

# Guía Ambiental para Vegetación de Areas Disturbadas por la Industria Minero Metalúrgica

## INTRODUCCION

El propósito de este documento es proporcionar lineamientos concisos, prácticos y fácilmente viables para desarrollar un plan de recuperación adecuado para áreas disturbadas por la industria minero-metalúrgica. Estos lineamientos comprenden metodologías relacionadas al almacenaje de la capa superficial del suelo, arado con grada, muestreo de suelos, enmiendas y fertilización del suelo, selección de especies, equipo de rehabilitación, plantación, uso de coberturas inertes ("mulch"), irrigación, monitoreo y mantenimiento.

La implementación de estos lineamientos ayudará a la protección del bienestar y la salud humana, a la eliminación o reducción de efectos ambientales negativos asociados a la actividad minera y a la revegetación de áreas disturbadas a fin de recuperar las condiciones que presentaban éstas antes de las operaciones mineras o de establecer condiciones parecidas. Esta guía presenta conceptos básicos que ayudarán en la preparación del programa de vegetación que las empresas mineras presentarán al Ministerio de Energía y Minas. Se recomienda que estos programas de revegetación sean preparados e implementados por especialistas que tengan experiencia para adaptar esta guía a las condiciones locales.

## USO DE LA TIERRA

Una de las primeras etapas para desarrollar un plan de revegetación es determinar el uso que tendrá la tierra en la concesión, posterior a las operaciones mineras. Todas las áreas afectadas por las actividades relacionadas a la minería deben ser restauradas oportunamente, de manera que puedan estar en condición de mantener los usos que tenían antes del inicio de la actividad minera o una condición alternativa similar o mejor a la que existía antes de estas operaciones.

Sería ideal que se determine el uso de la tierra de la concesión minera antes de comenzar las operaciones si la situación así lo permitiese. Si la mina está en explotación, entonces se debe determinar el uso de la tierra antes de iniciar cualquier trabajo de revegetación. La definición del uso de la tierra dictará el tipo de revegetación seleccionada y proporcionará una guía general, así como las prácticas de revegetación específicas que se seguirán.

## Capítulo I. CARACTERIZACION DEL AMBIENTE PRE-MINERO

Se debe describir los recursos ambientales del sitio minero para obtener importante información básica, necesaria para desarrollar un plan de revegetación. Como mínimo, estos recursos deben incluir el clima, los suelos y la vegetación.

### 1. Información climatológica

Se debe recolectar información sobre el promedio mensual de precipitación pluvial y temperaturas promedio (máxima, media y mínima) en el área de la concesión minera o recurrir a una estación meteorológica cercana a fin de obtener dichos datos, para ayudar a definir las condiciones de crecimiento de la planta y el momento adecuado para las actividades de revegetación. Cuanto mayor sea el periodo para recolectar información climatológica, más confiables serán los datos para tomar decisiones de revegetación. En general, para caracterizar adecuadamente una concesión, será conveniente recolectar información de los diez últimos años.

### 2. Información sobre el recurso suelo

Se debe realizar una investigación del suelo en todas las áreas que serán disturbadas por las operaciones de superficie e instalaciones antes que ocurra la disturbación. El propósito de esta investigación es ayudar en la identificación y conservación de todo material apropiado de la capa superficial del suelo. Este estudio debe incluir un mapa (de escala 1:1000) que muestre todos los límites de la unidad de mapeo del suelo.

La investigación debe incluir un análisis de todos los horizontes de suelo, para cada tipo predominante de suelo, realizado por un laboratorio que utilice procedimientos estándares de análisis de suelos. Si un horizonte de suelo predominante tiene un espesor mayor a 45 cm, debe ser subdividido y muestreado. Los parámetros para el análisis de suelos deben incluir la profundidad del horizonte, el pH, el porcentaje de materia orgánica, la conductividad eléctrica, la tasa de adsorción de sodio, y el análisis del tamaño de las partículas (textura). La intensidad del muestreo y el número de muestras que se analizarán dependerán de la complejidad y variabilidad de los suelos en el área que será disturbada. Sin embargo, los puntos de muestreo de suelo se deberían localizar donde representen a la unidad de mapeo; y el número de sitios examinados debe caracterizar adecuadamente cada unidad de mapeo.

### 3. Información sobre la vegetación

Se debe preparar un mapa sobre vegetación que describa las comunidades de plantas de la concesión minera, antes de que ocurra la disturbación. La descripción de las comunidades de plantas debe basarse en las especies dominantes visualmente.

Cada comunidad de plantas identificada debe describirse en términos de composición de especies, cobertura, producción y densidad de las plantas leñosas. Esta información debe usarse para identificar especies de plantas apropiadas para la revegetación y proporcionar importante información de base para establecer los estándares para el éxito de la revegetación.

## Capítulo II. LIMITACIONES PARA LA

### RESTAURACION DE LA VEGETACION

#### 1. Propiedades físicas del suelo

Hay muchas limitaciones físicas que posiblemente existen en los sitios disturbados que influirán en el éxito de la revegetación. Es importante conocer esas limitaciones y los métodos disponibles para remediar el problema. A continuación se presentan las limitaciones físicas y las soluciones prácticas comunes que podrían ser aplicadas.

##### a) Textura

La textura del suelo tiene influencia directa en propiedades como la infiltración, la conductividad hidráulica, la capacidad de retención de agua y la capacidad de intercambio catiónico. No existe una textura óptima que se adapte a todos los propósitos y a todas las plantas debido a que las necesidades requeridas varían enormemente. Pero un medio con suficiente arena que permita la aereación y evite pérdidas para lograr el crecimiento y desarrollo de la raíz de la planta y, además, la presencia de suficiente arcilla para proveer los nutrientes adecuados y una capacidad de retención del agua, constituirían las condiciones ideales en la mayoría de los casos. Ya que en los suelos gredosos se presentan a menudo problemas de drenaje de relaves, los arenosos serán los más indicados.

Los suelos con un alto porcentaje de partículas de arcilla (menos de 0,002 mm de diámetro) tienen una capacidad de retención de agua relativamente mayor y muchos nutrientes disponibles para las plantas. Estos suelos son consistentes y duros cuando se secan y pegajosos cuando están mojados. A menudo, tienen drenaje y aereación pobres. Además, algunos suelos arcillosos tienen potencial alto de expansión-contracción que puede ser perjudicial para las raíces de la planta. Los suelos con alto porcentaje de partículas del

tamaño de la arena (0,02 a 2,0 mm) tienen una capacidad de retención de agua relativamente baja y una limitada disponibilidad de nutrientes para la planta.

Restaurar suelos con características extremas en cuanto a textura es riesgoso ya que modificar ésta no es tarea fácil. La textura del suelo puede ser modificada mezclando materiales de textura diferente. Esta alternativa no es muy común debido al problema para encontrar una fuente de suelo apropiada y a los costos asociados al transporte y a la mezcla. La textura puede ser modificada cuando se depositan los relaves usando un ciclón para separar las partículas por tamaños y localizándolos en diferentes capas o en diferentes lugares.

Generalmente, la adición de una enmienda orgánica, ya sea a los suelos con predominancia de arena, arcilla o limo es efectiva para superar las limitaciones físicas asociadas a la textura. La adición de materia orgánica a los suelos arenosos mejorará la capacidad de retención de agua, la capacidad de intercambio catiónico y la disponibilidad de nutrientes. La adición de materia orgánica a los suelos arcillosos incrementará la infiltración, el drenaje y la aeración y reducirá el efecto de encostramiento de la superficie de los suelos. Las fuentes de materia orgánica incluyen el estiércol, la paja o heno, el aserrín y la viruta.

#### b) Compactación del suelo

La compactación puede definirse como el acto de juntar las partículas de suelo por medio de fuerzas externas. Estas fuerzas varían desde las naturales, tales como la lluvia, hasta las no naturales como los vehículos motorizados. Cierta cantidad de compactación o firmeza puede ser beneficiosa, como por ejemplo para establecer el contacto semilla-suelo para una apropiada germinación, pero cuando la compactación es excesiva, puede ocasionar efectos nocivos en el suelo y en el crecimiento de las plantas.

La alternativa más común para mitigar los problemas asociados a la compactación es a través del manejo físico del suelo mediante el uso de implementos especiales para aradura profunda (corte, cincel, disco). Otras alternativas incluyen la adición de enmiendas como los materiales orgánicos o los tratamientos químicos como el yeso.

#### c) Estabilidad de los agregados

Los agregados del suelo, compuestos de dos o más partículas primarias unidas, son los bloques de construcción de la estructura de los suelos. Tanto el contenido de arcilla, de óxidos, como el de material orgánico, están totalmente correlacionados con la formación y estabilidad del agregado. Una falla de los agregados ocasionada por las fuerzas desorganizadoras de la erosión y la compactación ocasiona la pérdida de la estructura, la reducción de la infiltración y el encostramiento de la superficie del suelo. Si un suelo ha sido compactado y también sufre de reducida estabilidad de agregados, el uso de implementos especiales para aradura profunda (corte, cincel, disco) podría reducir la densidad aparente pero no podría aumentar la infiltración. El problema de la reducción de la infiltración se solucionaría resolviendo el problema de la estabilidad de los agregados a través de la adición de materia orgánica o esperar que el problema se resuelva de manera natural a través de los procesos de crecimiento de las plantas. A medida que se desarrolla una comunidad de plantas, el crecimiento de los brotes y la raíz, y la descomposición agregará materia orgánica al suelo y mejorará lentamente la estabilidad del agregado a través del tiempo.

#### d) Erosión

La erosión de las tierras disturbadas, especialmente, durante los primeros años siguientes a la revegetación puede ser un factor

primordial que limite el éxito de la restauración. Hay dos formas de erosión como resultado de la escorrentía. La primera, la erosión laminar, es una combinación de dispersión de gotas de lluvia y el movimiento del agua en capas poco profundas más o menos uniformemente a lo largo de la superficie del suelo. La segunda es la erosión en surcos o cárcavas. Esta es el resultado de un flujo de agua canalizado hacia cursos de agua definidos. Los factores que controlan la erosión son las características físicoquímicas del suelo, la cobertura vegetal, la topografía y las características de las lluvias. Los principales métodos disponibles para controlar la erosión son: reducir la pendiente, utilizar coberturas inertes (mulches) durante los esfuerzos de revegetación, mejorar la infiltración y establecer una cobertura vegetal efectiva. El control de la erosión durante la fase de revegetación podría ser el periodo más crítico para asegurar el éxito de la restauración.

#### e) Angulo y orientación de la pendiente

La topografía de un lugar, incluyendo el ángulo, forma, longitud y exposición de la pendiente, puede convertirse en un factor limitante para el éxito de la revegetación si tales características son extremas. No es fácil revegetar pendientes excesivas y pendientes largas ininterrumpidas debido a su difícil acceso, inestabilidad y potencial para la erosión. En regiones de clima duro tales como la sierra, las pendientes con exposición al norte y oeste, generalmente, son más difíciles de revegetar que las pendientes con exposición al sur y al este, debido a la menor cantidad de agua y al menor desarrollo de los suelos.

Donde sea posible, el ángulo y longitud de la pendiente debe reducirse tanto como sea factible, cuando la pendiente exceda el 50% y la longitud los 60 metros. La longitud de la pendiente puede reducirse por nivelación, que es un método menos caro y más efectivo que las mantas de control de la erosión tales como el yute y la pajilla. En ambientes secos, se debe hacer todo el esfuerzo posible por conservar el agua en las pendientes con exposición al norte y oeste mejorando la infiltración y reduciendo la evaporación. El uso de coberturas inertes y el manejo físico de la superficie del suelo para reducir escorrentías y concentrar el agua en depresiones ayudará al establecimiento de las plantas.

## 2. Propiedades químicas del suelo

### a) pH del suelo

La solución del suelo es simplemente agua de suelo en la que se disuelven las formas iónicas de los nutrientes de la planta. Una propiedad importante de la solución del suelo es su reacción, es decir, si es ácida, neutra o alcalina. Algunas soluciones del suelo tienen preponderancia de hidrógeno sobre los iones hidróxilos y, por lo tanto, son ácidas ( $\text{pH} < 7$ ). Algunas presentan lo contrario y son alcalinas ( $\text{pH} > 7$ ), mientras que otras tienen una concentración igual de hidrógeno y iones hidróxilos y son neutras ( $\text{pH} = 7$ ).

El pH del suelo puede influir en la absorción de nutrientes y el crecimiento de las plantas de dos maneras:

1) a través del efecto directo del ion hidrógeno; o

2) indirectamente, a través de su influencia para disponer de nutrientes y la presencia de iones tóxicos.

En la mayoría de los suelos, este último efecto tiene gran significado. A pesar que con valores de pH en el extremo ácido se puede demostrar el efecto tóxico directo del ion hidrógeno, la mayoría de plantas tiene capacidad para tolerar un rango amplio en la concentración de este ion con tal que se mantenga un balance apropiado de los otros elementos.

Desafortunadamente, la disponibilidad de varios de los nutrientes esenciales es afectada drásticamente por el pH del suelo, así como la solubilidad de ciertos elementos que son tóxicos para el crecimiento de las plantas.

Varios elementos esenciales tienden a ser menos aprovechables a medida de que se eleva el pH de 5,0 a 7,5 u 8,0. El hierro, manganeso y zinc son buenos ejemplos. Por otro lado, el molibdeno es afectado de manera contraria, siendo mayor en niveles mayores de pH. El fósforo nunca es fácilmente soluble en el suelo pero parece ser adsorbido con menor tenacidad en un rango de pH que se centre alrededor de 6,5. La disponibilidad de fósforo disminuye a medida que el pH se incrementa a partir de 6,5 y luego se incrementa en niveles de pH sobre 8,5. Generalmente, la disponibilidad de nitrógeno es más alta en suelos con un pH en el rango de 6 a 8 y luego decrece en el rango de 8 a 9. La disponibilidad tanto de nitrógeno como de fósforo decrece en pH inferior a 6.

