

**INVESTIGACIÓN Y ORDENACIÓN MINERO-AMBIENTAL DE LOS
RECURSOS DE ROCA ORNAMENTAL EN LA REGIÓN DE MURCIA**



**CRITERIOS Y MODELOS DE RESTAURACIÓN DE LOS TERRENOS
AFECTADOS POR LAS EXPLOTACIONES, ACTUALES Y FUTURAS,
DE ROCA ORNAMENTAL**

**Investigación y Ordenación Minero-Ambiental
de los recursos de roca ornamental
de la Región de Murcia**

Documento 6

**CRITERIOS Y MODELOS DE RESTAURACIÓN
DE LOS TERRENOS AFECTADOS POR LAS
EXPLOTACIONES, ACTUALES Y FUTURAS,
DE ROCA ORNAMENTAL**

Junio de 2005

El presente documento forma parte de los trabajos contemplados en el Convenio entre la Consejería de Ciencia, Tecnología, Industria y Comercio (actualmente Consejería de Industria y Medio Ambiente), el Instituto de Fomento de la Región de Murcia, el Instituto Geológico y Minero de España, y la Universidad Politécnica de Cartagena, en materia de "INVESTIGACIÓN Y ORDENACIÓN MINERO-AMBIENTAL DE LOS RECURSOS DE ROCA ORNAMENTAL EN LA REGIÓN DE MURCIA",

El presente documento forma parte de los trabajos realizados por el IGME, a través del Área de Geoambiente, habiendo participado en dichos trabajos los siguientes titulados superiores:

- D. BRUNO MARTÍNEZ PLÉDEL
Ingeniero de Minas
Director del proyecto por el IGME
- D. JULIO CÉSAR ARRANZ GONZÁLEZ
Dr. Ingeniero Agrónomo
- D^a. ESTHER ALBERRUCHE DEL CAMPO
Lda. en Geografía
- D^a. CAROLINA TORRES VIVAS
Lda. en Ciencias Medioambientales
- D. ALFONSO GUTIÉRREZ GÓMEZ
Ingeniero de Minas

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| 1.- INTRODUCCIÓN | 1 |
| 2.- ORIENTACIONES PARA EL USO FUTURO DE LOS TERRENOS AFECTADOS POR LA EXPLOTACIÓN MINERA | 3 |
| 3.- LIMITACIONES DERIVADAS DEL CLIMA EN LA REGIÓN DE MURCIA | 9 |
| 4.- PROBLEMÁTICA QUE PRESENTAN LAS ÁREAS ALTERADAS | 12 |
| 5.- POSIBILIDADES DE ACTUACIÓN PARA LA INTEGRACIÓN PAISAJÍSTICA EN LAS FUTURAS SUPERFICIES FINALES DE EXPLOTACIÓN | 17 |
| 5.1.- EMPLEO DE EXPLOSIVOS EN LABORES PREVIAS A LA REVEGETACIÓN | 17 |
| 5.2.- MANEJO Y TRATAMIENTO DEL SUELO | 20 |
| 5.3.- ENMIENDAS Y MEJORAS EDÁFICAS | 25 |
| 5.4.- APLICACIÓN DE MULCH O ACOLCHADO | 31 |
| 6.- REVEGETACIÓN | 34 |
| 6.1.- CONSIDERACIONES PREVIAS | 34 |
| 6.2.- PRESELECCIÓN DE ESPECIES DE INTERÉS | 36 |
| 6.3.- MATERIAL VEGETAL | 41 |
| 6.4.- TRATAMIENTOS DE REVEGETACIÓN | 42 |
| 6.5.- RIEGOS | 46 |
| 6.6.- ALGUNOS MODELOS PROPUESTOS PARA LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA Y PAISAJÍSTICA | 46 |
| BIBLIOGRAFÍA | 55 |

1. INTRODUCCIÓN

Según la *National Academy of Sciences* de los Estados Unidos (NAS, 1974), la realización de trabajos encaminados a devolver los terrenos alterados a su estado original, lo que normalmente es reconocido como imposible, se llama **restauración** (ing. *restoration*). Si el resultado final es tal que el lugar es habitable por organismos vivos originalmente presentes u otros que se les aproximan hablamos de **reformación**, en inglés *reclamation*. Por último, se dice **rehabilitación** (ing. *rehabilitation*) si los terrenos adquieren una forma y productividad de acuerdo a un plan previo y son ecológicamente estables, de manera que no contribuyan sustancialmente al deterioro ambiental, y se integran en el paisaje circundante. De algún modo, este último término es reducido a veces a la introducción de una mejora de carácter estético.

En España se suele emplear indistintamente restauración y rehabilitación con el sentido que se asigna a los conceptos *reclamation* y *rehabilitation*. Las propias leyes españolas (R. D. 2994/82 y R. D. 1116/84 sobre restauración del espacio natural afectado por explotaciones mineras a cielo abierto) hacen un uso del término restauración que no puede considerarse estricto. Desde un punto de vista práctico, esta equiparación de términos conceptualmente distintos no es grave, y rehabilitación y restauración –los términos más comúnmente empleados en España– pueden ser equivalentes. En este caso, se pueden definir como el conjunto de labores que se articulan para modificar el estado de alteración de un terreno, teniendo claro el uso que se le asignará a éste, independientemente de si era el original antes de que se produjera la actividad alteradora, o del nivel alcanzado en la sucesión ecológica (Arranz, 2002).

En algunos tipos de minería, en los que es posible la transferencia de estériles y la recuperación de la topografía original, puede pensarse en una restauración casi en sentido estricto, siempre y cuando las condiciones de suelo y vegetación se reconstruyan. Sin embargo, en el tipo de explotaciones mineras que nos ocupa esto **no es posible** y debe asumirse. Se tratará, por tanto, de buscar una integración paisajística y una restauración del sistema suelo-vegetación, entendida como la consecución de un estado de equilibrio en el que no tengan lugar nuevos procesos degradativos (Arranz, 2002). En lo que se refiere a los frentes de cantera, la búsqueda de soluciones para la integración en el paisaje ha de sumar y combinar actuaciones parciales, entre las que se pueden incluir: la naturalización de las caras

de los bancos, la modificación de las formas residuales por rotura, la realización de movimientos de tierra orientados a definir el control de vistas, la realización de rellenos parciales con estériles procedentes de la propia explotación u otras vecinas, la gestión de los materiales edáficos que pudieran estar disponibles, etc. De todas estas prácticas se hablará más adelante, intentando en lo posible que las recomendaciones que se aporten se ajusten al máximo a la casuística de las explotaciones de roca ornamental de la Región de Murcia.

2. ORIENTACIONES PARA EL USO FUTURO DE LOS TERRENOS AFECTADOS POR LA EXPLOTACIÓN MINERA

En vista de la importancia que adquiere el factor topografía o forma del terreno, puede ser útil, aunque sea someramente, efectuar un análisis individualizado de los diferentes usos posibles, partiendo de la morfología final de las zonas explotadas. Como ya se ha mencionado, por el tipo de explotaciones mineras que nos ocupa, se sabe que nunca podrán realizarse rellenos masivos con materiales estériles, ni efectuar remodelados de gran envergadura sobre la geometría final de los frentes. Por ello, básicamente, los terrenos afectados por la explotación ofrecerán una superficie inferior sensiblemente llana limitada por frentes abiertos, tallados en roca, banqueados y algunos de gran altura, situados en las proximidades de los límites fijados. La integración ecológica y paisajística pasa por una intervención lo más temprana posible sobre las superficies finales, aunque, necesariamente, los diferentes grados de dificultad y riesgos de degradación que ofrecen las distintas plazas y taludes de frentes finales en cada explotación obligarán a establecer prioridades a pie de obra, en cuanto a la urgencia, tipo e intensidad de las medidas a tomar.

