda dar a la tierra. Tanto en los Cierres Progresivos como en el Cierre Final de una actividad minera debe evaluarse mediante los programas de monitoreo.

Calidad Ecológica.

Para tener una idea más real de la magnitud de la calidad del resultado de rehabilitación se considera más oportuno aplicar la evaluación referida a nivel de microcuenca.

Antes de la realización de la evaluación debemos tener bien claro el tipo de formación vegetal que se pretende implantar, o sea:

- a) Vegetación Original.
- b) Vegetación de Reemplazo.

A partir del modelo de matriz de evaluación de recursos turísticos (Oficina Regional de la FAO, 1992) para Áreas Protegidas, se confecciona la Matriz de Evaluación de la Calidad Ecológica para áreas en procesos de rehabilitación ecológica minera (Tabla V.9.) a nivel de microcuenca.

La tabla 9 nos permite determinar qué criterios, aspectos o procesos de la rehabilitación en un sitio determinado tienen dificultades o deficiencias. Nos permite plantearnos prioridades de

manejo, de tal forma que podamos ir orientando las acciones y recursos necesarios para ir mejorando el desempeño de la rehabilitación.

Indicador de Calidad Ecológica.

Tabla V.9. Matriz de evaluación de la Calidad Ecológica de un sitio determinado.

CALIDAD ECOLOGIA				
NIVEL # 1. CALIDAD FISICOGEOGRÁFICA (CF)				
No.	Indicadores	BIEN	REGULAR	MAL
		27 - 19	18 - 10	9 - 1
1	Reconstrucción del relieve			
2	Erosión			
3	Sólidos en suspensión			
4	Calidad química y física del agua de drenaje			
5	Restablecimiento de red de drenaje			
Σ de Indicadores de CF		BIEN	REGULAR	MAL
5 x 27 = Valor máximo (Vm)		135	100 - 68 %	67 - 34 %
Calidad Ecológica de CF = CF/135 x 100				33 - 3 %
NIVEL # 2. CALIDAD BIOGEOGRÁFICA (CB)				
No.	Indicadores	BIEN	REGULAR	MAL
		27 - 19	18 - 10	9 - 1
6	# especies de la flora autóctona.			
7	# especies de la fauna autóctona.			
8	# especies de fauna dulceacuícolas autóctonas			
9	# de estratos de la vegetación.			
10	% de cobertura de la vegetación.			
Σ de Indicadores de CB		BIEN	REGULAR	MAL
(Idem) Valor máximo (Vm)		135	100 - 68 %	67 - 34 %
Calidad Ecológica de CB = IC/135 x 100				33 - 3 %
NIVEL # 3. CALIDAD CONSERVACIONISTA (IC)				
No.	Indicadores	BIEN	REGULAR	MAL
		18 - 13	12 - 7	6 - 1
11	# especies endémicas de flora.			
12	# especies endémicas de fauna.			
13	# especies en peligro de flora			
14	# especies en peligro de fauna			
Σ de Indicadores de CC		BIEN	REGULAR	MAL
4 x 18 = Valor máximo (Vm)		72	100 - 68 %	67 - 34 %
Calidad Ecológica de CC = CC/72 x 100				33 - 3 %
NIVEL # 4. ANTROPIZACIÓN (A)				
No.	Indicadores	BIEN	REGULAR	MAL
		18 - 13	12 - 7	6 - 0
15	# especies exótica para el área de la flora.			
16	# especies exótica para el área de la fauna.			
17	# especies invasora de la flora.			
18	# especie invasora de la fauna			

Σ de Indicadores de A		BIEN	REGULAR	MAL
4 x 18 = Valor máximo (Vm)	72	100 – 68 %	67 – 34 %	33 – 3 %
Calidad Ecológica de A = A/72 x 100				
EVALUACIÓN GENERAL DE LA CALIDAD ECOLÓGICA (CE) DEL SITIO				
Σ de niveles de CE		BIEN	REGULAR	MAL
Valor máximo	414	100 – 68 %	67 – 34 %	33 – 3 %
Calidad Ecológica en % = CE/414 x 100	%			

Procedimiento para aplicar la Matriz de Evaluación de Calidad Ecológica.