En valores de pH por debajo de 5,0, el aluminio, el hierro y el manganeso son frecuentemente solubles en cantidades suficientes para ser tóxicos para el crecimiento de algunas plantas. En valores de pH muy altos, el ion bicarbonato a veces se presenta en cantidades suficientes para interferir con la captación normal de otros iones, y de esta manera es perjudicial para el óptimo crecimiento de las plantas.

Las poblaciones y procesos microbianos también están influenciados por el pH. En valores de pH del suelo por debajo de 5,5, los hongos son más activos, pero en valores de pH de 6,0 o más, los actinomicetos y las bacterias tienen mucha mayor presencia. El efecto en las poblaciones de organismos, a su vez, influye en los procesos microbianos que son importantes en el ciclaje de nutrientes, tales como la nitrificación, la mineralización de materia orgánica y la fijación de nitrógeno.

La alternativa más común para incrementar el pH de los suelos ácidos es a través de la adición de cal finamente molida. Los valores de aplicación se basan en pruebas de suelo específicas que determinan la necesidad de cal y se asocian con la capacidad tampón del suelo. Si el pH del suelo es altamente alcalino ( $\text{pH} > 9$ ), el suelo debe ser tratado con azufre elemental. Este azufre elemental se convierte en ácido sulfúrico en suelos húmedos y tibios por acción de ciertas bacterias (por ejemplo Thiobacillus). Los análisis de suelo se utilizan para determinar los porcentajes de aplicación de azufre y la existencia de pirita en capas inferiores a la superficie del suelo debe ser tomada en consideración. En las secciones sobre muestreo y enmiendas de suelo se proporciona mayor información sobre los procesos con la adición de cal y de azufre.

#### b) Sales solubles

Los suelos salinos son característicos de zonas áridas y semiáridas. Estos suelos están asociados a climas en los que la evapotranspiración anual excede ampliamente la precipitación pluvial anual; por lo tanto, en condiciones normales, el agua no percola a través del perfil. El resultado es que, a pesar que la falta de agua reduce la intensidad de la meteorización del mineral del suelo, los productos de ésta, por ejemplo, las sales, tienden a acumularse en el suelo. Debido a que el agua es el vector para las sales, la acumulación de éstas en el suelo comúnmente refleja el relieve y las condiciones geomorfológicas del área.

Existe riesgo de salinidad cuando hay suficiente sal soluble en el suelo para interferir con el crecimiento de la vegetación deseada. El mayor efecto adverso de la salinidad es la reducción de la disponibilidad de agua para las plantas. En resumen, esto se produce debido a que la presencia de sal en el agua incrementa el esfuerzo que la planta debe hacer para extraer agua de la solución suelo. Este esfuerzo se conoce como el potencial osmótico y es adicional al trabajo requerido por la planta para extraer agua de una solución de suelo no-salina (el potencial mátrico). La suma de ambos potenciales, osmótico más mátrico, se llama potencial del agua del suelo. Las especies de plantas tienen diferentes habilidades para hacer ajustes osmóticos con el fin de mantener una gradiente constante de potencial de agua entre la planta y la solución de suelo. Las plantas que son capaces de realizar los cambios fisiológicos asociados con estos ajustes son las plantas consideradas tolerantes a la sal.

Las plantas afectadas por la salinidad no muestran síntomas distintivos. El efecto más común de exceso de salinidad es una reducción general o atrofia del crecimiento de la planta. Bajo condiciones severas, las hojas de las plantas podrían tener un color púrpura, verde oscuro y una apariencia cerosa. El daño por salinidad es mayor durante la germinación y el establecimiento inicial de la semilla.

A niveles de salinidad bajos a moderados, la fertilización, en grado limitado, puede disminuir los efectos adversos de la

salinidad. Al mismo tiempo, algunas formas de fertilizante (por ejemplo la mayoría de fertilizantes inorgánicos de N y sales de cloruro de K) tienen un índice de sal relativamente alto y podría agravar el problema de la salinidad. Las alternativas más comunes para mitigar los problemas de la salinidad son la adición de materia orgánica al suelo para mejorar la infiltración y lixiviación natural, el lavado de las sales fuera de la zona de la raíz y la plantación de especies tolerantes a las sales. La lixiviación de las sales sólo ocurrirá si el suelo posee un drenaje adecuado.

### c) Limitaciones de los nutrientes

Generalmente, las deficiencias de nitrógeno (N) y fósforo (P) en las tierras disturbadas constituyen los factores más limitantes para el éxito de la restauración. Las deficiencias de nitrógeno son el resultado tanto de los bajos niveles de N disponible para la planta, creados por una alteración como por la falta de microorganismos para convertir diversos compuestos a formas nitrogenadas usadas por las plantas. El reestablecimiento de un ciclo biológico activo de reciclaje de nitrógeno es clave para el éxito de la revegetación en lugares disturbados que han sido severamente impactados.

Las deficiencias de fósforo suceden principalmente debido a la insolubilidad de P y la fijación del P por minerales arcillosos en el suelo. Cuando el P es deficiente, las plántulas enfrentan un periodo difícil para establecerse pues poseen habilidad limitada para acceder a cantidades adecuadas de P, debido a un desarrollo restringido de la raíz.

Las deficiencias de nitrógeno y fósforo pueden ser superadas con fertilizantes inorgánicos u orgánicos. La preocupación principal es limitar la cantidad de N agregado debido a la estimulación que causa en el crecimiento de las plantas anuales. El límite de la cantidad de N aplicado dependerá de las condiciones del suelo y de las prácticas agronómicas. Se debe tener cuidado al formular recomendaciones para fertilizar con N. Los análisis de suelos deberían incluir la determinación de N-NO<sub>3</sub>.

Los valores de estos resultados deben ser comparados con los niveles de N en suelos no disturbados adyacentes al área que será revegetada. El fósforo no es conocido como estimulante del crecimiento de la maleza y puede ser aplicado en cantidades más generosas. Antes de hacer recomendaciones se debería analizar el P disponible para la planta en los suelos disturbados.

En general, los suelos con un nivel de P disponible de 7 ppm (0,5 M de bicarbonato de sodio, pH de 8,5) son adecuados para una

revegetación exitosa. También se debe analizar el potasio (K) disponible para la planta. Los suelos con más de 0,2 meq de K intercambiable/100 g de suelo son generalmente adecuados para el crecimiento de la planta.

### 3. Propiedades biológicas del suelo

Muchas de las transformaciones que ocurren durante el ciclo de nutrientes son realizadas principalmente o totalmente por microorganismos. De hecho, si no fuera por la actividad de las bacterias y hongos, muchos ciclos de elementos serían alterados drásticamente y se reduciría la productividad de los ecosistemas.

La comunidad microbiana del suelo en los sistemas ecológicos maduros comprende un complejo de organismos altamente interrelacionados con características igualmente complejas de ciclo trófico y de vida. Este sistema microbiano está estrechamente asociado con la comunidad de plantas y es afectado negativamente cuando esta última es disturbada.

Numerosos tipos de macro y microfauna se alimentan de la materia orgánica, cambiando su composición química y reduciendo su tamaño. Bacterias y hongos saprofitos alteran más químicamente y físicamente la materia orgánica, reduciendo eventualmente la porción más resistente en humus y convirtiendo el restante en su biomasa viva, CO<sub>2</sub> y varios componentes solubles liberados en la matriz de los suelos. La microfauna (protozoarios, amebas, nemátodos y microartrópodos) y depredadores de la macrofauna se alimentan de los saprofitos, hongos micorrizales y de cada uno de ellos, incrementando la complejidad de la red alimenticia. Los hongos micorrizales existen en asociación mutualista con las raíces de las plantas, utilizando exudados para su abastecimiento de energía y proporcionando a la planta huésped cantidades mayores de agua y nutrientes del suelo, especialmente P. Entre ciertas bacterias simbióticas (por ejemplo Rhizobium) y plantas también se establece otra relación mutualista importante. La bacteria forma nódulos en las raíces de las legumbres y fija el N gaseoso, que luego será disponible para la planta.

La estructura compleja del subsistema desintegrador es un producto de sucesión tal como lo es la comunidad de plantas. Esta se desarrolla progresivamente a través del tiempo en respuesta a la dinámica de las variables bióticas y abióticas del sitio. Las rizosferas de las comunidades de plantas en crecimiento se convierten en centros para procesos, menos en la descomposición de materia orgánica. Estos incluyen la fijación del nitrógeno, la quelación y enlaces de metales, la transferencia de material entre las plantas a través de las hifas de la micorriza y la creación y mantenimiento de la estructura del suelo mediante la producción de componentes húmicos y polisacáridos.

Ya que la planta y el subsistema desintegrador son componentes estrechamente vinculados de una misma comunidad, la alteración de uno afectará al otro. Una reducción significativa en la producción primaria privará al sistema bajo tierra de su fuente de energía. Surgirán respuestas inmediatas en aquellas poblaciones vinculadas más directamente a las plantas por la energía, los hongos micorrizales y otros organismos dependientes de los exudados de la raíz. Estrictos en su abastecimiento de energía, estos hongos son reemplazados por los saprofitos o continúan en vida latente. Los exudados de las raíces, junto con las porciones más solubles de humus proporcionan el abastecimiento más fácilmente aprovechable de energía para los desintegradores. La reducción del abastecimiento ocasiona la disminución correspondiente en la productividad total bajo tierra. Los depredadores que se alimentan principalmente de hongos micorrizales o de depredadores micorrizales, deben encontrar



fuentes alimenticias adicionales, con lo cual se reduce la complejidad trófica y se incrementa la competencia. La reducción de una fuente de alimentos ocasiona una disminución de consumidores.

De la discusión anterior debe ser evidente que las alteraciones de una comunidad de plantas afectarán adversamente el funcionamiento del sistema subterráneo. Las graves perturbaciones que afectan a la comunidad de plantas y alteran físicamente el suelo pueden ocasionar la eliminación total de la población microbiana o la desorganización de la función y estructura microbiana. Bajo estas severas condiciones sería muy difícil restablecer una comunidad de plantas erradicada sin restaurar el subsistema microbiano o proporcionando una fuente de nutrientes fácilmente aprovechable para mantener el crecimiento de la planta, mientras la comunidad microbiana recoloniza el sitio.

La mejor manera para restablecer una comunidad microbiana en el suelo es aplicar una capa superficial de suelo al sitio disturbado que contenga una población viable y diversa de microbios. Es esencial que la población microbiana tenga una fuente adecuada de energía (carbón) para que funcione apropiadamente, y ello requerirá la adición de materia orgánica y una cantidad de nitrógeno inorgánico para satisfacer sus necesidades nutritivas y energéticas. Otras fuentes microbianas incluyen el estiércol que podría ser aplicado para proporcionar un inóculo del cual se puede originar una población microbiana.

### Capítulo III. REQUISITOS DEL SUELO SUPERFICIAL

#### 1. Retiro

La capa superficial del suelo (definida como el suelo de la superficie previo a la operación minera que mantendrá la vida de las plantas; incluye los horizontes A, B y porciones del C, que se consideran los más adecuados como medio de crecimiento de las plantas, para el uso de la tierra posterior a las operaciones mineras) debe ser retirada de las áreas que serán afectadas por operaciones de superficie después de que se retire la cubierta de vegetación, pero antes de cualquier proceso de perforación, voladura, minero o cualquier otra disturbación superficial. La cubierta de vegetación debe ser limpiada sólo en el área que será afectada por las perturbaciones superficiales y esto no debe realizarse antes de los tres meses de la perturbación planeada del sitio, para disminuir el tiempo de exposición de la capa superficial a la erosión del viento y el agua.

La profundidad de la capa de suelo superficial que será guardada debe ser determinada de la información específica de los suelos extraída en la concesión minera. El material de suelo del horizonte A y B debe ser removido y acumulado separadamente del material del horizonte C u otras capas subyacentes que se sabe poseen los atributos del suelo necesarios para un desarrollo equivalente de la raíz.

## 2. Almacenamiento

La capa superficial del suelo puede ser almacenada sólo si no es práctico redistribuir inmediatamente dicho material en áreas preparadas para la restauración. Los materiales acumulados deben ser localizados en un área estable que no será disturbada por las operaciones mineras y serán protegidos de la erosión eólica e hídrica, la compactación y la contaminación que reduciría la capacidad del suelo para mantener la vegetación.

La capa superficial del suelo almacenada debe ser estabilizada con vegetación que consista de plantas anuales y perennes que serán sembradas durante la primera estación de crecimiento apropiada después del almacenamiento. El uso de vegetación para la estabilización de la capa superficial acumulada ayudará a mantener activa la población microbiana del suelo en la zona superior del montículo. El mantenimiento de esta población microbiana ayudará a establecer una comunidad de plantas permanente durante la revegetación.

## 3. Redistribución

Después de la nivelación final, la tierra nivelada debe ser volteada por medios mecánicos (arado, rastra, etc.) hasta una profundidad capaz de eliminar superficies propensas a deslizamientos, compactación del relieve y facilitar la penetración de la raíz. La capa superficial del suelo debe ser redistribuída de manera que prevenga la compactación y la contaminación, minimice el deterioro de las propiedades biológicas, químicas y físicas del suelo, y lo proteja de la erosión del viento y del agua durante la redistribución y antes y después de que sea sembrada o plantada.

La profundidad de la capa superficial del suelo en el ambiente no disturbado muy probablemente varíe con la posición topográfica del panorama. Por lo tanto, es deseable que se redistribuya la capa superficial a profundidades que conserven las formas del ambiente no disturbado. Además, la reaplicación de la capa superficial debe realizarse de manera que maximice la inoculación microbiana. Esto puede llevarse a cabo retirando y separando el metro superior del suelo acumulado al momento de la redistribución. La capa superficial subyacente entonces debe ser reaplicada a profundidades apropiadas y la capa superior separada debe luego ser esparcida en una capa delgada (aproximadamente 2 a 3 cm.) sobre este material. Esta capa delgada producirá una población microbiana viable sirviendo como fuente inócula para el suelo restante.