Sabido esto, es posible de todos modos analizar la situación desde una visión diferente, la cual evalúa las posibilidades que ofrecen los huecos finales de explotación basándose en los criterios de Coppin & Bradshaw (1982), reflejados con alguna modificación en la **tabla 2.1**.

Conviene hacer una serie de comentarios sobre la anterior tabla. En cuanto a los huecos, las canteras visitadas en la Región de Murcia generan huecos que pueden considerarse medianamente profundos o profundos, atendiendo sobre todo al desnivel absoluto generado entre plazas de cantera y coronación de los frentes. Por otro lado, en general han de considerarse secos en la mayoría de la superficie, reservándose el apelativo húmedo a explotaciones que afectan un nivel freático continuo que aflora dejando a la vista una lámina de agua de gran superficie en relación a la total. De todos modos, es posible la existencia de zonas deprimidas en las que se almacenará agua procedente de la lluvia o de surgencias.

Tabla 2.1. Asignación teórica de usos posibles sobre terrenos alterados por canteras en función de las características de los huecos creados (Coppin & Bradshaw, 1982). La clave utilizada en el Cuadro es una cruz (X) cuando se considera que el uso es sencillamente posible y dos cruces (XX) cuando para el uso considerado existen, en principio, grandes posibilidades.

| USOS POSIBLES | HUECOS | | | |
|--------------------------------|----------|------|-------------|------|
| | PROFUNDO | | SUPERFICIAL | |
| | HÚMEDO | SECO | HÚMEDO | SECO |
| -Agrícola y ganadero | | X | | X |
| -Forestal | | X | | XX |
| -Piscícola | X | | XX | |
| -Recreo intensivo, deportes | X | X | XX | XX |
| -Almacenamiento de agua | X | | X | |
| -Recreo extensivo | X | XX | XX | XX |
| -Conservación de la naturaleza | | XX | X | X |
| -Vertedero de residuos | | X | | X |

Teniendo en cuenta estas puntualizaciones se puede ya, a partir de las características más generales, hacer una primera evaluación de los usos que, según lo reflejado en la tabla, pueden ser recomendables para los terrenos.

- **Uso agrícola**

Existen diversos valores máximos del valor de la pendiente que son considerados límites para el uso agrícola según los diferentes autores.

Cuando se repone la tierra vegetal y la pedregosidad es baja o nula superficialmente puede llegar a admitirse este uso sobre superficies con 7° de pendiente máxima. Para suelos de alta pedregosidad se establecen criterios más exigentes, fijando el límite de pendiente según el valor más comúnmente admitido de 5°. Así pues, el nivel de exigencia dependerá de las características de los materiales edáficos que puedan ser empleados en labores de recubrimiento de superficies llanas, en cuanto a su pedregosidad.

La explotación de las rocas ornamentales, supone una enorme transformación de superficies de topografía abrupta en áreas sensiblemente llanas. La existencia actual y futura de éstas podría permitir el uso agrícola siempre y cuando se garantizara un mínimo de calidad de los suelos recuperados. La oportunidad de establecer aprovechamientos

agrícolas existe en este caso, pero queda condicionada, con seguridad, a la realización de grandes inversiones, especialmente para la implantación de riego.

- **Pastizales**

La creación de pastizales estará limitada también a las zonas llanas o casi llanas de suficiente superficie, puesto que las pendientes parciales o totales de los frentes finales de explotación serán siempre excesivas (aceptando un límite máximo de 15° como límite adecuado para este uso). El establecimiento de pastizales sería posible en amplias superficies de las zonas afectadas, con adecuados aportes de tierra y mejoras edáficas. La conveniencia de tales aprovechamientos está menos condicionada que el establecimiento de cultivos. No debe descartarse, además, la implantación temporal de formaciones de tipo pastizal con objeto de protección y mejora de las propiedades de los suelos, como más adelante se comentará.

- **Uso forestal**

Normalmente suele admitirse un máximo de pendiente para establecer un aprovechamiento forestal de 35°. Las superficies de bancos y bermas de pequeño tamaño pueden ser descartadas, aunque, como en el caso anterior, no ha de descartarse en grandes bermas y plazas de cantera. No obstante, aunque las exigencias en calidad del substrato son menores para el establecimiento de explotaciones forestales que para explotaciones agrícolas, la rentabilidad de las mismas dependerá en buena medida de las mejoras edáficas introducidas, dadas las pobres condiciones en las que quedarán las superficies finales de explotación de la roca. No obstante, la conveniencia del aprovechamiento forestal depende mucho de la especie elegida.

A pesar de la presencia ocasional y al azar de pinos y otras especies sobre superficies de bermas y plazas de cantera, o al pie de antiguos frentes de cantera (ver **fotografías 1.1 y 1.2**), aprovechando normalmente grietas y acumulaciones de material fragmentado, es previsible que existan impedimentos importantes en esas superficies en relación con la explotación forestal, derivada de las dificultades mecánicas para la instauración masiva de árboles y el espacio mínimo que la maquinaria de explotación forestal puede necesitar para garantizar la seguridad de los operarios.



Fotografías 2.1. y 2.2. Vistas de colonización natural de pinos y matorrales diversos al pie de frentes de una antigua explotación cercana a Los Almadenes (octubre de 2004).

- **Conservación de la naturaleza. Recuperación de vegetación natural.**

Tanto por las generalizadas limitaciones del sustrato en todas las superficies finales, la práctica imposibilidad de introducir intensas mejoras edáficas dada la magnitud de las superficies afectadas, así como las particulares condiciones topográficas de los frentes, este será el objetivo que, con carácter generalizado, puede ser más recomendable en todos los tipos de superficies a recuperar. La vegetación natural, por su variedad en requerimientos ecológicos, ofrece mayores posibilidades de superar los impedimentos impuestos por un medio edáfico desfavorable, al que se suma un clima extraordinariamente seco en la mayoría de las zonas. Se ha señalado además que la flora autóctona ofrece innumerables soluciones a la hora de restaurar áreas alteradas, recurriendo a unas plantas u otras según el estado de degradación y el estado de la vegetación del entorno cercano a las explotaciones.

La reintroducción de la vegetación natural, o la de carácter forestal que por motivos de conservación de suelos y rehabilitación paisajística pueda estar presente en las futuras superficies a recuperar, puede además entenderse como una compensación por la que pueda haberse visto afectada por las explotaciones, siempre y cuando las actuaciones que sea necesario llevar a cabo para alcanzar este objetivo se realicen con corrección y medios

suficientes. Otras consideraciones de orden social también pueden aconsejar la recuperación de la vegetación natural.

La introducción de fauna sobre los terrenos alterados debe ir íntimamente ligada a la regeneración de la cubierta vegetal y será sin duda un magnífico indicador de la recuperación ecológica de los mismos. Puede favorecerse directamente dicha introducción, si bien, se considera que la generación de cierta variedad en el tipo de especies vegetales a promover, siguiendo como modelo la vegetación propia del lugar y del entorno, podría ser suficiente para alcanzar este objetivo.