Nivel # 1. Calidad Fisicogeográfica.

Esta está referida a la rehabilitación física del área y en lo esencial consiste en un grupo de actividades y operaciones encaminada al restablecimiento y conservación del relieve después de la explotación de un yacimiento a cielo abierto. Esta incluye la estabilidad del terreno, el restablecimiento del drenaje, las operaciones físicas para disminuir al máximo la erosión y el establecimiento de una cobertura vegetal que contribuye fuertemente a la disminución de la erosión.

1. Reconstrucción del relieve.

Esta se puede evaluar observando los siguientes elementos en el terreno:

- Terreno conformado o no, si es total o parcial.
- Pendiente del terreno; mientras más cercana sea a la pendiente natural de áreas no devastadas, el terreno tendrá mayor estabilidad.
- Existencia de desprendimientos, hundimientos o movimientos visibles del terreno.
- Existencia o no de cárcavas y su tamaño.
- Otros aspectos.

2. Erosión.

Esta se puede evaluar observando los siguientes elementos en el terreno:

- Existencia o no de cárcavas y su tamaño.
- Determinación de la existencia o no de erosión laminar y su intensidad.
- Determinación de la inclinación y largo de la pendiente.
- Existencia de tranques antierosivos y su eficacia.
- Existencia de lagunas de sedimentación
- Medidas antierosivas del relieve.
- % de cobertura total de la vegetación del área
- Otros aspectos.

3. Sólidos en suspensión.

Este se puede evaluar obteniendo, pesando y determinando los sólidos no disueltos contenidos en el agua de drenaje.

- Medición del peso de los sólidos en suspensión por unidad de volumen.

4. Calidad química y física del agua de drenaje (Geoquímica).

Esta se puede evaluar determinando los siguientes elementos del agua

- Cantidad y tipos de metales pesados.

- Compuestos químicos totales
- pH. del agua.
- Conductividad del agua.
- Otros contaminantes.

5. Restablecimiento del drenaje.

- Existencia de una correcta red de drenaje.
- Construcción de obras, como puentes de fondo abierto, alcantarillas, pasos de agua a nivel, filtros de piedra, y otras.
- Terraceo cuando sea necesario.
- Subsolación del terreno.

Nivel # 2. Calidad Biogeográfica.

La evaluación de la Rehabilitación Biológica consiste en conocer valores tangibles de la biodiversidad del sitio que está en proceso de rehabilitación. Esta toma en cuenta el número de especies de la flora propias del ecosistema deseado, el número de especies de la fauna propias del ecosistema deseado y el número de estratos de la vegetación obtenida y la cobertura de cada estrato. Los valores obtenidos serán comparados con los valores de la vegetación original natural o de reemplazo.

6. Riqueza de especies de la flora autóctona.

Este se puede evaluar colectando y determinando las especies de la flora.

7. Riqueza de especies de la fauna autóctona.

Este se puede evaluar colectando y determinando las especies de la fauna.

- Insectos (hormigas, abejas, mariposas)
- Reptiles
- Anfibios
- Moluscos
- Aves (residentes permanentes y migratorias)
- Mamíferos (murciélagos, ratones, perros, gatos, jutía, y otros)

8. Riqueza de la biota acuática.

Este se puede evaluar colectando y determinando las especies de la fauna que viven en las aguas de drenaje o estancadas.

- Peces
- Anfibios
- Crustáceos decápodo

9. Número de estratos de la vegetación.

Este se evalúa determinando el número de estratos de la vegetación y sus características.

- Estrato herbáceo
- Estratos arbustivos
- Estratos arbóreos.
- Estrato emergente
- Sinucias de la vegetación.