## Capítulo IV. NIVELACION O GRADEO

Se debe realizar la nivelación o gradeo de la superficie para crear una topografía final para el uso de la tierra seleccionado en el plan de vegetación. Todos los desechos, el desmonte, las soluciones de lixiviación, las pilas de relaves y otras perturbaciones superficiales deben ser niveladas oportunamente después de finalizadas las operaciones mineras.

Cuando el relleno es una parte del plan de rehabilitación, el desmonte y los desechos deberían reemplazarse en el área de las operaciones mineras de manera que se asegure la compactación adecuada para la estabilidad y se prevenga la lixiviación de materiales tóxicos. Todo nivelado debe realizarse de manera que controle la erosión y sedimentación de las áreas perturbadas y las subyacentes no perturbadas.

Todos los materiales generadores de tóxicos o formadores de ácidos producidos por las instalaciones mineras y procesadoras de minerales deben manejarse y disponerse de manera que controlen la perturbación del panorama y protejan las aguas superficiales y subterráneas de la contaminación. Esto requeriría la colocación de los residuos en depósitos revestidos o el recubrimiento de los desechos con una capa impermeable antes de revestirlos con un medio de crecimiento de plantas. La superficie de las pilas de relaves y otros materiales residuales que están formados de material de textura fina deben ser nivelados o gradeados de forma tal que eliminen las depresiones y prevengan el embalse del agua. Esta estrategia de nivelado reducirá la cantidad de agua que percolaría potencialmente a través de los relaves.

Con el fin de conservar la humedad, asegurar la estabilidad y controlar la erosión en pendientes con gradeo final, se deberían construir terrazas si éstas fueran compatibles con el uso de la tierra posterior a las operaciones mineras. El ancho de los escalones de la terraza no debe exceder los siete metros, a menos que fuera requerido para lograr la estabilidad, el control de la erosión o proteger los caminos incluidos en el plan de uso de la tierra posterior a las operaciones mineras. La distancia vertical entre terrazas debe ser tal que prevenga la erosión excesiva y proporcione estabilidad a largo plazo. La pendiente del conjunto (terraplenada o no) no debe exceder del cincuenta por ciento (2h:1v).

## Capítulo V. MUESTREO Y ANALISIS DEL SUELO

El material recuperado de la capa superficial del suelo, los desechos, el desmonte, los relaves y todos los demás materiales residuales y lugares perturbados que serán restaurados con vegetación deben ser muestreados para caracterizar las principales propiedades físicas y químicas para el crecimiento de las plantas. El muestreo y análisis de estos materiales debe realizarse en los seis meses anteriores al momento en que la vegetación será plantada.

El número de muestras colectadas y la profundidad del muestreo debe ser el apropiado para representar el material muestreado. Esto variará dependiendo de la complejidad y variabilidad del material muestreado. El muestreo del suelo puede ser realizado con un enfoque sistemático, de una manera completamente aleatoria o de modo estratificado al azar. La muestra compuesta es recomendable cuando los suelos son relativamente homogéneos o las áreas de muestreo pueden ser fácilmente delineadas. Una muestra compuesta se obtiene tomando muestras de suelos de igual volumen de diferentes áreas y mezclándolas exhaustivamente. Esta es una forma de promedio físico y es más económico que analizar cada muestra

separadamente. El número de muestras tomadas para formar una muestra compuesta depende de la heterogeneidad del suelo.

Los sitios que tienen un alto grado de variabilidad no deben ser caracterizados con un planteamiento de muestra compuesta.

Bajo estas condiciones, las muestras deben ser recolectadas y analizadas separadamente para caracterizar la variabilidad que existe en el sitio.

El material de la capa superficial debe ser muestreado después de la redistribución para contabilizar los cambios que hayan ocurrido mientras la capa superficial estuvo almacenada. Todos los desechos, el desmonte, los relaves y otros materiales residuales deben ser muestreados a una profundidad en la que se espera ocurra la mayor parte de penetración de raíces.

Las muestras de suelo deben ser localizadas en bolsas de polietileno limpias y transportadas a un laboratorio de análisis de suelo lo más rápido posible. Las muestras deben ser protegidas de la luz solar directa y mantenidas a una temperatura lo más fría posible hasta que lleguen al laboratorio.

Los materiales de la capa superficial deben ser analizados para los siguientes parámetros: pH, porcentaje de materia orgánica, conductividad eléctrica, tasa de adsorción de sodio (si se sospecha que existe el problema), análisis de tamaño de partículas, nitrógeno-nitrato, fósforo y potasio disponibles para la planta. Los procedimientos analíticos listados en el Cuadro 1 deben ser utilizados para llevar a cabo las pruebas de suelos. Otros procedimientos podrían ser utilizados si proporcionan resultados comparables o más exactos.

Si se desea que un material residual de la mina sea parte de un medio de crecimiento para las plantas y es ácido o tiene el potencial para convertirse en ácido, debe hacerse un análisis de suelo específico para determinar el potencial de generación de ácido y la neutralización para un tratamiento apropiado. La siguiente información resume la alternativa de un balance ácido-base.

La medida del potencial ácido-base es una determinación que comprende dos partes: el potencial ácido y el potencial de neutralización. Después que el potencial ácido sea convertido en equivalentes  $\text{CaCO}_3$ , los dos valores son sumados.

Generalmente se asigna un valor negativo al potencial ácido. Esto permite ubicar una deficiencia de  $\text{CaCO}_3$ , como un potencial ácido-base negativo.

Los desechos, el desmonte, los relaves y otros materiales residuales deben ser muestreados siguiendo el renivelado pero antes de que la capa superficial se vuelva a colocar o se añadan las enmiendas o fertilizantes al suelo. En estos materiales se debe determinar los siguientes parámetros: pH, conductividad eléctrica, tasa de adsorción de sodio, análisis de tamaño de las partículas, nitrato-nitrógeno, fósforo y potasio disponibles para la planta, Ca, Mg, Na, Zn, Fe, Cu, Mn, Ni, Pb, Cr, Cd, Mo,

Se, As y Al. Si se sospecha que la concentración de otros metales es elevada, éstos también deben ser analizados. Los procedimientos analíticos listados en el Cuadro 2 deben ser utilizados para llevar a cabo los análisis de suelo. Se podrían utilizar otros procedimientos si proporcionan resultados comparables o más exactos. Es importante que el método de análisis del suelo utilizado sea el apropiado para las características químicas del material que se muestrea, especialmente el pH.

El laboratorio de análisis de suelos debe dar a conocer tres valores para el potencial ácido-base: el potencial ácido, el potencial de neutralización y el cálculo del potencial ácido-base. El potencial ácido es dado a conocer en meq H/100 g o porcentaje de azufre. Se deben eliminar los sulfatos solubles en agua caliente antes del análisis del azufre. Es necesario uno de los siguientes cálculos para convertir el potencial ácido a equivalentes CaCO<sub>3</sub>.

El potencial de neutralización será dado a conocer en % de CaCO<sub>3</sub> o ton. de CaCO<sub>3</sub>/1000 ton de material. Los cálculos se refieren a CaCO<sub>3</sub> 100% puro. Si la pureza del CaCO<sub>3</sub> es de 80%, entonces es necesario un 25% más. Para convertir el % de CaCO<sub>3</sub> a ton/1000 ton., realice el siguiente cálculo:

$$1.- \text{meq H/100g} \times 0,01 = \text{ton. H}$$

1000 ton. de material

$$2.- \%S - \text{SO}_4 \times (31,24) = \text{ton. de CaCO}_3 \text{ requerido}$$

1000 ton. de material

$$\% \text{ CaCO}_3 \times 10 = \text{ton. de CaCO}_3 \text{ presente/1000 ton. de material}$$

Las toneladas por 1000 ton se usan como punto referencial ya que este valor representa una porción de una Ha. El cálculo No. 3 convierte el potencial ácido (PA) y el potencial de neutralización (PN) en el potencial ácido-base (PAB).

$$3.- \text{PN} - \text{PA} = \text{PBA}$$

Si el valor resultante es menor que -5 ton. de CaCO<sub>3</sub>/1000 ton., existe un potencial de formación de ácido en la muestra.

## Capítulo VI. ENMIENDAS DEL SUELO Y FERTILIZANTES

### 1. Deficiencia de nutrientes

La deficiencia de nutrientes es común en las tierras de las operaciones mineras debido a la producción de material residual de la mina que no posee materia orgánica ni micro ni macro-nutrientes disponibles para las plantas. El uso de la capa superficial

puede mitigar temporalmente la preocupación por la falta de algunos nutrientes, pero no eliminará todos los problemas porque en la mayoría de los casos, el material residual de la mina será parte del medio de crecimiento de la planta, incluso cuando se cubre con la capa superficial.

Las deficiencias más comunes que ocurren en las tierras minadas están en relación con los macro-elementos nitrógeno y fósforo que son deficientes en suelos con contenidos bajos de materia orgánica. Otro macro-elemento, el potasio, es deficiente comúnmente en suelos de textura gruesa -y moderadamente gruesa- y de baja capacidad de intercambio catiónico. Las deficiencias de calcio, magnesio, azufre y micro-nutrientes son menos comunes, pero pueden presentarse en suelos que tienen bajo contenido de materia orgánica, poseen textura gruesa o en los que la erosión ha retirado los horizontes superficiales del perfil.

Los nutrientes se encuentran en el suelo en diferentes formas o fuentes. Parte de la forma total de nutrientes presentes en el suelo está fácilmente disponible para las raíces de la planta. Esta forma disponible se encuentra en la solución del suelo. Una segunda parte del contenido total de nutrientes de un suelo es compleja de una forma u otra y, lentamente, se vuelve disponible para la planta. Estos nutrientes podrían estar en forma orgánica o en el complejo de intercambio catiónico. La tercera, y generalmente la más grande fuente de nutrientes del suelo, es insoluble y no está disponible para las plantas. Sólo cuando los minerales del suelo se meteorizan, esta forma insoluble de nutrientes del suelo se mueve a una de las otras formas. Generalmente los fertilizantes se agregan a los suelos como aditivos a la fuente disponible o a aquella fuente de nutrientes que está siendo disponible lentamente.

Ya que las deficiencias de nutrientes más comunes ocurrirán con el nitrógeno, fósforo y potasio, la siguiente discusión describirá estos nutrientes en detalle.

#### a) Nitrógeno

El nitrógeno (N) es típicamente el nutriente más limitante en los suelos disturbados. La cantidad de N en el aire que respiramos es alto pero la cantidad que es fijada y añadida al suelo cada año es

bastante limitada. Hay tres fuentes naturales de N para los suelos disturbados. La primera es el N que se fija de la atmósfera a través de las descargas eléctricas durante tormentas con relámpagos. Luego, este N alcanza el suelo por precipitación en forma de  $\text{NH}_4$  o  $\text{NH}_3$  y llega directamente a las plantas. En regiones alejadas del desarrollo industrial, se estima que la adición anual de N proveniente de la descarga eléctrica es aproximadamente de 1 a 2 kg de N/Ha/año.

La segunda fuente es el N simbiótico. Las legumbres y otras plantas fijadoras de nitrógeno pueden tomar  $\text{N}_2$  de la atmósfera y

convertirlo en una forma que está directamente disponible para las plantas. La cantidad de N que se fija a través de la actividad simbiótica varía mucho de un ecosistema a otro dependiendo de las especies de plantas presentes y su abundancia. Un campo formado por un forraje de legumbres que crece como monocultivo podría fijar hasta 56 kg de N/Ha/año mientras que una comunidad de plantas nativas con muy pocas legumbres podría fijar sólo 1 a 2 Kg de N/Ha/año.

La tercera fuente de N es la fijación no simbiótica del N. Las bacterias y algas que viven libremente en el suelo también pueden fijar N atmosférico. Esta fuente de N puede explicar hasta 56 kg de N/Ha/año que con el tiempo se mineraliza como  $\text{NH}_4$ .

Si las formas de N disponible para las plantas ( $\text{NO}_3\text{-N}$  y  $\text{NH}_4\text{-N}$ ) son deficientes, el efecto en el crecimiento de la planta será visto en las dos primeras semanas después del brote de la planta. La deficiencia de N es relativamente fácil de superar a corto plazo. Es fácil para las plantas utilizar las formas inorgánicas de N, tales como el nitrato de amonio y éstas pueden ser aplicadas en el suelo superficial y permitir la lixiviación natural del nutriente a la zona de la raíz. Sin embargo, debido a que el N es tan altamente móvil, se puede perder en el sistema por lixiviación fuera de la zona de la raíz o en la atmósfera a través de la volatilización. Para prevenir pérdidas por volatilización, el fertilizante de N debe incorporarse al suelo.

Proporcionar una fuente de N a largo plazo es más difícil y debe incluir una fuente de materia orgánica. Utilizar la capa superficial con una población microbiana saludable es el mejor método disponible para proporcionar una fuente de N a largo plazo. Sin embargo, si la capa superficial no está disponible o tiene un contenido bajo de materia orgánica, la alternativa más inmediata es agregar estiércol en combinación con un material con alta relación carbono:nitrógeno, como la paja, el heno o un producto residual de madera como viruta o aserrín. La comunidad microbiana del suelo descompondrá el material residual de madera e inmovilizará el nitrógeno inmovilizado del estiércol durante el proceso. Luego, este N será liberado lentamente a través del proceso de mineralización. Aproximadamente 10 kg de N debe añadirse por cada tonelada métrica de residuo de madera o paja aplicada. El establecimiento de plantas fijadoras de N también debe ser considerado como otra fuente de N que traerá beneficios a largo plazo.

Se ha demostrado que la fertilización con N estimula el establecimiento y crecimiento de las especies anuales. También se ha demostrado que reduce la diversidad de las especies, favoreciendo el crecimiento rápido de especies tempranas en la sucesión exitosa que desplazan competitivamente a las plantas de crecimiento más lento y tardías en la sucesión. Debido a estos efectos, debe tomarse precauciones cuando se fertiliza con N.