- **Zonas de recreo**

Los usos recreativos pueden diferenciarse en dos tipos que básicamente guardan relación con la superficie afectada y la proximidad a núcleos urbanos. El planteamiento de un tipo de uso recreativo intensivo o deportivo ha de basarse en serios estudios de viabilidad, oportunidad, ubicación y población potencialmente beneficiada. Debería por tanto integrarse en planes más amplios de promoción o desarrollo de equipamientos de esta clase.

El uso recreativo extensivo o educacional puede ser ubicado en posiciones más alejadas de núcleos de población. En este tipo de planteamiento cabe también cierta variedad de posibilidades que van desde la adecuación de zonas de descanso o de observación, zonas de acampada o albergue, u otras.

También en estos casos sería recomendable la elaboración del programa o proyecto de restauración dentro de un marco más amplio, como pueden ser los planes urbanísticos. En este caso, es posible que sean necesarios puntualmente tratamientos paisajísticos más ambiciosos que la simple reintroducción de un manto vegetal.

En ambos casos ha de estar perfectamente garantizada la estabilidad y minimizada la posibilidad de que se produzcan accidentes. Por esta razón, parecería más lógico plantear este uso futuro en las canteras con menor relación entre superficie de plaza y desnivel máximo de los frentes, efectuando, eso sí, importantes labores de saneo y remodelación de los frentes en determinados puntos.

- **Vertederos de residuos**

Dadas las características de los terrenos afectados (posible presencia de fracturas o karstificación), no existen garantías suficientes de protección de las aguas subterráneas como para plantear la posibilidad generalizada de utilización de los terrenos como depósitos de residuos, ni siquiera de inertes, además de que normalmente se encuentran alejadas de los centros productores de residuos.

Por otro lado, la protección del suelo, de las aguas subterráneas y de las aguas de superficie, en aplicación de la Directiva 1999/31/CE del Consejo, de 26 de abril de 1999, relativa al vertido de residuos (DOCE núm. L 182, de 16 de julio de 1999), exige una combinación de barrera geológica y de revestimiento inferior durante la fase activa o de explotación, y la combinación de una barrera geológica y un revestimiento superior durante la fase pasiva o posterior a la clausura, además de otra serie de requerimientos que quedan especificados en el Real Decreto 1481/01, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero.

Se considera que existe barrera geológica cuando las condiciones geológicas e hidrogeológicas subyacentes y en las inmediaciones de un vertedero tienen una capacidad de atenuación tal como la de una capa mineral que cumpla unos requisitos de permeabilidad y espesor cuyo efecto sea por lo menos equivalente a un coeficiente K de $1,0 \times 10^{-7}$ m/s con un espesor mayor o igual a 1 m, en el caso de tratarse **de residuos inertes**. Cuando la barrera geológica no cumpla de forma natural las condiciones antes mencionadas, podrá completarse de forma artificial y reforzarse por otros medios que proporcionen una protección equivalente. Además de las barreras geológicas anteriormente descritas deberá añadirse un sistema de impermeabilización y de recogida de lixiviados.

Por esta razón, los costes de impermeabilización que llevarían asociados eliminan en gran medida cualquier oportunidad de adecuar los terrenos afectados para la recepción de residuos, salvo que se haga un análisis de esta posibilidad con una perspectiva distinta y desde un enfoque más próximo a la planificación regional que a la simple recuperación de espacios degradados, existiendo entonces intereses más amplios que justificarían mayores inversiones.

3. LIMITACIONES DERIVADAS DEL CLIMA EN LA REGIÓN DE MURCIA

Como ya se ha comentado, a las dificultades para la rehabilitación que son inherentes a las características físicas de los frentes y escombreras de las explotaciones de mármol se suma una climatología desfavorable. El clima de las diferentes zonas de estudio –el cual fue analizado en el correspondiente capítulo del estudio del medio físico e inventario ambiental– posee unas características que, en resumen, se describen a continuación.

Zona 1 (Cehegín)

La temperatura media anual oscila entre 14 y 16'5° C. El periodo cálido dura de dos a tres meses, y el periodo frío se prolonga durante cuatro a seis meses. El clima puede calificarse de continental en toda la zona. La precipitación media anual varía entre 325 y 410 mm, mientras que la evapotranspiración media anual (ETP) se mueve entre 775 y 860 mm. La falta de agua anual en la zona oscila entre 400 y 500 mm. Según los criterios de Emberger el clima es Mediterráneo Semiárido con invierno templado a fresco. El Índice de Aridez de la UNESCO alcanza valores de 0'3 a 0'35, con un número de meses secos variable entre cinco y siete. Predomina el piso Mesomediterráneo inferior de ombroclima semiárido a seco.

Zona 2 (Valdeinfierno)

La temperatura media anual se mueve entre 13'5 y 16° C. El periodo cálido puede durar de cero a cuatro meses, en función de la posición. El periodo frío alcanza o supera los 6 meses. El clima en esta zona puede calificarse de continental. La precipitación media anual fluctúa entre 305 y 380 mm, mientras que la ETP anual alcanza valores entre 680 y 840 mm. La falta de agua varía entre 300 y 450 mm. Según los criterios de la UNESCO, el Índice de Aridez vale entre 0'3 y 0'4, y el número de meses secos varía entre seis y nueve. Es zona de clima Mediterráneo Semiárido con invierno fresco, según Emberger. Domina el piso Mesomediterráneo medio de ombroclima semiárido a seco.

Zona 3 (Barinas)

La temperatura media anual oscila alrededor de los 16° C. El periodo cálido dura

aproximadamente dos meses, y el periodo frío se prolonga durante unos cinco meses. El clima puede calificarse de continental en toda la zona. La precipitación media anual varía entre 290 y 295 mm, mientras que la evapotranspiración media anual (ETP) se mueve entre 840 y 845 mm. La falta de agua anual en la zona oscila entre 550 y 560 mm. Según los criterios de Emberger el clima es Mediterráneo Semiárido con invierno fresco. El Índice de Aridez de la UNESCO alcanza un valor que ronda 0'25, con un número de meses secos de hasta nueve. Predomina el piso Mesomediterráneo medio de ombroclima semiárido.

Zona 4 (Norte)

La temperatura media anual se mueve entre 15 y 16° C. El periodo cálido puede durar alrededor de dos meses. El periodo frío alcanza los cinco o seis meses. El clima en esta zona puede calificarse de continental. La precipitación media anual fluctúa entre 295 y 325 mm, mientras que la ETP anual alcanza valores entre 805 y 855 mm. La falta de agua varía entre 475 y 550 mm. Según los criterios de la UNESCO, el Índice de Aridez vale entre 0'25 y 0'29, y el número de meses secos varía entre siete y nueve. Es zona de clima Mediterráneo Semiárido con invierno fresco, según Emberger. Están presentes los horizontes Mesomediterráneo inferior y medio, con ombroclima semiárido.