10. % de cobertura vegetal.

Esta se puede evaluar determinando u observando los siguientes elementos en el terreno:

- Determinación del % de cobertura, que puede ser medida por el método de parcelas puntuales. La mejor cobertura es entre 70 y 85 %.
- Porte de las plantas empleadas; hierbas, arbustos y árboles. Lo mejor es la combinación de los tres portes.
- Altura de la vegetación.
- Otros aspectos.

Nivel # 3. Calidad Conservacionista.

Este nivel nos permite valorar la importancia conservacionista del ecosistema obtenido y para ellos se deben coleccionar y determinar ejemplares de la flora y la fauna.

11. El # de especies endémicas de la flora

- Endémicos Locales
- Endémicos Distritales
- Endémicos Regionales.

12. El # de especies endémicas de fauna

- Endémicos Locales
- Endémicos Distritales
- Endémicos Regionales.

13. Especies en peligro de extinción de la flora.

- Número total de especies en peligro de extinción.

14. Especies en peligro de extinción de la fauna.

- Número total de especies en peligro de extinción.

Nivel # 4. Valores de Antropización.

Estas especies se consideran de efectos negativos pues su presencia en un ecosistema determinado nos informa sobre el nivel de antropización de un ecosistema. Estas se pueden clasificar de la siguiente forma:

15. Especies exóticas para el área de la flora.

- Es aquella especie de la flora que no es propia del país o de la región y que se ha introducido por el hombre en un terreno determinado.

16. Especies exóticas para el área de la fauna.

- Es aquella especie de la fauna que no es propia del país o de la región y que se ha introducido por el hombre en un terreno determinado.

17. Especie invasora de la flora.

- Especie de la flora capaz de producir descendencia reproductiva en áreas distantes a los sitios de introducción, mostrando una clara expansión y cuya presencia y distribución genera efectos negativos sobre su entorno. Estas especies generalmente son exóticas, aunque algunas autóctonas se pueden convertir en invasoras.

18. Especie invasora de la fauna.

- Especie de la flora capaz de producir descendencia reproductiva en áreas distantes a los sitios de introducción, mostrando una clara expansión y cuya presencia y distribución genera efectos negativos sobre su entorno. Estas especies generalmente son exóticas, aunque algunas autóctonas se pueden convertir en invasoras.

B. Rehabilitación Socioeconómica.

Evaluación del Uso Público y Empresarial de las zonas rehabilitadas.

Conjuntamente con la evaluación de la Calidad Ecológica se debe ir evaluando la evolución del Uso Público y Empresarial de las áreas en procesos de Rehabilitación Ambiental que fueron explotadas por la minería a cielo abierto. Esta evaluación incluye los siguientes aspectos:

- Uso del Suelo posterior a la Explotación Minera.
- Asentamientos establecidos.
- Red de accesos.

a) Uso del Suelo posterior a la Explotación Minera.

La vocación natural de los suelos lateríticos cubanos son eminentemente forestal, por lo cual dicha vocación se acentúa después de rehabilitación ecológica de los suelos devastados por labores mineras, pues en los mismos se incrementa la falta de fertilidad, disminuye el espesor de los suelos, el régimen de humedad del suelo disminuye considerablemente y los niveles de toxicidad del suelo puede incrementarse. Recordemos además que en las regiones niquelíferas cubanas ocurren las mayores precipitaciones del país (2000 – 4000 mm./año), por lo que el Uso del Suelo posterior a la minería debe ser Forestal, Hidráulico o Turístico.

Categorías de Uso forestal.

1. Bosque de Producción.
2. Bosque de Protección.

Categoría de Uso Hidráulico.

1. Agua para labores agrícolas.
2. Agua para labores industriales.
3. Agua potable.

El recurso agua se puede localizar en cursos de agua o en embalses.

Categoría de Uso Turístico.

1. Contemplación de paisajes y de recursos naturales e histórico - culturales.
2. Paseos en botes.
3. Senderismo.
4. Deportes acuáticos.

b) Asentamientos establecidos.