#### b) Fósforo

El fósforo (P) es probablemente el segundo nutriente más limitante en las tierras de las operaciones mineras. Si el P es limitante, será muy difícil para la mayoría de plántulas perennes establecerse debido al desarrollo limitado de sus raíces. El fósforo es un

elemento altamente inmóvil y se mueve lentamente en el suelo por difusión. Debido a que las plántulas jóvenes tienen un desarrollo de la raíz muy limitado, el crecimiento en suelos con deficiencia de P es difícil.

El fertilizante fosfatado generalmente se aplica en forma inorgánica (el uso de roca fosfatada es una buena fuente de P para materiales ácidos). Debido a su inmovilidad, debe ser incorporado en la zona de la raíz para su máxima efectividad. El fósforo puede añadirse al suelo en grandes cantidades para proporcionar una fuente de P a largo plazo sin temor a la pérdida ocasionada por la lixiviación. Sin embargo, el P será fijado por las partículas de arcilla con el tiempo, reduciendo así su disponibilidad hasta que las partículas de suelo meteoricen y liberen el elemento que estará disponible una vez más para la planta.

#### c) Potasio

El último nutriente que será discutido es el potasio (K). El potasio tiende a ser limitado en suelos de textura gruesa pero su deficiencia no es tan común como la del N o el P. La movilidad del K es menor que la del N pero mayor que la del P. La pérdida de K por lixiviación no es un problema en la mayoría de los suelos, excepto en suelos arenosos o suelos propensos a las inundaciones. El potasio es más efectivo cuando se incorpora en la zona de la raíz, pero se moverá lentamente en el suelo si se aplica en la superficie.

## 2. Cálculo de los fertilizantes

De los tres números impresos en la bolsa de un fertilizante, el primero representa el porcentaje de N, el segundo el porcentaje de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (pentóxido de fósforo), y el tercero es el porcentaje de K<sub>2</sub>O (óxido

de potasio). Una bolsa de fertilizante con la fórmula "20-10-5" indica que la mezcla contiene 20% de nitrógeno, 10% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 5% de K<sub>2</sub>O. El nitrógeno se calcula como un porcentaje del elemento. En otras palabras, una bolsa de 50 kg de 33-0-0 contiene 16,5 kg de N.

Sin embargo, el fósforo se calcula diferente. Una bolsa de 50 kg de 0-46-0 tiene 23 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. La fórmula para calcular el porcentaje de P es  $\%P_2O_5 \times 0,43$ . Por lo tanto, la bolsa de 50 kg de 0-46-0 contiene 10 kg de P ( $,46 \times ,43 = 20\%$ ;  $20\% \text{ de } 50 = 9,9$ ).

Una bolsa de 50 kg de 0-0-35 contiene 35 por ciento de K<sub>2</sub>O. El porcentaje de K se calcula multiplicando  $\%K_2O$  veces por 0,83. Por lo tanto, en este ejemplo,  $,35 \times ,83 = 29\% \text{ K}$ . Esta bolsa de fertilizante, por lo tanto, tiene 14,5 kg de K.

#### a) Dosis de fertilizante a aplicar

No es posible recomendar dosis únicas de aplicación de fertilizantes debido a la extrema variabilidad que existe de un sitio a



otro. Los factores específicos que influenciarán en la cantidad de fertilizante necesitado y la frecuencia de aplicación incluyen: el requerimiento de nutrientes de las especies de plantas seleccionadas, la calidad y profundidad del medio de crecimiento de la planta, las prácticas de manejo usadas, el clima y la comunidad microbiana presente en el suelo. Los análisis del suelo en combinación con los ensayos de campo pueden ser necesarias para determinar el programa de fertilización óptimo para lograr el desarrollo sostenible a largo plazo. En general, es recomendable que las dosis de N y K se dividan por igual en dos aplicaciones espaciadas.

### 3. Toxicidades

Las concentraciones de tóxicos en tierras de minas están limitadas esencialmente a los micronutrientes y a los elementos que no son requeridos por las plantas (por ejemplo, Pb, Cd, As y Al). Básicamente hay tres alternativas que pueden ser tomadas en cuenta para reducir el efecto de toxicidad en el crecimiento de la planta. La primera es separar el material tóxico de las raíces con crecimiento activo. Esto puede realizarse enterrando el material tóxico a una profundidad por debajo de la zona donde se produce el 95 por ciento de la biomasa de la raíz o creando una capa impermeable entre el medio de crecimiento de la planta y el material tóxico subyacente. Para materiales de extrema toxicidad, se recomienda crear una segunda capa impermeable entre el material tóxico y la napa freática subyacente.

La segunda alternativa sería alterar el pH del material tóxico para reducir la concentración de ciertos elementos que podrían estar en la solución del suelo. Por ejemplo, el pH es el factor más importante

que influencia la concentración en la solución suelo del cadmio (Cd) y zinc (Zn). La solubilidad de componentes de Cd, Zn, Cu, Fe, Al y Mn se incrementa disminuyendo el pH y si esto ocurre, las plantas incrementan la absorción de estos metales. Si el pH del suelo puede ser incrementado sobre 6, entonces, la cantidad de Cd y Zn que están en solución se reduce significativamente y la absorción por las plantas ya no significará una preocupación. Otros elementos, tales como el molibdeno, selenio y posiblemente el boro mostrarán incrementos de la disponibilidad para la planta a medida que el pH aumenta sobre 8. En tales casos, la alternativa debería ser reducir el pH si se conoce o espera la presencia de toxicidades.

La tercera alternativa es formar complejos altamente estables en el suelo con enmiendas de materia orgánica como turba o humus. Estos materiales orgánicos forman complejos estables con ciertos metales, eliminando así el metal de la solución del suelo y su potencial absorción por las plantas.

#### a) Tratamiento

La separación del material tóxico del medio de crecimiento de la planta puede realizarse con revestimientos sintéticos o con el

uso de material de textura fina como la arcilla que puede ser compactada a altas densidades aparentes. Es importante que se coloque una capa superficial de suelo de profundidad adecuada o un medio de crecimiento apropiado sobre la barrera. La profundidad de este material debería ser la suficiente como para acomodar 95% de la masa de la raíz que se estima sea producida.

El pH de un material puede ser incrementado con el uso de la cal o reducido con azufre elemental. El azufre elemental es el agente más efectivo para acidificar un suelo. Cuando se calcula la cantidad de azufre elemental y cal que será aplicada, se debe hacer referencia a la curva tampón del suelo. Si se asume que todo el azufre se puede convertir en ácido sulfúrico en el suelo, el cálculo de la cantidad necesitada no significa mayor problema, 1 meq de ácido sulfúrico, 0,049 gr., se formará por la oxidación de 1 meq de azufre, 0,016 g. Entonces, teóricamente, 1000 kg/ha de caliza podrían ser neutralizadas por 320 kg/ha de azufre elemental, si éste fuera completamente transformado en ácido sulfúrico por la bacteria del suelo *Thiobacillus*.

El azufre elemental puede ser aplicado al voleo en la superficie del suelo y mezclado en la zona de la raíz por muchas semanas o a lo mucho dos meses antes del plantado. Cuanto más frío y seco el ambiente, más tiempo le tomará al azufre reaccionar en el suelo.

Existen muchas fuentes de cal que pueden ser utilizadas para incrementar el pH. El óxido de calcio es el más efectivo de todos los materiales calizos; por peso tiene 1,35 veces el poder neutralizador del

carbonato de calcio. Los mecanismos que controlan la reacción de los materiales calizos con suelos ácidos son complejos. Se sabe, sin embargo, que la reacción de los materiales calizos comienza con la neutralización de iones  $H^+$  en la solución del suelo ya sea por iones  $OH^-$  o  $SiO_3$  suministrados por el material calizo. En la sección titulada Muestreo y Análisis de Suelo se presenta información sobre el cálculo del encalado. Es importante tener en cuenta que la efectividad de la cal decrecerá con el tiempo y el monitoreo será necesario en caso de una reaplicación.

La última opción presentada para mitigar los problemas de la toxicidad es la adición de formas estables de materia orgánica tales como turba o humus. Para que sean efectivos, estos materiales deberían aplicarse en altos porcentajes e incorporarse a la zona del medio de crecimiento de la raíz. Cada medio de crecimiento variará física y químicamente y, por lo tanto, pueden requerirse algunas pruebas de campo para determinar los porcentajes óptimos. En general, las dosis de aplicación de 20 a 40 t/ha pueden ser necesarios para reducir efectivamente las toxicidades por metales en las plantas.

La selección de las especies apropiadas para la revegetación debe ser efectiva en base al clima y los suelos del sitio, el uso de la tierra y el control del área. La distribución natural de las plantas se controla principalmente por el clima y, secundariamente, por los factores del suelo. Los factores limitantes que controlan la distribución de las plantas se acentúan en climas secos o fríos donde la variabilidad estacional de temperatura y humedad es más crítica.

La apropiada selección de especies para la revegetación es de vital importancia para establecer exitosamente una comunidad de plantas deseada. El método de preparación de la cama de siembra, la técnica de siembra, la profundidad de colocación de la semilla, la estación de siembra, la tasa de siembra, la aplicación de "mulch" y otros factores influyen en la capacidad para establecer la vegetación de manera exitosa. Sin embargo, si todos los factores son óptimos, pero las especies seleccionadas no se adaptan a las condiciones ambientales del sitio, la plantación será un fracaso.

Cada disturbación es única y la selección de las especies debe ser adaptada a los suelos, clima, exposición, uso de la tierra propuesto y la comunidad de plantas deseada para el sitio. Aunque se puede hacer generalizaciones, cuanto más específica sea la selección de las especies para el sitio en cuestión, más exitoso será el esfuerzo para la revegetación.

Se ha asumido por mucho tiempo que la comunidad pre-disturbada representa el máximo potencial biológico a largo plazo para el sitio. Sin embargo, muchas comunidades de plantas en las regiones mineras han sido tan degradadas por el uso pasado o presente que no están en su pleno potencial biológico. En esos sitios, el especialista en revegetación debe investigar, a través de la literatura y de remanentes de vegetación, cuál potencial biológico se adecúa al área perturbada. Además, la identificación de las especies que están en proceso de crecimiento en sitios disturbados proporcionará información valiosa para seleccionar las especies y poblaciones de especies que han probado su adaptabilidad a las condiciones existentes en el sitio. Este paso en el proceso de revegetación es crítico para el éxito y no puede dejar de ser enfatizado.

No es posible en un documento como éste listar las especies de plantas potenciales para la revegetación o las características ecológicas de estas especies, debido a que las condiciones ambientales son tan variables de una parte a otra del país. Lo máximo que puede hacerse es proporcionar algunos principios básicos para la selección de las especies. Por ejemplo, cuando se seleccionan especies para la revegetación, se deben considerar los siguientes puntos como mínimo:

1) capacidad para el establecimiento bajo condiciones de crecimiento locales (por ejemplo, facilidad para obtener semilla u otro material vegetativo, facilidad para plantar, nivel de certeza de la plantación);

2) valores para el uso de la tierra propuesto (por ejemplo, si la tierra era utilizada para pastos, entonces factores como el sabor, el valor nutritivo, la tolerancia a los pastos, la estación de crecimiento y la velocidad de crecimiento deben considerarse);

3) adaptabilidad a climas extremos ( por ejemplo la tolerancia a la sequía, la tolerancia a temperaturas extremas, tolerancia a vientos fuertes);

4) adaptabilidad a las condiciones del suelo (por ejemplo, relaciones agua suelo, tolerancia a la salinidad, pH desfavorable, deficiencia de nutrientes, toxicidades);

5) protección de la cuenca hidrográfica contra la erosión ( por ejemplo estructura y velocidad de crecimiento bajo tierra, velocidad de extensión de la cobertura vegetal); y

6) adaptabilidad a condiciones diversas ( por ejemplo, persistencia, compatibilidad con otras especies, resistencia a enfermedades y plagas, costo de mantenimiento).

Es común agrupar especies de plantas en formas de vida tales como el césped perenne, césped anual, maleza perenne, maleza anual, maleza bienal, arbustos y árboles. Estas categorías pueden ser además subdivididas en grupos como de estación fría o templada o caducifolios y coníferos. En cada categoría, es necesario seleccionar especies idóneas para las características del habitat y la estructura de la comunidad de plantas propuesta.

Una vez que se ha desarrollado una lista de especies potenciales, se debe explorar su disponibilidad. Se debe disponer de semillas o plántulas de cada especie seleccionada para la revegetación. Sin embargo, un cultivar o ecotipo debe ser seleccionado para cada especie para asegurar un nivel razonable de éxito.

Cuando los materiales de plantas deseados no están disponibles comercialmente, entonces se debe recolectar semillas o plantas de las poblaciones locales. Esta semilla puede ser usada directamente o si la cantidad de semilla es insuficiente, entonces se puede hacer arreglos con un productor de semilla para que plante ésta en un medio adecuado para incrementar la cantidad de semilla a fin de satisfacer las necesidades de revegetación del proyecto. Si se elige esta alternativa, se requerirá de un mínimo de tres a cuatro años antes de que la semilla esté disponible para revegetar el sitio. En todos los casos en que se recolecta la semilla de plantas nativas, la semilla original debe ser seleccionada de una población(es) de plantas que se haya desarrollado bajo condiciones ambientales similares a las condiciones a las cuales serán plantadas.

## Capítulo VIII. DOSIS DE SIEMBRA Y SEMILLA VIABLE PURA

### 1. Dosis de siembra

Es importante usar suficiente semilla para obtener un crecimiento bueno pero no más de lo necesario. Demasiada semilla puede producir un crecimiento tan denso de plántulas que las plantas individuales pueden competir entre ellas mismas en desmedro de la mayoría. Por otro lado, las dosis de siembra que son demasiado bajas no proporcionarán un adecuado control de erosión o competencia contra especies invasoras indeseables.