Zona 5 (Noroeste)

La temperatura media anual oscila entre 12 y 16'5° C. El periodo cálido dura de cero a dos meses, y el periodo frío se prolonga durante seis a siete meses. El clima puede calificarse de continental en toda la zona. La precipitación media anual varía entre 370 y 660 mm, mientras que la evapotranspiración media anual (ETP) se mueve entre 685 y 815 mm. La falta de agua anual en la zona oscila entre 290 y 525 mm. Según los criterios de Emberger el clima es Mediterráneo Templado con invierno fresco a frío. El Índice de Aridez de la UNESCO alcanza valores de 0'45 a 0'70, con un número de meses secos variable entre uno y dos. Predomina el piso Mesomediterráneo superior y medio, de ombroclima seco a subhúmedo.

Puede verse que, en términos generales, el principal inconveniente que ofrece el clima de las zonas de estudio es el desequilibrio en el balance hídrico, con excepción de la Zona 5, en la que los problemas derivados de falta de agua se reducen aunque se presentan

problemas derivados del periodo frío prolongado.

El elevado grado de aridez de todas las zonas, induce ya a pensar, para su empleo en labores de revegetación, en especies muy frugales y xerófilas, de temperamento robusto, pues el desarrollo en los primeros años se realizará en condiciones de fuerte insolación y baja disponibilidad hídrica. Tal condición se suma a las consideraciones hechas en puntos anteriores y da mayor peso a las recomendaciones que apuntaban al empleo de especies vegetales autóctonas, como elementos a emplear en labores de restauración ecológica y paisajística.

Igualmente, las limitaciones impuestas por el clima obligan a contemplar aspectos tales como la reconstrucción de suelos atendiendo a la optimización del almacenamiento de agua, la aplicación de labores y métodos de implantación que mejoren la captura de agua, y la necesidad de aplicar riegos de apoyo durante las primeras fases de implantación vegetal. Todos estos aspectos serán tratados más adelante de forma general, si bien, cuando se planteen actuaciones de restauración reales, habrán de adaptarse, comprobarse y aplicarse necesariamente con criterios formados a pie de obra.

4. PROBLEMÁTICA QUE PRESENTAN LAS ÁREAS ALTERADAS.

La integración ecológica y paisajística de la áreas alteradas por la explotación de recursos minerales pasa una intervención lo más temprana posible sobre las superficies finales, aunque los diferentes grados de dificultad y riesgos de degradación que ofrecen las distintas plazas y taludes de frentes finales en cada explotación obligarán a establecer prioridades en cuanto a la urgencia e intensidad de las medidas a tomar. Como ya se ha comentado, es obligado admitir que, si bien en otros tipos de explotaciones, en las que existe posibilidad de realizar rellenos con estériles, puede pensarse en una rehabilitación casi completa, siempre que se reconstruyan unas mínimas condiciones edáficas, en el tipo de explotaciones que nos ocupan esto no es posible y debe asumirse como una condición impuesta.

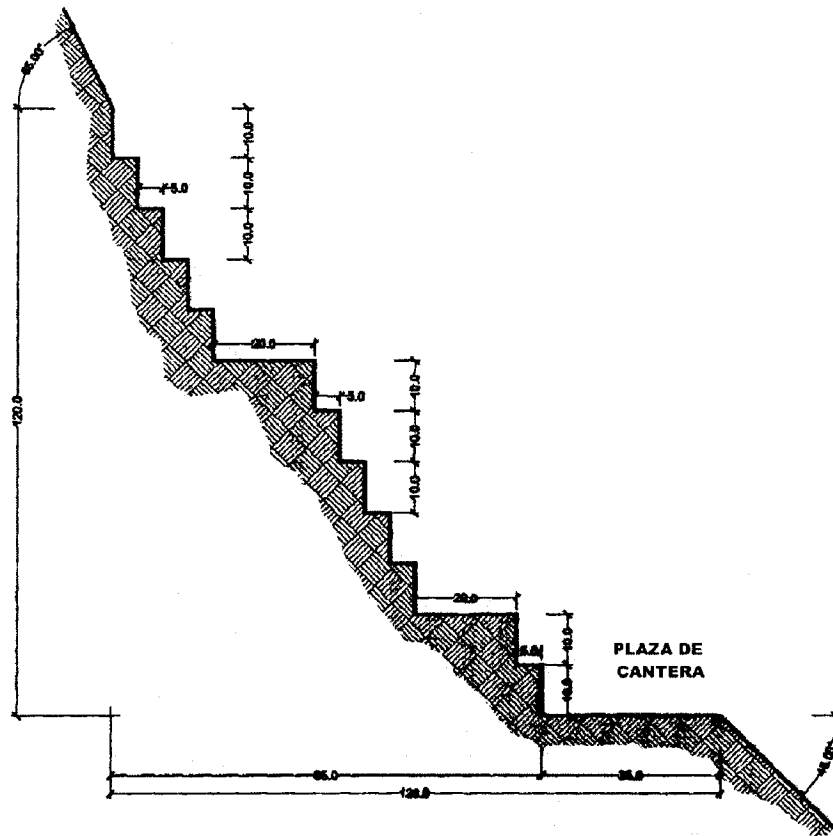
El establecimiento de prioridades de actuación y el diseño de las medidas correctoras debe considerar, como se detalla más adelante, aspectos tales como las condiciones de topografía y accesibilidad, los impedimentos ofrecidos por la superficie del terreno y la incidencia visual y el impacto sobre el paisaje. Este último aspecto es de vital importancia.

Actualmente, la geometría de los frentes de cantera en las explotaciones actuales imposibilita casi absolutamente la aplicación de medidas correctoras sobre los mismos. No ocurre así, sin embargo, con las plazas de cantera.

Los frentes son generalmente de gran altura, no presentando bermas en la mayoría de los casos. Cuando existen bermas, son en general de anchura insuficiente para permitir el acceso a los mismos. En cualquier caso, las alturas de los bancos existentes son excesivas desde el punto de vista de la posibilidad de aplicar medidas correctoras, incluso cuando existen bermas accesibles.

Si se siguen las recomendaciones de diseño geométrico que se han propuesto en el estudio de diseño de modelos de explotación (ver **figura 4.1.**), estos se ajustarán en lo posible a un modelo que consiste en una alternancia de bancos de 10 m de altura y bermas de 5 m como mínimo, con intercalación de plataformas con un fondo de veinte metros cada cinco bancos. Si se mantienen conexiones de acceso entre bancos, esta geometría puede permitir la adopción de medidas correctoras en grado muy superior al que proporcionan

actualmente la generalidad de los frentes de explotación, sin perjuicio de que continúen existiendo importantes dificultades derivadas del material expuesto en la superficie de los mismos.



GEOMETRÍA MÁS DESFAVORABLE DENTRO DE LAS ADMISIBLES

Figura 4.1. Geometría propuesta como más desfavorable dentro de las consideradas admisibles para frentes de cantera en la Región de Murcia

Estas alturas de banco ofrecen muchas más posibilidades de rehabilitación paisajística trabajando sobre las bermas y considerando la posibilidad de ciertas medidas que pueden servir para rebajar el contraste cromático generado por las caras de banco –de lo que más adelante se hablará–. Es cierto que un banqueado tan regular produce un efecto de artificialidad importante, pero es preferible partir de esta situación por las razones siguientes (Arranz, 1997):

- Cuando las dimensiones de los bancos sean lo suficientemente pequeñas en relación con el tamaño de los taludes generales, el efecto de gradas artificiales se diluye en visión lejana.