1. Número de casas en las áreas rehabilitadas.
2. Número de personas existentes por casa y comunidad.
3. Número de instalaciones productivas.

4. Actividades económicas en el área.
5. Ingresos per cápitas de las personas.

c) Red de accesos.

1. Existencia de caminos asfaltados y estado.
2. Existencia de caminos de tierra y estado.
3. Accesibilidad a las áreas.

MEDIDAS DE CONTROL E INSPECCIÓN AMBIENTAL.

Control e Inspección Ambiental de las áreas rehabilitadas o en proceso de rehabilitación.

Los mecanismos de Control, Inspección y Verificación de las Empresas pueden ser los siguientes:

1. Monitoreos Ambientales.
2. Auditorías Ambientales Internas
3. Auditorías Ambientales Externas
4. Inspecciones Ambientales Operativas.
5. Supervisión Ambiental Operativa.

Medidas de control.

Se encargaran de las medidas de control los organismos y entidades encargadas de ellos, como entidades del CITMA, del MINEM y del MINAGRI, así como los ejecutivos de empresas mineras responsables con dicha rehabilitación.

Estas entidades evaluarán periódicamente el desempeño ambiental del proceso de rehabilitación ecológica en las áreas en cuestión y cuando dicho proceso no marche bien, tomarán o propondrán las medidas pertinentes para rectificar o guiar el desempeño hacia el camino adecuado.

Como base para las evaluaciones podrán utilizar los criterios de rendimientos descritos con anterioridad.

Monitoreo Socioambiental.

El Monitoreo Socioambiental del Proyecto debe realizarse en dos direcciones fundamentales; (a) dirigidas a ejecutivos, trabajadores y contratistas y otro (b) dirigido a las comunidades de las áreas de influencia del proyecto minero.

a) Monitoreo dirigido a ejecutivos, trabajadores y contratistas

Debe tratar de conocer o evaluar el comportamiento humano en las diferentes operaciones propias de los trabajos mineros, el cual está definido por la interrelación conocimiento - conciencia - conducta. Medir o evaluar estos tres factores es algo muy difícil, por lo cual debemos realizar esta evaluación periódica sobre la base del desempeño ambiental del proyecto en todas sus etapas. Para esta evaluación se debe emplear las formas de evaluación descritas en el Capítulo III referido al Programa de Cultura Ambiental y Tecnológica.

Los periodos de evaluación dependerán de la etapa de la minería, pero siempre se realizaran antes del comienzo de las actividades, durante las actividades y al finalizar las actividades del Cierre Final de Mina.

b) Monitoreo dirigido a las comunidades.

Debe evaluar las incidencias, tanto positivas como negativas del proyecto minero durante toda su

vida útil sobre dichas comunidades. Debe hacer hincapié en el conocimiento de las opiniones de las comunidades sobre los impactos provocados por la actividad minera y así poder tomar medidas concretas para mejorar la calidad de vida de la población. Este monitoreo debe partir de los resultados del estudio de “Opinión Pública” sobre el proyecto, realizado en la etapa de Estudio de Impacto Ambiental

El monitoreo se efectuará antes y durante el proyecto y culmina en el Postcierre de Mina, en un período no menor de 3 años después de terminadas las actividades del Cierre Final de Mina y se evaluarán como mínimo los siguientes aspectos en dependencia de la etapa del Proyecto:

1. Opiniones de las comunidades antes, durante y después del Cierre Final de Mina, sobre todo de sus impactos negativos y positivos.
2. Incidencia de los impactos positivos y negativos sobre las comunidades.
3. Cultura Ambiental de la población.
4. Iniciativas de las comunidades para la protección y restablecimiento del medio ambiente circundante.
5. Comportamiento de la demografía y estructura social de las comunidades durante todo el Proyecto.
6. Cambios habitacionales y de estructura de servicios de las comunidades.