El número de semillas localizadas en el área de una unidad de suelo se llama tasa o dosis de siembra. La dosis de siembra total es la suma de los porcentajes de siembra de las especies individuales. Las dosis de siembra se expresan normalmente como el número de semillas por metro cuadrado o kilogramo por hectárea.

Las dosis de siembra deben ser desarrollados en base al número de semillas por área de unidad (por ejemplo, número de semillas por metro cuadrado). Una vez determinado este número, entonces puede ser convertido a peso por unidad de área (por ejemplo, kg por ha). Ya que cada especie produce semilla que pesa diferente, el uso de dosis de siembra basadas puramente en el peso por unidad de área producirá dosis erróneas que tenderán a sobre enfatizar las especies con semilla pequeña y desestimarán las especies con semilla grande. Por ejemplo, especies de césped con semilla pequeña pueden tener aproximadamente 500 000 semillas por kg, mientras que arbustos con semilla grande sólo tendrán 50 000 semillas por kg. Si las dosis de siembra fueran calculadas simplemente en base al peso por unidad de área sin reconocer el hecho de que un kg de semilla de césped tiene diez veces el número de semillas por kg que el arbusto, sería muy fácil sobresembrar césped y subsembrar arbustos.

La dosis de siembra puede ser calculado de la emergencia esperada para cada especie y el número deseado de plantas por unidad de área. Para propósitos de cálculo, se asume que la brotación en campo para una especie es de aproximadamente el 50% si la germinación es mayor que 80%. Se asume que la brotación es de alrededor de 30% si la germinación está entre 60 y 80%.

Se recomienda una dosis de siembra de 120 semillas viables puras por metro cuadrado como un número mínimo de semillas cuando se siembra en surcos. Ciento veinte semillas viables puras por metro cuadrado con una brotación esperada del 50% en el campo debería producir un número adecuado de plantas en el área sembrada para controlar la erosión y suprimir la invasión anual. Esta dosis de siembra es principalmente para condiciones de crecimiento favorable tales como un plantío

silvestre de maleza, suelos que no poseen características extremas en textura, taludes moderados, vista al sur o al este, buena humedad y nutrientes del suelo adecuados. Cuando las condiciones son menos favorables o cuando la semilla es voleada, las dosis de siembra deberían ser incrementadas hasta un nivel que es dos veces la dosis de siembra en surco para condiciones favorables.

Cuando se determina las dosis de siembra de especies particulares en una mezcla hay muchos factores que son necesarios considerar. El primero se relaciona a la composición de la comunidad deseada. Si la comunidad deseada es un campo de arbustos o un campo de césped dominado por un tipo de césped de estación fría, entonces es necesario que las dosis de

siembra reflejen esta composición. Desafortunadamente, no existen recetas específicas para combinar especies a fin de lograr un resultado particular. La mayoría de las dosis de siembra para mezclas de especies se basan en años de experiencia o experimentación específica con un grupo particular de especies en un medio ambiente determinado.

## 2. Semilla viable pura

Cuando se compra semilla, es importante que el depósito que la contiene tenga escrito en la etiqueta el origen, el porcentaje de germinación, la fecha de la prueba de germinación, el porcentaje de semilla pura (por peso). La certificación es la única garantía para el consumidor de que la semilla adquirida es de buena calidad. Sin esta información, no es posible determinar el porcentaje exacto en el cual la semilla viable está siendo sembrada.

Cuando se produce mezclas de semilla y cuando se compra semilla, se debería usar la designación de semilla viable pura (SVP). El porcentaje de semilla viable pura se expresa de la siguiente forma:

$$\% \text{ SVP} = \% \text{ de germinación} \times \% \text{ de pureza}$$

100

En la ecuación anterior, el porcentaje de germinación es el porcentaje de las semillas en una unidad de peso que son viables (por ejemplo, la semilla que produce brotes y raíz cuando se le somete a una prueba de germinación) y la pureza es 100 menos el porcentaje de material indeseable en el depósito de la semilla (por ejemplo, el material inerte más el porcentaje de semilla de maleza).

Problema tipo para calcular los porcentajes de semilla viable pura y la siembra a granel

1. Sembrar una mezcla de hierba trigo (wheatgrass) y hierba aguja (needlegrass) en una proporción de 50:50 en 30 SVP/metro cuadrado.

2. Cuántos kg por ha de cada especie se requeriría dada la siguiente información?

Especies Semillas/kg % Germinación % Pureza

Hierba

trigo 175 000 50 90

Hierba

aguja 250 000 70 85

Cálculos

Especies %SVP Kg SVP/ha Kg semilla

a granel/ha

Hierba de aguja

india 45 3,73 8,29

Hierba de trigo

oeste 60 2,61 4,35

$\text{Kg SVP/ha} = (\# \text{ semillas/ metro cuadrado})(\text{metro cuadrado/ha})$

# semillas/kg

$\text{Kg Semilla a granel/ha} = 100 \times \text{kg SVP}$

% SVP ha

## Capítulo IX. RECOLECCION Y ALMACENAMIENTO DE LA SEMILLA

### 1. Fuentes de semilla

Básicamente existen 3 opciones que pueden tomarse en cuenta para obtener semilla a fin de revegetar tierras en las que se han llevado a cabo actividades mineras. La primera es comprar semilla. La segunda es recolectar semilla de o en una localidad vecina al sitio minero y utilizar esta semilla directamente. La tercera opción es recolectar semilla de un área seleccionada y utilizar esta semilla en un programa para multiplicarla para proyectos de revegetación futura.

La compra de semilla a proveedores puede ser una de las alternativas más caras debido a que, actualmente, mucha de la semilla en el Perú es importada. Algunas de estas especies pueden tener cultivares mejorados disponibles que proporcionarán cierta seguridad que la semilla comprada manifestará algunas características genéticas seleccionadas y se adaptará a ciertas condiciones climáticas y edáficas. Sin embargo, la mayoría de especies nativas que serían utilizadas no se encontrarán disponibles en cultivares mejorados y, por lo tanto, se debe tener cuidado al comprar este material. Cuando se compra semilla de especies de un cultivar o variedad desconocido es esencial adquirir semillas que se originan de condiciones ambientales similares a las condiciones bajo las cuales serán plantadas. Con esta restricción, tal vez no siempre sea posible obtener las especies que se necesitarán en un año.

La segunda opción proporciona materiales de plantas que se originan en el área de interés y tienen adaptabilidad probada a las condiciones de crecimiento presentes en el área. Las dos principales limitaciones relacionadas con esta opción son: el hecho de que la semilla no se produce cada año por cada especie requerida y la cantidad de semilla que puede ser colectada en el área será de alguna manera limitada. La producción de semilla está sujeta a los cambios de la naturaleza y los fenómenos naturales como la sequía e infestación de insectos que afectarán la producción de semilla. Por lo tanto, habrá años en que algunas especies no producirán semillas o producirán cantidades muy limitadas de semilla viable. Aún en los años en que la producción de semillas sea buena, tal vez no sea posible recolectar la cantidad de semilla necesaria para ese año.

La tercera opción puede ser la más cara y la que tome más tiempo pero es la única que proporciona mayor seguridad en cuanto a cantidad y adaptabilidad. Cantidades relativamente pequeñas de semilla pueden ser recolectadas en el área de interés e incrementadas por un semillarista. Esta semilla incrementada producirá plantas que se adapten a las condiciones de crecimiento en el área de interés y se puede generar cantidades que satisfagan necesidades específicas de revegetación. Esta

opción requiere de tiempo de maduración para producir cantidades específicas de semilla. Se estima que se requerirá de un mínimo de tres años para producir semilla de especies anuales para un proyecto específico de revegetación.

## 2. Recolección de semilla

El momento oportuno para colectar la semilla es uno de los pasos más difíciles y cruciales en el proceso de obtención de semilla. La recolección de semillas inmaduras resulta en una baja viabilidad o periodo de vida latente de la semilla. El peligro que existe al dilatar la recolección es que las frutas de muchas plantas se abren (caen de la inflorescencia o del racimo) muy rápidamente de manera que si se retrasa la recolección, las semillas se pierden.

Para iniciar un programa de recolección es necesario investigar la fenología de las especies que serán recolectadas. Las principales etapas de la fenología que son de interés específico son: la floración, la formación de la semilla y la maduración de la semilla. La floración es la primera etapa fenológica que debe ser conocida. La floración es obvia en muchas especies con pétalos, sépalos y brácteas de colores; pero se debe poner mucha atención para observar la antésis (liberación del polen) en muchas especies de césped. Después de la floración, la secuencia de la fenología es la siguiente:

a) etapa de pasta suave: esta etapa se caracteriza por la excreción de pasta de las semillas cuando se les apreta entre el pulgar y el índice; normalmente, las semillas recolectadas en esta etapa no germinan;



b) etapa de pasta dura: esta etapa puede ser reconocida mordiendo la semilla una vez finalizada la etapa de pasta suave; en otras palabras, si no se puede aplastar la semilla entre el pulgar y el índice, trate de morderla: una vez que la semilla llega a su total madurez, generalmente, es muy difícil de morder; la recolección de semilla debería comenzar en el periodo de transición de pasta suave a pasta dura.

c) madurez: la madurez y la caída de la semilla puede ocurrir al mismo tiempo; para asegurar la obtención de semillas puede ser necesario repetir la recolección; las colecciones deberían extenderse desde el final de la etapa de pasta suave hasta que todas las semillas se pierdan. Para algunas especies, será necesario coleccionar semilla en diferentes etapas de su desarrollo, determinar su viabilidad e identificar la etapa correcta para la colecta.

Durante el proceso de recolección se debería enviar una muestra de semilla (400 semillas) tomada al azar a un laboratorio (posiblemente a una universidad o un laboratorio privado) para que se realice una prueba de tetrazolio a fin de determinar la viabilidad de la semilla recolectada. Esta prueba normalmente puede ser finalizada en 48 horas y le dirá al recolector si la semilla es viable y tiene potencial de germinación.

Las semillas de tipos de césped frecuentemente pueden ser recolectadas por "separación". El proceso consiste en recolectar los tallos de césped entre los dedos y retirar las semillas de la florescencia terminal a medida que se pasa la mano por el tallo. Otra alternativa en cuanto al césped es juntar las inflorescencias de la planta y cortar el tallo justo debajo de la inflorescencia.

Es mucho más difícil recolectar especies herbáceas de hoja ancha (maleza) que césped. Las semillas de muchas malezas pueden ser recolectadas sosteniendo una bandeja o caja bajo la inflorescencia mientras se sacude o agita y las semillas maduras caen dentro del recipiente.

Para malezas muy pequeñas, el método de recolección más simple puede ser cortando toda la planta y guardando el material en bolsas de papel, dejándolas en un lugar abierto seco, bien ventilado hasta que la semilla madure. Las especies herbáceas con cápsulas (como las legumbres) o frutas que revientan presentan un problema especial para la recolección. La única manera para recolectar semillas de este tipo es coleccionar cuidadosamente los frutos mientras están inmaduros y luego dejarlos madurar en bolsas cerradas. Aún si las cápsulas son tocadas en la etapa exacta de maduración éstas explotarán y se perderá toda la semilla.

Las especies de arbustos pueden ser recolectadas sosteniendo una bandeja o caja bajo las ramas extendidas mientras se

sacuden los arbustos con un palo o paleta. Algunas especies de arbustos pueden ser separadas a mano como se hace con las semillas de césped.

Siguiendo con este procedimiento, la semilla debe ser limpiada por un limpiador de semilla profesional si fuera posible. El uso de semilla limpiada es importante para conocer tanto la cualidad como la cantidad de la semilla que será plantada.

El almacenamiento apropiado de semilla es un paso vital en el proceso de recolección para garantizar semilla viable. Si la semilla va a permanecer almacenada más de un año, entonces, se debería seguir las siguientes indicaciones. Las dos preocupaciones mayores en cuanto al almacenamiento de la semilla son la temperatura y la humedad. Dos métodos prácticos que relacionan la influencia de la humedad y la temperatura con la rapidez de deterioro de la semilla son:

- a) cada reducción de 1% de humedad en la semilla dobla la vida de ésta y
- b) cada reducción de 5 oC de temperatura en la semilla dobla la vida de ésta.

Si el contenido de humedad en la semilla es lo suficientemente alto (sobre el 30%), la semilla en estado de vida latente germinará. En porcentajes de 18 a 30%, se producirá calor debido a la actividad microbiana si el oxígeno está presente, dando por resultado la muerte rápida de la semilla.

En porcentajes de humedad de aproximadamente 10% en semillas aceitosas y aproximadamente 13 a 18% en semillas de fécula, el hongo almacenado crece activamente y destruye el embrión de la semilla. Por lo tanto, la semilla debe ser secada lo antes posible a una humedad por debajo de 13% y debe ser almacenada bajo este contenido de humedad todo el tiempo. Sin embargo, secar bajo 4 a 5% humedad también dará por resultado un deterioro más rápido que si la semilla fuera secada a un rango de 6 a 10%.

Para secar semillas, la humedad relativa del aire debe estar en equilibrio con la humedad de la semilla de manera que habrá un gradiente de humedad desde la semilla al aire. Las semillas pueden ser secadas en aire caliente o no, pero en la mayoría de los casos el aire no calentado no será efectivo para producir un contenido de humedad seguro. Por lo tanto, el aire calentado es usado mayormente con una temperatura que no exceda de 38 oC. Debería existir buen flujo de aire alrededor de la semilla y es crítico no secar la semilla muy rápidamente ya que si la gradiente de humedad de la superficie de la semilla es más alto que la

gradiente de humedad del interior de la semilla a la superficie de ésta, la superficie se secará rápidamente y causará la resquebrajadura del tejido o incluso encogerá las células externas y creará una capa impenetrable a la humedad.