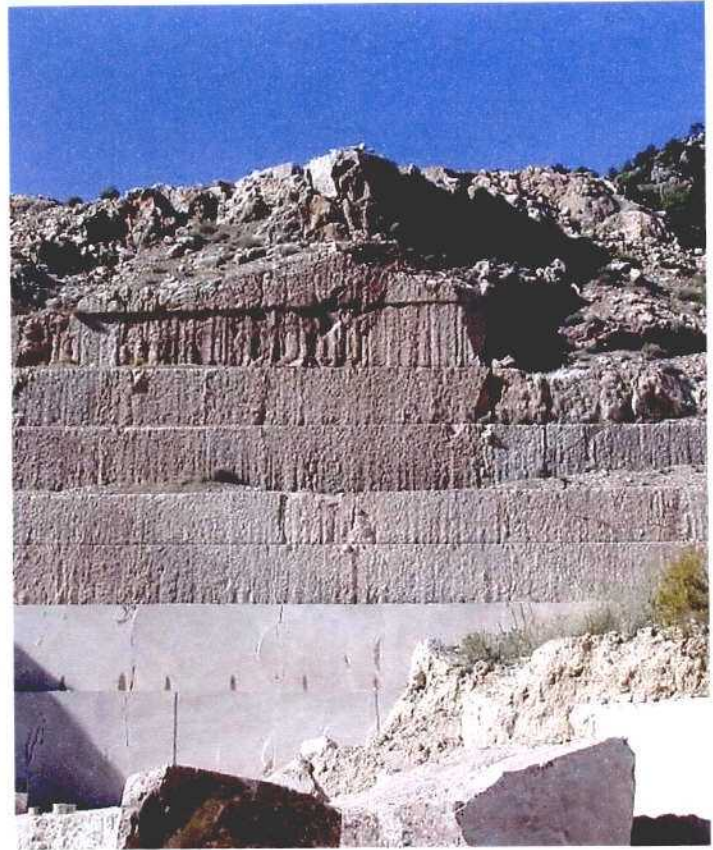
- Se incrementa la accesibilidad a todos o muchos de los niveles de frentes.
- Se produce una ruptura de las longitudes de pendiente disminuyendo la velocidad del agua de escorrentía.

Volviendo a insistir, debe asumirse que las superficies ocupadas por los frentes de cantera habrán perdido prácticamente toda posibilidad de sostener usos del suelo productivos. Los tratamientos de rehabilitación habrán de buscar una integración paisajística y una restauración ecológica entendida como la consecución de un estado de equilibrio en el que no tengan lugar nuevos procesos degradativos o, por lo menos, no se produzcan de manera generalizada. Para ello, es absolutamente imprescindible la existencia de bancos.

Los materiales que quedan expuestos en frentes y plazas son los mismos que se explotan como roca ornamental. Estos materiales se alteran con gran dificultad, aunque muchas veces presentan grietas y bolsadas de tierra donde, en ocasiones, se produce una colonización. Sin embargo, se ha podido observar cómo el arranque con barrenos puede facilitar el proceso de integración de las caras de banco en numerosas explotaciones, al tiempo que puede favorecer una intemperización más rápida limitada a la parte más superficial de la roca, lo que puede ser aprovechado en el momento de rematar el arranque en una superficie de frente en la que está próxima la finalización de la extracción (ver **fotografías 4.1. y 4.2.**)

Las características de los materiales explotados, pero sobre todo la xericidad del clima dominante en todas las zonas, inciden en una bajísima tasa de envejecimiento natural de la roca. Sirva como ejemplo, aunque no se corresponda exactamente con la situación creada en las canteras de mármol que nos ocupan, la imagen presentada en la **fotografía 4.3**: en 1949 se realizaron las labores de saneado y excavación previas a la construcción del estribo izquierdo de la presa del Cenajo, sobre la cabecera del Segura, y todavía hoy se aprecia la diferencia importante de color cuando se compara con la roca intacta.

Otro aspecto a tener en cuenta es la orientación de los taludes en relación con la insolación recibida. Es difícil precisar en qué medida este aspecto puede influir pero, con toda seguridad, las caras de bancos con orientación de componente sur añaden a las demás dificultades una insolación elevada durante todo el año y, como consecuencia, una mayor aridez.



Fotografías 4.1. y 4.2. Contraste entre el aspecto final de las caras de talud de banco terminadas con barrenos (partes altas de los frentes) y con hilo (partes bajas), en dos canteras de la Sierra de Burete y de la Sierra de Cabras, respectivamente.



Fotografía 4.3. Coloración más clara de la zona saneada para la construcción del estribo izquierdo de la presa del Cenajo, en la cabecera del Río Segura.

En cuanto a las escombreras generadas por las explotaciones de mármol, la mayoría se componen de bloques, que pueden suponer más del 80% del total de material extraído. Estos residuos incluyen bloques regulares de calidad estética y/o mecánica inadecuada, bloques irregulares grandes, de formas o volúmenes inadecuados, y bloques demasiado pequeños para su procesado, además de los estériles del recubrimiento y rocas encajantes. Aparte, el proceso al que se someten las rocas ornamentales produce también vertederos que suelen incluir fragmentos de tablas rotas, recortes, terminaciones, costrones o conchas de telares y lodos de aserrado y pulido, concentrados por decantación o filtrado (Ordóñez, 1997). Sin embargo, lo normal en el entorno inmediato de las explotaciones actuales es la existencia de escombreras dominadas por bloques, en las que puede haber una proporción variable pero pequeña de materiales de recubrimiento. El sistema constructivo, con una sola excepción es el vertido libre, a veces realizado en pendientes fuertes, lo que provoca una afección superficial mucho mayor que la que sería necesaria para albergar el mismo volumen de escombros en una escombrera racionalmente construida. También ha podido observarse la construcción de “murallas” de bloques mediante el apilamiento de los mismos colocados uno sobre otro hasta alcanzar proporciones importantes en el área de Peña Zafra. El objeto de estas estructuras no parece ser otro que responder a la necesidad de apartar los bloques inútiles o, como mucho, delimitar áreas de vertido de estériles. Sin embargo, el hecho de que existan esta especie de recintos amurallados convierte en factible un modelo de construcción de escombreras por fases que más adelante será descrita.

5. POSIBILIDADES DE ACTUACIÓN PARA LA INTEGRACIÓN PAISAJÍSTICA EN LAS FUTURAS SUPERFICIES FINALES DE EXPLOTACIÓN.

Se parte de la idea de que, en el futuro, habrán de adoptarse modelos de construcción de frentes y escombreras acordes con los que se proponen en los modelos de explotación planteando, desde el principio, un modelo de explotación descendente que proporcione mayores posibilidades de planificación de cara a la rehabilitación final y permita que pueda ser anticipada en el tiempo. El tipo de medidas finales que pueden adoptarse para ser combinadas de la forma más conveniente en cada superficie a tratar incluye: naturalización con pequeñas voladuras, envejecimiento acelerado, tapado parcial con tierras, introducción de vegetación, etc.