La regla práctica para la temperatura es aplicable en forma descendiente hasta al menos 0 °C. Si la humedad de la semilla está debajo del 14%, no se forman cristales de hielo a la temperatura en la cual la semilla se congela, de manera que el almacenamiento de semilla seca a temperaturas de sub-congelamiento debe mejorar la longevidad. Desafortunadamente, la mayoría de unidades de almacenamiento que producen temperaturas de sub-congelamiento también tienen alto porcentaje de humedad y las semillas tomarán más tiempo del adecuado a menos que la semilla sea colocada en depósitos a prueba de humedad.

Luego que las semillas son secadas con el contenido de humedad deseado, deben ser guardadas a este nivel o se perderá el beneficio y costo de secarlas. El mantenimiento de la semilla en condición seca se puede realizar de tres maneras diferentes:

- 1) la unidad de almacenamiento es a prueba de humedad y tiene equipo de deshumidificación,
- 2) las semillas deben ser almacenadas en depósitos a prueba de humedad, o
- 3) las semillas deben ser localizadas en depósitos sellados con indicador de sílica gelatinosa seca (2 kg de sílica por cada 10 kg de semilla). Si no se dispone de instalaciones apropiadas para el almacenamiento, no se recomienda secar la semilla bajo el contenido de humedad del aire ambiental.

## Capítulo X. EQUIPO DE RECUPERACION

### 1. Preparación del lugar

Antes de realizar cualquier siembra en un sitio disturbado, es necesario hacer preparativos para crear un ambiente apropiado para el establecimiento de la planta. La preparación física del lugar a menudo se refiere al cultivo. El cultivo proporciona:

- 1) un ambiente favorable para la germinación y el crecimiento de las plántulas,
- 2) el control de maleza,
- 3) el control de erosión, y
- 4) la conservación del agua del suelo. El cultivo mejora la aeración del suelo, reduce la escorrentía, incrementa la infiltración, reduce la compactación y produce condiciones para el buen contacto de la semilla con el suelo.

Hay métodos de cultivo primarios y secundarios. Los métodos de cultivo primarios afectan el suelo a una profundidad relativamente grande y deja la superficie accidentada. Los dos métodos más comunes de cultivo primario son el arado utilizando cuchillas y cinceles. Los métodos de arado secundarios afectan el suelo a relativamente poca profundidad y son utilizadas para preparar el plantío antes de la siembra. El cultivo secundario reduce la aspereza de la superficie del suelo, remueve la maleza y ayuda a conservar el agua. El método más común de cultivo secundario es la escarificación con un escarificador de disco o diente.

Junto con los métodos de cultivo mencionados, la preparación del sitio también puede incluir cambios en la superficie del suelo para crear pequeñas cuencas o depresiones para reducir el flujo sobre el terreno a fin de controlar la erosión y mejorar la relación agua-suelo para el crecimiento de la planta. Una pieza del equipo que puede ser utilizada para crear estas depresiones es el denominado canalizador. El canalizador excava depresiones en la superficie del suelo para recolectar humedad y proteger las semillas y plántulas de la erosión del viento y del agua. El canalizador es acoplado detrás de un tractor y tiene un cilindro alternativo que es potenciado por el sistema hidráulico del tractor para levantar y bajar las cuchillas cortadoras. Una caja de semillas puede ser montada en la parte posterior de la estructura del canalizador para realizar la siembra y la canalización en una sola operación. Las depresiones creadas por esta máquina miden de 0.9 a 1.2 m de longitud, de 46 a 56 cm de ancho y de 15 a 20 cm de profundidad. Pueden excavarse cerca de 4,000 depresiones por hectárea. Si no se dispone de equipo para crear dichas depresiones, debe usarse la mano de obra obteniendo igual efectividad, especialmente en áreas de pendiente.

## Capítulo XI. METODOS DE PLANTACION

### 1. Siembra

La principal preocupación de la siembra es colocar la semilla en el suelo a la profundidad más favorable para su germinación y establecimiento. La profundidad óptima de localización de la semilla difiere dependiendo de cada especie, pero en general, cuanto más pequeña sea la semilla la colocación será más superficial, cuanto más grande sea la semilla más profunda será su colocación. Este método práctico está directamente relacionado con la cantidad de reservas de alimento que contenga la semilla para producir un coleóptilo lo suficientemente largo para penetrar la superficie del suelo. Además, la luz estimula la germinación de algunas especies mientras que la oscuridad es esencial para otras. Debido a las necesidades específicas que tiene cada especie, una plantación profunda o una técnica de siembra determinada podría no ser la óptima para todas las especies que se plantan en combinación. En general, la plantación con una profundidad de un centímetro es la óptima para la mayoría de especies nativas.

- Sembrado en surcos

El sembrado en surcos utiliza un implemento que coloca la semilla a una profundidad específica en el suelo. Ya que la localización de la semilla en el perfil del suelo debería optimizar su potencial para el contacto con el agua, la profundidad de siembra variará con la capacidad de retención de agua, la textura del suelo, la exposición del sitio y otros aspectos que influyen en la humedad del suelo. Los surcos deberían colocarse a mayor profundidad en suelos arenosos ligeros o exposiciones al norte. En suelos de textura más fina, en condiciones de humedad alta o exposiciones al sur, los surcos deben realizarse a menores profundidades.

Semillas más pequeñas o semillas con cubiertas suaves se mueven rápidamente al fondo de la caja de semillas durante la operación de siembra en surcos. Esta clase de semilla debería colocarse en cajas separadas para lograr una distribución más uniforme. Las semillas cubiertas de pelusa o vello o semillas con aristas largas formarán grandes racimos que interfieren con el movimiento de la semilla dentro de los tubos. Este problema puede superarse agregando un transportador al conjunto de semillas (por ejemplo, hollejos de arroz, mazorcas de maíz molida o incluso arena) para mejorar el flujo de semilla de la caja a los tubos.

- Siembra al voleo

Cualquier método de dispersión de semilla que la deja caer sobre la tierra y no la coloca dentro del suelo es considerado como siembra al voleo. Ya que la semilla es depositada en la superficie del suelo y no se coloca dentro de éste, debe pasarse sobre el sitio algún tipo de dispositivo (por ejemplo, escarificador o conjunto de cadenas) después del sembrado para cubrir la semilla con suelo. La semilla también puede ser dispersada usando rastra o donde haya ganado, los animales de tiro pueden ser utilizados para jalar tablas o implementos similares a través del área sembrada.

Los dispersadores centrífugos son usados generalmente para la siembra al voleo. Estos esparcidores usualmente tienen un ancho de dispersión efectivo de aproximadamente 6 a 12 m.

La hidrosiembra es una forma de sembrado al voleo en la cual la semilla se dispersa en agua a presión. Si se utiliza esta técnica, la semilla no debería combinarse con "hidromulch" o cualquier otro tipo de adherente ya que la semilla será dispersada sobre el suelo y se secará cuando el "mulch" o adherente se seque.

La siembra aérea es el voleo de semilla mediante una aeronave a hélices o helicóptero. Realizada apropiadamente es una manera muy eficiente de esparcir semilla en grandes áreas, pendientes excesivas o áreas inaccesibles para el transporte terrestre.

## - Siembra de legumbres

Las legumbres (es decir, plantas fijadoras de nitrógeno asociadas con Rhizobium) a menudo son incluidas en mezclas de semillas para mejorar el nivel de nitrógeno del suelo y agregar diversidad a la comunidad de la planta. Estas especies necesitan la presencia de bacterias huéspedes específicas a fin de establecer una relación simbiótica. Por lo tanto, cuando se siembran legumbres, debería agregarse un inóculo a la semilla para asegurar la presencia de la especie apropiada de Rhizobium. Si no se dispone de Rhizobium, el suelo superficial de las áreas donde han crecido las especies podría ser utilizado como una fuente de inóculo.

## - Época de siembra

La siembra debería realizarse inmediatamente antes del periodo de mayor precipitación. La época de siembra variará de región a región dependiendo de la distribución de la precipitación en el área.

En general, las especies de clima frío tienden a desarrollar mejor cuando son sembradas en otoño; y las especies de clima cálido tienden a mejorar cuando son plantadas en primavera o verano,

dependiendo de la región. Esta respuesta se observa porque las especies de clima frío experimentan su mayor crecimiento durante los meses de primavera fría y especies de clima caliente crecen mejor durante los meses más calientes de verano.

## 2. Plantación

### - Plantas enteras

Toda la planta o partes de ella pueden ser transplantadas. Toda la planta puede ser transplantada a raíz desnuda o como plantas silvestres (es decir, plantas que se han extraído de su ambiente natural y transplantadas en el ambiente disturbado). Las plantas a raíz desnuda desarrollan en un área protegida o cerrada. Cuando las plantas alcanzan un tamaño predeterminado, son estresadas reduciendo la humedad, la temperatura, los nutrientes y la duración del día. Durante el periodo de estresamiento, las plantas incrementan sus reservas de carbohidratos y continúan en estado de vida latente. Una vez que las plantas están en vida latente, son retiradas del medio de crecimiento, los tallos y las raíces son podados y las plantas son empaquetadas. Entonces son colocadas en un ambiente húmedo, oscuro y frío hasta que sean transplantadas. El éxito del método de planta a raíz desnuda depende de mantener las plantas inactivas hasta que sean plantadas y minimizar la tensión del agua cuando son plantadas en el campo.

Las plantas desarrolladas en recipientes se colocan en un invernadero. Estas plantas normalmente están en crecimiento activo cuando se compran y trasplantan, de manera que la estación de plantación es de vital importancia para prevenir daños debido a temperaturas bajas. La planta puede ser estresada en el recipiente antes de trasplantarla para extender la estación de plantación.

Las plantas silvestres son extraídas de su ambiente natural y trasplantadas al área disturbada. Tanto los árboles como los arbustos pueden ser retirados exitosamente mediante esta técnica; y parece ser que las plantas que brotan de raíces o tallos subterráneos desarrollan mejor usando esta alternativa. Los brotes aéreos deberían ser podados antes del trasplante para reducir la transpiración y la tensión del agua en las plantas.

#### - Partes de las plantas

Las estacas y los esquejes son formas de propagación para establecer césped, arbustos y árboles. Las estacas consisten de raíces leñosas o pedazos de tallos que incluyen los nudos. Los tallos y yemas de la raíz se desarrollan del tejido meristemático en la raíz o en los nudos de la planta y crecen como plantas completas. Es común tratar las estacas con una hormona de crecimiento [por ejemplo, ácido naftalinacético (ANA) o ácido indolbutírico (AIB)] para estimular el desarrollo de la raíz .

El tratamiento con esquejes es una técnica para trasplante de césped y arbustos. Las especies que emiten brotes en la raíz o forman rizomas son las más apropiadas para esta alternativa. Los sistemas de las raíces son retirados del suelo después de podar los brotes al nivel del suelo. Estos esquejes son luego esparcidos en el sitio que será restaurado y cubiertos con suelo y ligeramente compactados.

## Capítulo XII. COBERTURAS INERTES ("MULCH") Y CONTROL DE LA EROSION

Una cobertura inerte o "mulch" es un material no vivo colocado o dejado sobre o cerca a la superficie del suelo con el propósito de protegerlo de la erosión, proteger las plantas del calor, frío o sequía, controlar el establecimiento de maleza y adicionar materia orgánica. El "mulch" es usado principalmente para controlar la erosión producida por el viento y el agua, facilitar la infiltración, reducir la evaporación y moderar la temperatura del suelo. Cumpliendo con todos estos objetivos, el uso de un "mulch" generalmente debería mejorar la germinación y el establecimiento de las plántulas. Es importante que se examinen las condiciones de los lugares específicos antes de decidir si es necesaria o no la aplicación del "mulch". En general, su aplicación es necesaria cuando las pendientes son excesivas, los suelos son altamente propensos a la erosión, la humedad del suelo va a constituir una limitación para el establecimiento de la planta, se presentan fuertes vientos o cuando el encostramiento del suelo es un problema.

## 1. Paja

La paja es uno de los "mulches" más comúnmente usados. Consiste de tallos de granos de cereales como trigo, cebada o avena. Los porcentajes de aplicación son de aproximadamente 2 t/ha. El "mulch" de paja puede contener comúnmente semilla de la cosecha principal o maleza indeseable. Se debería realizar la selección de "mulch" con mucho cuidado para asegurar que el contenido de semilla sea mínimo.

La paja puede ser esparcida manualmente sobre áreas pequeñas o con un ventilador neumático sobre áreas mayores. El "mulch" debe ser fijado en el lugar para prevenir pérdidas debido a vientos fuertes o flujos de agua sobre el terreno. El "mulch" de paja puede ser fijado mediante el uso de engarce o trinchador de forraje. El trinchador de forraje es una máquina que empuja parte de la paja al suelo con la porción restante sobresaliendo y actuando como rastrojo. Este rastrojo cubre ligeramente la tierra, disminuye la velocidad del viento en la superficie y mejora la infiltración. La paja también puede ser afirmada en el lugar con el uso de adherentes que son esparcidos con atomizador sobre la superficie del "mulch" o con una red plástica que se coloca sobre la paja y se asegura en el lugar con grampas metálicas de 15 a 20 cm.

## 2. Heno natural

El heno natural es muy similar a la paja en cuanto a su efectividad, su procedimiento de aplicación y a su método de fijación del material en el lugar. Una ventaja del heno natural sobre la paja es que los tallos de henos usualmente son más largos; esto origina mayor vida del "mulch" y mejores resultados del engarce. El heno natural contiene además gran cantidad de semillas deseadas o no, dependiendo de la composición de las especies de heno y la presencia de malezas. Si el heno es colectado cuando la semilla ha llegado a su madurez, el uso de este material como "mulch" puede originar un campo de césped natural en el lugar rehabilitado.

## 3. "Mulch" acuoso

El "mulch" acuoso es la aplicación de un "mulch" de fibra leñosa en una pasta de agua, usando una máquina especializada conocida como "hydromulcher" o "hydroseeder". Este tipo de "mulch" es el más efectivo en las pendientes excesivas cuyo acceso es limitado o donde el uso de la trinchadora de la paja o heno no es posible.

El "mulch" acuoso debería ser aplicado en un porcentaje de aproximadamente 1,5 t/ha y se puede añadir un elemento viscoso al "mulch" para mejorar su adherencia al suelo. La evidencia que confirma el uso de un elemento viscoso junto con el "mulch" acuoso es limitada y, por lo tanto, no es recomendado. Además, un "hydromulcher/hydroseeder" puede ser utilizado para



aplicar semilla, fertilizante y "mulch" separadamente o en cualquier combinación. Combinar estos materiales en una operación no es recomendable. La semilla nunca debería aplicarse en combinación con el "mulch" debido a que la semilla no llega a tener un buen contacto con el suelo y la mayoría de semilla se pierde debido a la deshidratación. No se recomienda la aplicación de fertilizante y semilla debido a que el fertilizante (especialmente N) puede reducir la germinación de la semilla, creando un efecto salino y disminuyendo así la absorción de agua por parte de la semilla.

#### 4. Residuos de madera

Esta categoría de "mulch" incluye elementos como viruta o fragmentos de corteza. Estos productos constituyen un excelente "mulch" si se pudiera encontrar una fuente local. El porcentaje de aplicación para residuos de madera es de aproximadamente 2 a 6 veces el porcentaje de aplicación de paja o heno. Estos materiales pueden ser esparcidos con la mano sobre áreas pequeñas o con fuelles de aire comprimido sobre áreas grandes. Los residuos de madera duran más que cualquier otro "mulch" excepto el "mulch" de grava. Una limitación para usar residuos de madera es que no son efectivos

en terrenos con pendientes porque son removidos del sitio con cualquier flujo superficial. Por lo tanto, su uso debe restringirse a áreas llanas o de declive ligero. Si el residuo de madera se deja en la superficie del suelo existe un pequeño problema en cuanto a la inmovilización del nitrógeno. Sin embargo, si el "mulch" es incorporado en el suelo entonces se debe agregar una cantidad adicional de N para compensar por el N que será inmovilizado por la actividad microbiana durante la descomposición. Se debería agregar al suelo aproximadamente 10 kg de N/ha por 1 t/ha de residuos de madera incorporados al suelo.

#### 5. Tejidos o mantas

Hay muchas mantas de control de erosión disponibles. Los dos "mulches" más efectivos en esta categoría son la malla de yute y la esterilla de viruta (parte central de paja o fibra leñosa rodeado de dos capas de red plástica). Ambos se producen en cilindros largos que simplemente se desenrollan sobre el sitio asegurándolos en el lugar con grampas de metal de 15 a 20 cm de largo. Durante la aplicación de estos "mulches" hay dos reglas generales que deben seguirse:

- 1) debe existir buen contacto entre el "mulch" y el suelo y
- 2) asegurar firmemente los bordes del "mulch" en el suelo para prevenir que vientos fuertes levanten la esterilla de la superficie del suelo.

Las mantas de control de erosión son caras y su uso debe limitarse a sitios con alto potencial de erosión.

#### 6. Piedra o grava

La piedra o grava es el mejor producto de "mulch" disponible. Este "mulch" es permanente, no introduce semilla y es extremadamente efectivo para controlar la erosión y mejorar la relación de humedad y temperatura para la germinación inicial y el establecimiento, y para el crecimiento y supervivencia a largo plazo. El uso de este "mulch" es limitado por la disponibilidad y los costos asociados al transporte y la aplicación. La dispersión de este "mulch" puede realizarse con camiones de vaciado con distribuidores tipo ciclón. El tamaño de la grava debería ser de aproximadamente 2 mm de diámetro, y la tasa de aplicación debería ser de aproximadamente 2 cm de espesor o cerca de 135 t/ha.

## Capítulo XIII. USO DEL RIEGO

### 1. Propósito

El riego es un tratamiento costoso y debería ser considerado sólo como una medida temporal para mejorar la germinación y el establecimiento de la planta o para lixiviar los constituyentes indeseables solubles en agua, a profundidades mayores en el perfil del suelo. El riego no debería verse como una práctica a largo plazo, a menos que el uso de la tierra o la baja precipitación dicte su utilización continua. El desarrollo y sustentabilidad de la comunidad de plantas debe llevarse a cabo bajo condiciones climáticas naturales.

### 2. Factores que influyen en la necesidad de riego

Existen muchos factores que influyen en la necesidad de riego y en la cantidad de agua que podría ser aplicada en un programa de riego. En general, el uso del riego debería ser considerado seriamente en áreas que reciben precipitaciones anuales de 250 mm o menos. Adicionalmente, debe considerarse el riego para áreas que tienen precipitaciones limitadas durante la época de crecimiento a fin de ayudar al establecimiento de la planta.

La cantidad de agua de riego aplicada debe ser suficiente para obtener el establecimiento de la planta pero no en exceso como para que la producción de la vegetación sea tan grande que no se pueda mantener con precipitaciones naturales después de eliminar el riego. Las dosis específicas de riego y la frecuencia de aplicación del agua dependerán del clima, la profundidad de las aguas subterráneas, las condiciones del suelo (suelos arcillosos versus suelos arenosos), la densidad de vegetación deseada, la necesidad de agua por parte de las especies vegetales, el uso de prácticas de revegetación tales como el "mulching" y los requerimientos de uso de la tierra.

### 3. Efectos negativos del riego inadecuado

Se podrían presentar efectos negativos de no realizar apropiadamente el riego. Si se aplica demasiada agua de riego, la comunidad de plantas será más productiva que en el clima natural y los esfuerzos de restauración pueden fallar cuando se elimina este procedimiento. Si la calidad de agua es mala (altos porcentajes de sales o metales), el suelo se contaminará y el crecimiento de las plantas será afectado negativamente. Además, si se aplica el riego frecuentemente y en pequeñas cantidades,

es muy probable que las plantas establecidas desarrollen sistemas radiculares con baja densidad y escasa

profundidad. Estas plantas no serán capaces de sobrevivir extensos periodos de sequía después de eliminar el riego.

Finalmente, aplicar demasiada agua estimulará el crecimiento de plantas de crecimiento rápido, que podrían obstaculizar el establecimiento de especies menos competitivas.

#### 4. Efectos positivos del riego adecuado

Cuando el riego se utiliza apropiadamente se mejora la confiabilidad en el establecimiento de la vegetación, se reduce el tiempo

para su establecimiento, se mejora el control contra la erosión y se extiende el periodo de plantación. Además, se puede lograr

especies con germinación y necesidades específicas para su establecimiento; y las plantas establecidas serán más vigorosas y

menos susceptibles a las presiones ambientales durante las primeras etapas de establecimiento.

#### 5. Sistemas de riego

Básicamente, existen dos sistemas de riego disponibles para la restauración de tierras afectadas por la actividad minera. El

primero es el riego por aspersión, y el segundo es el riego por goteo. Un tercer tipo de riego, conocido como riego por

inundación, también puede ser una posibilidad si la topografía de una concesión es llana y se dispone de una fuente de agua por

gravedad. El riego por aspersión utiliza cabezales de aspersión por impacto que aplican uniformemente el agua sobre la tierra.

Este método es adaptable a una topografía irregular; el agua y el fertilizante pueden ser aplicados simultáneamente; se requiere

mínima filtración de agua; el equipo tiene larga vida y el mantenimiento es mínimo.

El riego por goteo es la aplicación de agua a través de un sistema de presión y de bajo volumen, donde ésta es goteada en la

superficie del terreno a través de pequeños emisores o aberturas en la tubería plástica. Esta técnica aplica el agua en áreas muy

localizadas donde los arbustos y los árboles se están estableciendo. Esta alternativa de riego utiliza menos agua que el riego por

aspersión pero las desventajas son que requiere agua altamente filtrada, el tiempo de vida del equipo es limitado y el

requerimiento de mantenimiento es mayor.

#### REFERENCIAS

Allen, Edith B. (Editor). 1988.

The Reconstruction of Disturbed Arid Lands. Westview Press, Inc. Boulder, Colorado. 267 pp.

American Society of Agricultural Engineers. 1981.

Forest Regeneration. The Proceedings of the Symposium of Engineering Systems for Forest Regeneration. American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph, Michigan. 376 pp.

Askenasy, Paul E. y Ronald C. Severson. 1988.

Chemical procedures applicable to overburden and minesoil. pp. 55-80. En: Hossner, Lloyd R. (Editor). Reclamation of Surface Mined Lands. Volume I. CRC Press. Boca Raton, Florida. 219 pp.

Barnhisel, Richard I. 1988.

Correction of physical limitations to reclamation. pp. 191-211. En: Hossner, Lloyd R. (Editor). Reclamation of Surface Mined Lands. Volume I. CRC Press. Boca Raton, Florida. 219 pp.

Barnhisel, Richard I. 1988.

Fertilization and management of reclaimed lands. pp. 1-16. In Hossner, Lloyd R. (Editor).

Reclamation of Surface Mined Lands. Volume II. CRC Press. Boca Raton, Florida. 250 pp.

Bauer, Armand, William A. Berg, y Walter L. Gould. 1978.

Correction of nutrient deficiencies and toxicities in strip-mined lands in semiarid and arid regions. pp. 451-466. En: Schaller, Frank W. and Paul Sutton (editors). Reclamation of Drastically Disturbed Lands. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin. 742 pp.

Bennet, O. L., E. L. Mathias, W. H. Armiger, y J. N. Jones, jr. 1978.

Plant materials and their requirements for growth in humid regions. pp. 285-306. En: Schaller, Frank W. and Paul Sutton (editors). Reclamation of Drastically Disturbed Lands. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin. 742 pp.

Berg, Marlene, G. (Editor). 1983.

Conferencia sobre: Soil and Overburden Requirements for Successful Revegetation. U. S. Government Printing Office 1984-680-423/398. 186 pp.

Berg, W. A. 1978.

Limitations in the use of soil tests on drastically disturbed lands. pp. 653-664. En: Schaller, Frank W. and Paul Sutton (editors). Reclamation of Drastically Disturbed Lands. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin. 742 pp.

Berg, W. A., J. A. Brown y R. L. Cuany. (Editors). 1974.

Proceedings of a Workshop on Revegetation of High Altitude Disturbed Lands. Environmental Resources Center. Information Series No. 10. Colorado State University, Fort Collins, Colorado. 87 pp.

Biondini, M. E., C. D. Bonham y E. F. Redente. 1985.

Relationships between induced successional patterns and soil biological activity of reclaimed areas. Recl. Reveg. Res. 3:323-342.

Biondini, Mario E., Charles D. Bonham y Edward F. Redente. 1985.

Secondary successional patterns in a sagebrush (*Artemisia tridentata*) community as they relate to soil disturbance and soil biological activity. Vegetatio 60:25-36.

Biondini, M. E. y E. F. Redente. 1986.

Interactive effect of stimulus and stress on plant community diversity in reclaimed lands. Recl. and Reveg. Res. 4:211-222.

Black, C. A. (Editor). 1965.

Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin. 1572 pp.

Bonham, Charles D. 1989.

Measurements for Terrestrial Vegetation. John Wiley & Sons. New York, New York. 338 pp.

Brady, Nyle C. 1974.

The Nature and Properties of Soils. 8th Edition. Macmillan Publishing Co. New York, New York. 639 pp.

Call, Christopher A. y Bruce A. Roundy. (editors). 1990.

Proceedings of Symposium "Perspectives and Processes in Rangeland Revegetation". 43rd Annual Meeting of The Society for Range Management, Reno, Nevada. Society for Range Management, Denver, Colorado. 155 pp.

Caruccio, Frank T., Lloyd R. Hossner y Gwendelyn Geidel. 1988.

pp. 159-190. En: Hossner, Lloyd R. (Editor). Reclamation of Surface Mined Lands. Volume I. CRC Press. Boca Raton, Florida. 219 pp.

Colbert, Thomas A. y Robin L. Cuany. (Editors). 1984.

Proceedings: High Altitude Revegetation Workshop No. 6. Colorado Water Resources Research Institute. Information Series No. 53. Colorado State University, Fort Collins, Colorado. 238 pp.

Cuany, Robin L. y Julie Etra. (Editors). 1982.

Proceedings: High Altitude Revegetation Workshop No. 5. Colorado Water Resources Research Institute. Information Series No. 48. Colorado State University, Fort Collins, Colorado.

DePuit, Edward J. y Edward F. Redente. 1988.

Ecosystem dynamics on reconstructed semiarid lands, p. 162-204. En: Edith Allen, ed. Reclamation of Disturbed Arid Ecosystems. Westview Press.

Doerr, Ted B., E. F. Redente y F. B. Reeves. 1984.

Effects of soil disturbance on plant succession and levels of mycorrhizal fungi in a sagebrush-grassland community. J. Range Manage. 37:135-139.

Dollhopf, Douglas J. y Robert C. Postle. 1988.

Physical parameters that influence successful minesoil reclamation. p. 81-104. En: Hossner, Lloyd R. (Editor). Reclamation of Surface Mined Lands. Volume I. CRC Press. Boca Raton, Florida. 219 pp.

Gardner, H. R. y D. A. Woolhiser. 1978.

Hydrologic and climatic factors. pp. 173-191. En: Schaller, Frank W. and Paul Sutton (editors). Reclamation of Drastically Disturbed Lands. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin. 742 pp.

Glover, Frank, Marshall Augustine y Michael Clar. 1978.

Grading and shaping for erosion control and rapid vegetative establishment in humid regions. pp. 271-283. En: Schaller, Frank W. and Paul Sutton (editors). Reclamation of Drastically Disturbed Lands. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin. 742 pp.

Hargis, Norman E. y Edward F. Redente. 1984.

Soil handling practices in the western United States. J. Soil Water Conserv. 39:300-305.

Hartmann, Hudson T. y Dale E. Kester. 1975.

Plant Propagation. 3rd. Edition. Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, New Jersey. 662 pp.