5.1. EMPLEO DE EXPLOSIVOS EN LABORES PREVIAS A LA REVEGETACIÓN.

Como ya se comentó, una primera medida que puede facilitar o acelerar un proceso de naturalización de las caras de banco en frentes es el corte final mediante barrenos realizado de forma que no se vea afectada la estabilidad ni la accesibilidad. En una explotación descendente resultaría muy sencillo realizar y controlar el resultado. En el cuadro siguiente se detallan los costes por metro cuadrado que supondrían la extracción de los bloques de material mediante los dos métodos de extracción (corte con hilo diamantado y con precorte). En una frente final de 100 m, por cada rebaje de 10 metros, la diferencia entre el corte con hilo y el corte con precorte sería de 6.500 €, cantidad, entendemos que perfectamente asumible.

| Corte con hilo: | |
|--------------------------------------|------------------------------|
| - Hilo diamantado. | 2,00 €/m ² |
| - Energía (eléctrica o gas-oil) | 1,00 €/m ² |
| - Amortización Cortadora | 0,35 €/m ² |
| - Reparaciones y repuestos cortadora | 0,35 €/m ² |
| - Mano de obra | 7,30 €/m ² |
| TOTAL | 11,00 €/m² |

| Corte con precorte: (para voladuras de 1000 m = 333,3 m²) | |
|---|------------------------------|
| - Perforación a 3" con longitudes de 10 a 12 m y espaciado de 0,33 m, incluido: mano de obra, energía, reparaciones y amortización de perforadora | 15,00 €/m ² |
| - Explosivos: Cordón det. de 20 gr : 3 m pp detonador | 1,50 €/m ² |
| - Transporte explosivos: | 0,45 €/m ² |
| - Costo artillero y vigilante jurado | 0,55 €/m ² |
| TOTAL | 17,50 €/m² |

Después de realizado el último corte, y siempre que exista ya al pie del banco una superficie apta para iniciar sobre ella labores de integración –lo que es perfectamente factible con un desarrollo descendente de la explotación– puede realizarse opcionalmente un intento de naturalización de la cara del banco aplicando productos envejecedores (que dejan una película de óxido) (Casa Prosper, 2005), o realizar aportes de materiales tipo suelo y tierra vegetal.

El interés de conservar bancos accesibles hace que no sea aconsejable la ruptura generalizada de aristas y ángulos de los bancos finales, aunque es frecuente que esto sea recomendado como tratamiento para naturalizar el aspecto final en frentes de cantera de rocas competentes. Las labores de rehabilitación que se realicen habrán de hacerse prescindiendo forzosamente de dicho tratamiento. Cualquier posible colonización vegetal o cubrición de los mismos irá a remolque de la que se produzca sobre las bermas. Es de esperar que si en éstas se consigue un buen establecimiento de la vegetación se producirá un cierto camuflaje de las caras de banco que se sumará al envejecimiento artificial.

Únicamente puede ser aceptable la ruptura puntual mediante pequeñas voladuras aplicadas en las cabezas de banco en aquellos que limiten con plataformas, y nunca en aquellos intercalados en una secuencia de banco-berma en frentes. Consisten en la perforación de barrenos bastante espaciados entre sí, que una vez disparados provocan el arranque de la roca por delante de los mismos (ITGE, 1994). Si se hace con suficiente cuidado, los materiales disgregados quedarán depositados al pie de la cara del banco, sobre la berma inmediatamente inferior. Sobre la pila de roca fragmentada es posible aportar tierra o materiales finos para sembrar posteriormente con vistas a su estabilización (en la **Figura 5.1.** se esquematiza este procedimiento). De este modo, se puede conseguir un enclave más apto para la introducción de vegetación arbórea, a la vez que se reduce la superficie vista de roca sana en ese punto.

En ocasiones, se realizan voladuras puntuales con pequeñas cargas de explosivo para crear cráteres que admitan la plantación y aumentar la fracturación de las rocas, sin afectar a la estabilidad estructural de los taludes, con el fin de facilitar el desarrollo radicular de las plantas (ITGE, 1989). La técnica ha sido empleada con éxito para la implantación de plantaciones de frutales en Francia y el levante español y en restauración de canteras en Japón.

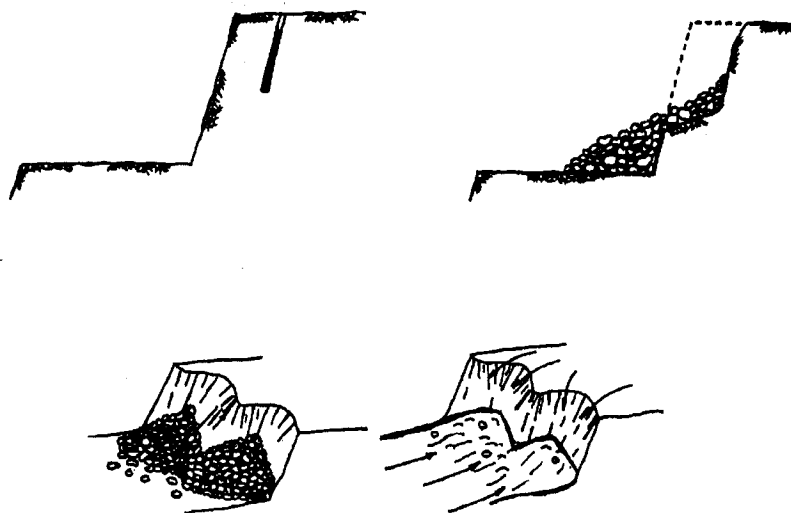


Figura 5.1. Descabezado puntual de bancos haciendo uso de pequeñas voladuras.

Por voladura en cráter se entiende aquella en la que se detona una carga esférica debajo de una superficie que se extiende en todas direcciones más allá del punto en el que el material circundante será afectado por la voladura. En función de la profundidad de la carga explosiva, el resultado puede ser un cráter en el que podemos distinguir tres zonas: el cráter aparente (visible), el cráter verdadero y la zona de rotura. A su vez, en esta última pueden diferenciarse las zonas de rotura completa y extrema. Dentro de la zona de rotura, el material es desplazado ligeramente hacia arriba y hacia el exterior, y la roca está más fisurada que en su estado natural. La superficie de separación entre la zona de rotura y el material no afectado es difícil de definir ya que en la mayoría de los casos el material de la zona de rotura no puede ser excavado. Si la carga explosiva esférica se sitúa a una profundidad óptima, la cual es función de la roca y del explosivo utilizado, después de la voladura se obtendrá un cráter óptimo, es decir: se obtiene la mejor fragmentación y se rompe el mayor volumen de roca por unidad de peso de explosivo. Desde el punto de vista de la planta, lo que se consigue es crear hoyos de plantación rellenos de material fragmentado y esponjado, así como un halo de fracturación que ayudará al desarrollo radicular y la intemperización de forma localizada.

Al estudiar las voladoras en cráter, se ha visto que existe una relación definida entre la energía del explosivo y el volumen de roca que es afectado por la voladura y esta relación, a su vez, es afectada significativamente por el punto de colocación de la carga. En la práctica, la mejor forma de averiguar el punto de colocación ideal, es llevar a cabo un

número de ensayos de voladura de tipo cráter, en las que mantenemos constantes la clase de roca, el tipo de explosivo y su peso de carga, variando únicamente la profundidad de colocación de la carga. La distancia crítica se obtiene por observación. Originalmente, se utilizaban cargas esféricas verdaderas. Con posterioridad se comprobó que si la relación entre el diámetro del barreno y la longitud de la carga no excede de 1:16, los resultados que se obtienen son prácticamente los mismos que con una carga esférica.

Si se pudiera conseguir un tipo de voladura en cráter, más o menos estandarizado, que permita su aplicación puntual o por pequeños agrupamientos, sobre las plataformas y plazas de cantera (nunca en bermas de frente, por el riesgo de rotura de los bancos), se facilitarían enormemente las labores de implantación y el crecimiento de la vegetación durante las primeras fases, realizando posteriores aportes de tierra para relleno y/o mezcla con el material fragmentado. En este sentido, podría ser de gran utilidad la experimentación en zonas ya explotadas, aunque no estén destinadas a la creación de frentes finales.

Si se plantea el empleo de pequeñas voladuras para la creación de cráteres o la rotura puntual de cabezas de banco, será conveniente disponer de una superficie importante de plataforma o plaza de cantera donde la explotación y el banqueado final hayan sido rematadas. De este modo, por razones de economía de escala, será posible abaratar los costes de la operación. Convendrá que tanto unas como otras se distribuyan sobre toda la superficie al azar, con la salvedad de respetar las áreas que pudieran estar más alteradas o fracturadas. La distribución al azar podría conseguirse, por ejemplo, siguiendo una trayectoria zigzagueante del carro perforador sobre la superficie de trabajo con paradas cada cinco metros. Conviene decir que estos criterios no se justifican sobre ninguna base de cálculo y son meramente orientativos. La experiencia que pudiera ser adquirida en zonas piloto destinadas a ensayar las posibilidades de estas operaciones ayudaría a definir claramente lo más conveniente y a abaratar costes.

5.2 MANEJO Y TRATAMIENTO DEL SUELO

Se asume de manera generalizada que el arranque, conservación y posterior utilización de las capas superficiales de suelo es una práctica que puede favorecer enormemente las labores de restauración que vayan a ser emprendidas. El arranque del suelo en las superficies sobre las

que se abre un frente o se amplía una explotación minera supone la destrucción del mismo, entendido como cuerpo natural que ocupa una posición concreta sobre la superficie terrestre, y que posee unas características morfológicas, estructurales, fisico-químicas y biológicas propias y ligadas a sus condiciones de desarrollo. Este daño es inevitable, pero puede verse compensado en parte con la utilización de dichos materiales edáficos como materia prima para la construcción de un nuevo suelo artificial que realice lo mejor posible las necesarias funciones físicas, químicas y biológicas (Arranz, 2004). Este planteamiento se engloba dentro de la filosofía que defiende la no desestimación de ninguna clase de material que pudiera ser movilizadado hasta que se tenga seguridad de que no va a tener ninguna utilidad. El conjunto de todas las operaciones comentadas, lo que puede denominarse **gestión o manejo del suelo**, debe ser considerado un importante capítulo del Proyecto de Restauración, en completa coordinación con las fases del Proyecto Minero, y diferenciado de los casi siempre necesarios **cuidados posteriores**. Ramsay (1986) considera que para realizar las labores de arranque, transporte, almacenamiento y reposición, es necesario controlar aspectos como: profundidad del suelo, distribución, horizonación, textura, estructura, densidad aparente, compactabilidad y límite plástico.

Todos los perfiles de las sierras descritos en el estudio del medio (Sierra de Burete, del Molar, de Mojantes, de Barinas, de la Pila, y otros situados entre Quipar y Burete) son poco evolucionados y han sido calificados como muy calizos o fuertemente calcáreos (tanto primer como 2º horizonte). En términos generales, se puede pensar que los suelos presentes en las áreas de explotación, o las posibles mezclas de estos con otros tipos de recubrimientos o residuos de cantera serán también de carácter calizo.

El arranque del suelo debe ser contemplado tanto en las áreas que vayan a ser explotadas para la obtención del mineral, como en las superficies destinadas a escombreras. La retirada de las capas superficiales de suelo donde se asentarán vertederos de escombros es aconsejable no sólo por la obtención de materiales edáficos, sino también por favorecer las condiciones del cimiento creando banquetas de asiento, especialmente en posiciones de ladera. En este caso es aconsejable escalonar la superficie donde se asentarán los estériles, interceptando, si es posible, la zona de transición a la roca.

Ahora bien, como ya hemos dicho, durante las diferentes fases hasta su reinstalación parecen inevitables las pérdidas de fertilidad, el empeoramiento de las propiedades físicas y la

disminución de la actividad biológica del suelo. Para minimizar estos efectos conviene realizar las tareas siguiendo una serie de normas que, evidentemente, deben basarse en un conocimiento más preciso de los suelos existentes en la zona, sus perfiles y las propiedades físicas y químicas de sus horizontes, pero que de modo general pueden dictarse como sigue:

- Será aconsejable la realización de estudios previos para reconocer los espesores de suelo en las zonas en las que vayan a ser retirados. Esta información permitirá evaluar volúmenes y planificar el arranque, mantenimiento y reinstalación.
- En general, no parece recomendable intentar separar los horizontes superficiales más ricos en materia orgánica de los profundos, puesto que la mayoría de los suelos presentes en las zonas son delgados y poco evolucionados, y las pendientes fuertes en ocasiones, por lo que no puede resultar operativo. La presencia de piedras incluidas en la matriz, o de fragmentos arrancados de los afloramientos rocosos durante la retirada del suelo, no ha de tener incidencia negativa grave, dado el futuro aprovechamiento del terreno y el efecto favorable de los elementos gruesos durante el tiempo que dure el almacenamiento.
- No se deben superar en los acopios alturas de 2 m para minimizar la destrucción de la estructura y el deterioro biológico. Este límite es elevado en relación con los que suelen ser recomendados en la bibliografía, y se justifica por la elevada pedregosidad y el balance hídrico negativo.
- Se deben realizar las labores de arranque en épocas secas. Las labores de extendido deberán hacerse un poco antes de las épocas favorables para la implantación de la vegetación.
- Se deben planificar las diferentes labores de modo que los acopios de tierra vegetal permanezcan como tales el mínimo de tiempo posible.

Desde el momento en el que sea posible iniciar labores de restauración sobre alguna superficie, será de la mayor importancia llevar un control del volumen del que se puede disponer. Este volumen puede determinar la estrategia de utilización de la tierra, por

ejemplo: si no se dispone de suficiente volumen para recubrir toda la superficie, puede interesar emplearla preferentemente en áreas sensibles por su alta visibilidad o por existir un especial interés en restablecer una vegetación densa y variada. El arranque del suelo debe hacerse cuando esté seco –este aspecto es fundamental–, y lo ideal es que se reinstale inmediatamente después. Cuando esto no es posible se ha de almacenar.

Para el acopio temporal de los materiales edáficos se suele recomendar el amontonamiento en forma de artesa con talud 1:1 sobre zonas llanas, reduciendo al mínimo el paso de maquinaria y, si es necesario, crear algún tipo de barrera perimetral sencilla (caballones, muretes) para evitar pérdidas por erosión. Se suele recomendar que los acopios sean conformados en forma de artesa –cuya superficie superior tenga ligera pendiente hacia los laterales– para impedir que se formen zonas de encharcamiento sobre los mismos, aunque esta posibilidad puede tener una importancia secundaria dado el clima mayoritariamente presente en las zonas de estudio.

En cuanto a la altura de acopio, se ha dicho que restringiéndola se minimiza el deterioro del suelo (aquí se ha fijado en dos metros de altura máxima). Sin embargo, no existen suficientes datos científicos para poder definir las dimensiones correctas que requieren todos los tipos de suelos posibles (RMC, 1987). Los acopios de tierra se deben establecer en zonas sensiblemente llanas y lo suficientemente extensas como para que los mismos no puedan suponer impedimento alguno para las operaciones de extracción y transporte. Si dichas superficies tienen algo de caída, convendrá crear un caballón perimetral con el material de asiento del acopio para frenar las posibles pérdidas por arrastre del agua de escorrentía.