Harwood, G. D. y John L. Thames. 1988.

Design and planning considerations in surface-mined land shaping. pp. 137-158. En: Hossner, Lloyd R. (Editor). Reclamation of Surface Mined Lands. Volume I. CRC Press. Boca Raton, Florida. 219 pp.

Hassell, Wendell G., Susan K. Nordstrom, Warren R. Keammerer y Jeffrey Todd.

(Editors). 1992.

Proceedings: High Altitude Workshop No. 10. Colorado Water Resources Research Institute. Information Series No. 71. Colorado State University, Fort Collins, Colorado. 316 pp.

Hudson, Norman. 1971.

Soil Conservation. Cornell University Press. Ithaca, New York. 320 pp.

Jackson, Charles L. y Mark A. Schuster. (Editors). 1980.

Proceedings: High Altitude Revegetation Workshop No. 4. Colorado Water Resources Research Institute. Information Series No. 42. Colorado State University, Fort Collins, Colorado.

Jansen, Ivan J. y S. W. Melsted. 1988.

Land shaping and soil construction. pp. 125-136. En: Hossner, Lloyd R. (Editor). Reclamation of Surface Mined Lands. Volume I. CRC Press. Boca Raton, Florida. 219 pp.

Jordan, William R., Michael E. Gilpin y John D. Aber. 1987.

Restoration Ecology: A synthetic approach to ecological research. Cambridge University Press. New York, New York. 342 pp.

Kay, Burgess L. 1978.

Mulch and chemical stabilizers for land reclamation in dry regions. pp. 467-483. En: Schaller, Frank W. and Paul Sutton (editors). Reclamation of Drastically Disturbed Lands. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin. 742 pp.

Keammerer, Warren R. y Larry F. Brown. (Editors). 1988.

Proceedings: High Altitude Revegetation Workshop No. 8. Colorado Water Resources Research Institute. Information Series No. 59. Colorado State University. Fort Collins, Colorado. 319 pp.

Keammerer, Warren R. y Jeffrey Todd. (Editors). 1990.

Proceedings: High Altitude Revegetation Workshop No. 9. Colorado Water Resources Research Institute. Information Series No. 63. Colorado State University, Fort Collins, Colorado. 257 pp.

Kenny, S. T. (Editor). 1978.

Proceedings: High Altitude Revegetation Workshop No. 3. Colorado Water Resources Research Institute. Information Series No. 28. Colorado State University, Fort Collins, Colorado. 213 pp.

Linsay, W. L. y W. A. Norvell. 1978.

Development of a DTPA micronutrient soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Sci. Soc. Am. J. 42:421-428.

Mays, D. A. y G. W. Bengtson. 1978.

Lime and fertilizer use in land reclamation in humid regions. pp. 307-328. En: Schaller, Frank W. and Paul Sutton (editors). Reclamation of Drastically Disturbed Lands. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin. 742 pp.

McLendon, T. y E. F. Redente. 1990.

Secondary succession patterns following soil disturbance in a sagebrush steppe community. Oecologia 85:293-300.



McLendon, T. y E. F. Redente. 1991.

Nitrogen and phosphorus effects on secondary succession dynamics on a semi-arid sagebrush site. *Ecology* 72:2016-2024.

McLendon, Terry y Edward F. Redente. 1992.

Effects of nitrogen limitation on secondary succession dynamics on a semiarid sagebrush site. *Oecologia* 91:312-317.

Miller, Raymond W. y Roy L. Donahue. 1990.

Soils--An Introduction to Soils and Plant Growth. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. 768 pp.

Mueller-Dombois, Dieter y Heinz Ellenberg. 1974.

Aims and Methods of Vegetation Ecology. John Wiley & Sons. New York, New York. 547 pp.

Nielson, Rex F. y H. B. Peterson. 1978.

Vegetating mine tailings ponds. pp. 645-652. En: Schaller, Frank W. and Paul Sutton (editors). *Reclamation of Drastically Disturbed Lands*. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin. 742 pp.

Plass, William T. 1978.

Use of mulches and soil stabilizers for land reclamation in the Eastern United States. pp. 329-337. En: Schaller, Frank W. and Paul Sutton (editors). *Reclamation of Drastically Disturbed Lands*. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin. 742 pp.

Redente, Edward F., and Edward J. DePuit. 1988.

Reclamation of drastically disturbed rangelands, p. 559-584. En: Paul T. Tueller, ed. *Vegetation Science Applications for Rangelands Analysis and Management*. Kluwer Academic Pub.

Redente, Edward F., Ted B. Doerr, Carolyn E. Grygiel y Mario E. Biondini. 1984.

Vegetation establishment and succession on disturbed soils in northwest Colorado. *Reclam. Reveg. Res.* 3:153-165.

Redente, Edward F. y Norman E. Hargis. 1985.

An evaluation of soil thickness and manipulation of soil and spoil for reclaiming mined land in northwest Colorado. Recl. Reveg. Res. 4:17-29.

Reeder, J. D. y Burns Sabey. 1987.

Nitrogen. pp. 155-184. En: Williams, R. Dean and Gerald E. Schuman. (Editors). Reclaiming Mine Soils and Overburden in the Western United States: Analytical parameters and procedures. Soil Conservation Society of America. Ankeny, Iowa. 336 pp.

Reeves, F. B. y E. F. Redente. 1990.

The importance of mutualism in succession, p. 423-442. En: J. Skujins, ed. Semiarid Lands and Deserts: Soil Resource and Reclamation. Marcel Dekker, Inc.

Reith, Charles C. y Loren D. Potter. (Editors). 1986.

Principles and Methods of Reclamation Science. University of New Mexico Press, Albuquerque, New Mexico. 224 pp.

Riddle, James. M. y Lee W. Saperstein. 1978.

Premining planning to maximize effective land use and reclamation. pp. 223-240. En: Schaller, Frank W. and Paul Sutton (editors). Reclamation of Drastically Disturbed Lands. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin. 742 pp.

Ries, R. E. y A. D. Day. 1978.

Use of irrigation in reclamation in dry regions. pp. 505-520. En: Schaller, Frank W. and Paul Sutton (editors). Reclamation of Drastically Disturbed Lands. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin. 742 pp.

Soltanpour, P. N. y A. P. Schwab. 1977.

A new soil test for simultaneous extraction of macro- and micronutrients in alkaline soils. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 8:195-207.

Sanchez, P. A. 1976.

Properties and managements of soils in the tropics. John Wiley & Sons. New York, New York. 618 pp.

Sanchez, P. A., H. Villachica y D. E. Bandy. 1983.

Soil fertility dynamics after converting a tropical forest to continuous cultivation in the Amazon Basin of Peru. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 47:1171-1178.

Sandoval F. M. y W. L. Gould. 1978.

Improvement of saline- and sodium-affected disturbed lands. pp. 485-504. En: Schaller, Frank W. and Paul Sutton (editors). *Reclamation of Drastically Disturbed Lands*. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin. 742 pp.

Schiechtl, Hugo. 1980.

*Bioengineering for Land Reclamation and Conservation*. The University of Alberta Press. Edmonton, Alberta, Canada. 404 pp

Schubert, Gilbert H. y Ronald S. Adams. 1971.

*Reforestation Practices for Conifers in California*. Division of Forestry, Department of Conservation, State of California, Sacramento, California. 359 pp.

Schuster, Mark A. y Ronald H. Zuck. (Editors). 1986.

*Proceedings: High Altitude Revegetation Workshop No 7*. Colorado Water Resources Research Institute. Information Series No. 58. Colorado State University, Fort Collins, Colorado. 278 pp.

Senkayi, Abu L. y J. B. Dixon. 1988.

Mineralogical considerations in reclamation of surface-mined lands. pp. 105-124. En: Hossner, Lloyd R. (Editor). *Reclamation of Surface Mined Lands*. Volume I. CRC Press. Boca Raton, Florida. 219 pp.

Smith, Harris P. y Lambert H. Wilkes. 1976.

*Farm Machinery and Equipment*. 6th Edition. McGraw-Hill Book Company. New York, New York. 488 pp.

Smith, Richard M. y Andrew A. Sobek. 1978.

Physical and chemical properties of overburdens, spoils, wastes, and new soils. pp. 149-172. En: Schaller, Frank W. and Paul Sutton (editors).

Reclamation of Drastically Disturbed Lands. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin. 742 pp.

Sobek, Andrew, Lloyd R. Hossner, Darwin L. Sorenson, Patrick J. Sullivan y Dennis F. Fransway. 1987.

Acid-base potential and sulfur forms. pp. 233-258. En: Williams, R. Dean and Gerald E. Schuman. (Editors). Reclaiming Mine Soils and Overburden in the Western United States: Analytical parameters and procedures. Soil Conservation Society of America. Ankeny, Iowa. 336 pp.

Stark, John M. y Edward F. Redente. 1985.

Soil-plant diversity relationships on a disturbed site in Colorado. Soil Sci. Soc. Amer. J. 49:1028-1034.

Stark, John M. y E. F. Redente. 1986.

Trace element and salt movement in retorted oil shale disposal sites. J. Environ. Qual. 15:282-288.

Stark, John M. y E. F. Redente. 1987.

Production potential of stockpiled topsoil, Soil Sci. 144:72-76.

Stark, John M. y Edward F. Redente. 1990.

Plant uptake and cycling of trace elements on retorted oil shale disposal piles. J. Envir. Qual. 19:495-501.

State of Wyoming. 1986.

Guideline No. 2--Vegetation. Wyoming Department of Environmental Quality, Land Quality Division, Cheyenne, Wyoming. 47 pp.

State of Wyoming. 1989.

Guideline No. 1--Topsoil and Overburden. Wyoming Department of Environmental Quality, Land Quality Division, Cheyenne, Wyoming. 33 pp.

Tate, Robert L. y Donald A. Klein. (Editors). 1985.

Soil Reclamation Process: Microbiological analyses and applications. Marcel Dekker, Inc. New York, New York. 349 pp.

Thames, John L. (editor). 1977.

Reclamation and Use of Disturbed and in the Southwest. The University of Arizona Press, Tucson, Arizona. 362 pp.

Tinus, Richard W. y Stephen E. McDonald. 1979.

How to Grow Tree Seedlings in Containers in Greenhouses. General Technical Report RM-60. Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. U.S. Forest Service, U.S. Department of Agriculture. Fort Collins, Colorado. 256 pp.

Tisdale, Samuel L. y Wener L. Nelson. 1975.

Soil Fertility and Fertilizers. Macmillan Publishing Co. New York, New York. 694 pp.

Thornburg, Ashley A. 1982.

Plant Materials for Use on Surface- Mined Lands in Arid and Semiarid Regions. U.S. Department of Agriculture. Soil Conservation Service. SCS-TP-157. EPA-600/7-79-134. U.S. Government Printing Office, Washington, D. C. 88 pp.

Uehara, G. y J. Keng. 1975.

Management implications of soil mineralogy in Latin America. En: E. Bornemisza and A. Alvarado (Editors). Soil Management in Tropical America. North Carolina State University, Raleigh, NC. (In Spanish).

U. S. Department of Agriculture. 1969.

Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. Agriculture Handbook No. 60. U. S. Government Printing Office, Washington, D.C. 160 pp.

U. S. Department of Agriculture. 1979.

User Guide to Soils. General Technical Report INT-68. Intermountain Forest and Range Experiment Station. U. S. Forest Service. Ogden, Utah. 80 pp.

U. S. Department of Agriculture. 1979.

User Guide to Vegetation. General Technical Report INT-64. Intermountain Forest and Range Experiment Station. U. S. Forest Service. Ogden, Utah. 85 pp.

Vallentine, John F. 1989.

Range Development and Improvements. 3rd Edition. Academic Press, Inc. New York, New York. 524 pp.

Verma, T. R. y J. L. Thames. 1978.

Grading and shaping for erosion control and vegetative establishment in dry regions. pp. 399-409. En: Schaller, Frank W. and Paul Sutton (editors). Reclamation of Drastically Disturbed Lands. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin. 742 pp.

Villachica, H. 1986.

Agriculture in the Peruvian Amazon Region. En: J. Mejia (Editor). The Great Geography of Peru: Man and Nature. Vol. 5 pp. 51-95. Monfer-Mejia Baca ed. Barcelona. (En español).

Villachica, H. y H. Buendia. 1976.

Response of corn to six lining materials applied to an Ultisol from Pucallpa. Anales Cientificos (Peru) 14:117-132. (En español).

Villachica, H. y O. Cabrejos. 1974.

Effect of lime, nitrogen, and manganese on yield and nutrient concentrations in corn. Turrialba 24:319-326. (En español).

Villachica, H., A. Julca y G. Alvan. 1993.

Evaluation of fast growing forest trees to use as fruit containers. Technical Report No. 24 INIA. Programa de Investigacion en Cultivos Tropicales. Lima, Peru. (En español).

Villachica, H., J. E. Silva, J. R. Peres y C. M. da Rocha. 1990.

Sustainable agricultural system in the humid tropics of South America. pp. 391-437. En: C. Edwards et al. (Editors). Sustainable Agricultural Systems. Soil and Water Conservation Society.

Walsh, Leo M. y James D. Beaton. (Editors). 1973.

Soil Testing and Plant Analysis. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin. 491 pp.

Wight, Robert. (Editor). 1978.

The Reclamation of Disturbed Arid Lands. University of New Mexico Press, Albuquerque, New

Mexico. 196 pp.

Ziemkiewicz, P. F., S. K. Takyi y H. Regier. (editors). 1980.

Proceedings: Workshop on Reconstruction of Forest Soils in Reclamation. Alberta Land Conservation Council, Report No. RRTAC 80-4. Alberta, Canada. 160 pp.

Zuck, R. H. y L. F. Brown. (Editors). 1976.

Proceedings: High Altitude Revegetation Workshop No. 2. Environmental Resources Center. Information Series No. 21. Colorado State University, Fort Collins, Colorado. 128 pp.