Sobre los acopios es interesante implantar una cubierta herbácea de mantenimiento. Dicha cubierta debe proporcionar protección y enriquecimiento, para lo cual interesa que sea rústica y poco exigente, de gran biomasa, con presencia de leguminosas y de enraizamiento profundo.

Una posible combinación que cumple estos requisitos y cuya implantación es sencilla con prácticas agrícolas tradicionales es el cultivo mixto de veza y avena. Ambas especies son de gran resistencia a la sequía y poseen un profundo sistema radicular. Se compenetran de forma excelente por los tipos morfológicos complementarios de los sistemas radiculares y por proporcionar, la avena, un entutorado a las vezas.

Una mezcla de siembra para las superficies de acopios podría ser: 25 kg de *Vicia sativa*, 45 kg de *Vicia villosa* y 30 kg de *Avena sativa* o *Avena bizantina* por hectárea. Dicha mezcla puede ser sembrada en otoño, en cuanto se tenga suficiente superficie de acopio para sembrar. Habrán de realizarse previamente labores de descompactado y preparación de la cama de siembra con tractor agrícola de pequeño tamaño, y siembra mecánica o manual. Será conveniente sembrar también manualmente todas las caras de los taludes de los acopios. La formación mixta puede durar más de un año por auto-resiembra, siendo conveniente enterrar cada dos años mediante labor de arado de vertedera, preparando después el terreno para volver a sembrar.

Otra posible mezcla de siembra para los acopios de suelo puede ser la que se define en la **tabla 5.1**.

Tabla 5.1. Dosis de siembra de semillas de gramíneas y leguminosas para una mezcla destinada a la protección de acopios de suelo.

| Especie | kg/ha | g/m ² |
|-----------------------------|------------|------------------|
| <i>Agrostis stolonifera</i> | 10 | 1,0 |
| <i>Cynodon dactylon</i> | 10 | 1,0 |
| <i>Dactylis glomerata</i> | 10 | 1,5 |
| <i>Lolium rigidum</i> | 15 | 1,0 |
| <i>Lathyrus aphaca</i> | 30 | 2,5 |
| <i>Vicia monanthos</i> | 25 | 2,0 |
| Total gramíneas | 45 | 4,5 |
| Total leguminosas | 55 | 5,5 |
| TOTAL PRATENSES | 100 | 10 |

Los beneficios del mantenimiento de una cubierta herbácea sobre los acopios se irán diluyendo con la profundidad de los mismos. Por esta razón, cuando vaya a ser empleada la tierra, convendrá realizar el arranque mediante la apertura de un frente vertical. De este modo, durante el propio arranque se realizará una mezcla que se sumará a la producida durante la carga, descarga y extendido. Si no es empleado todo el material del acopio, puede retocarse el frente hasta dejar un talud semejante a los demás y sembrarse sobre dicho nuevo talud para mantenerlo protegido.

Ciertos autores estiman que sobre roca dura, es necesario aportar entre 0,5 y 1 m de

espesor de suelo para poder obtener un crecimiento de la vegetación razonable, mientras que sobre rocas blandas o rocas disgregadas bastaría con 10 ó 15 cm. En realidad, lo mejor es evaluar la cantidad de suelo necesario en función de la textura, la densidad aparente, la capacidad de retención de agua útil y la pedregosidad dominantes en los materiales de los que se disponga, fijando después un criterio de espesor necesario para cubrir, por ejemplo, la recuperación de la reserva otoñal del balance hídrico, o el máximo de lluvia mensual, correspondiente a una estación próxima a la explotación.

Las disponibilidades de tierra vegetal condicionarán las superficies sobre las que será aportada y extendida. En términos generales, deberá destinarse a los lugares donde las dificultades para el establecimiento de vegetación o las necesidades de integración paisajística sean mayores. La importación de materiales edáficos desde áreas externas a las explotadas es una opción interesante, siempre y cuando no sea interpretada como una justificación para extender las alteraciones de forma indiscriminada. Si se tiene conocimiento de que vayan a realizarse vaciados de materiales superficiales asociados a obras hidráulicas, vías de comunicación o construcción de viviendas situadas en puntos cercanos a las explotaciones, cabe la posibilidad de aprovecharlos.

5.3. ENMIENDAS Y MEJORAS EDÁFICAS

Es prácticamente irremediable que, de toda la superficie alterada en el futuro, sólo pueda ser recubierta con tierra una parte. En algún momento se deberá tomar la decisión de dónde debe ser destinada la tierra de la que se disponga. En principio, parece razonable dar preferencia a los frentes y taludes más visibles de escombreras, dejando parte de algunas de las superficies llanas (plataformas o fondos de cantera) sin cubrir. También puede plantearse la construcción de recrementos puntuales de los espesores de tierra vegetal aportados sobre las bermas, aprovechando el apoyo que supone la propia berma y la cara del talud superior. Estos amontonamientos pueden permitir una ganancia en altura de la base de las futuras plantaciones, si bien, difícilmente podrán superarse los tres metros.

Sobre los materiales edáficos obtenidos de los suelos nativos en las superficies desmontadas o preparadas para recibir estériles de cantera, o —especialmente— sobre aquellos materiales de recubrimiento de tipo suelo que pudieran ocasionalmente aparecer, pueden aplicarse mejoras edáficas basadas en un mínimo conocimiento de sus propiedades

obtenido del análisis de parámetros como: pH, capacidad de intercambio catiónico, porcentaje de materia orgánica, textura, contenido en N, P₂O₅ y K₂O, etc. Las mejoras podrán aplicarse en toda la extensión recubierta de tierras o limitadas a puntos concretos: hoyos de plantación o áreas destinadas a la formación de agrupamientos de árboles y arbustos. Esta última posibilidad puede ser también considerada cuando se planifique el destino de la tierra vegetal de la que se disponga.

Por el tipo de vegetación que se quiere introducir, no es necesario que el sustrato posea unos niveles de fertilidad elevados, si bien, las mejoras en los niveles de materia orgánica suelen considerarse necesarias y/o siempre beneficiosas con vistas a la mejora de la estructura en materiales edáficos que sufren numerosas manipulaciones. De todas las enmiendas que pueden ser necesarias, la enmienda orgánica parece imprescindible, por lo menos hasta que la vegetación implantada produzca suficiente biomasa. En efecto, todos los procesos microbiológicos relacionados con el ciclo de la materia orgánica (la gran mayoría en el suelo) parecen esenciales para alcanzar una productividad duradera. La materia orgánica es también generadora de diversidad en la composición del ecosistema, aspecto éste igualmente destacado como requisito para un buen crecimiento vegetal. Para las enmiendas orgánicas puede utilizarse, en principio, cualquier material o residuo rico en materia orgánica, con tal de que se tenga control sobre su composición: relación C/N, contenido en elementos fertilizantes y elementos que puedan ser tóxicos, características físicas, etc. En este sentido, viene ya siendo habitual en restauración de terrenos el empleo de lodos o aguas residuales y compost de basuras, además de las más tradicionales basadas en residuos agrícolas (paja sobre todo) o ganaderos (estiércol). Todos los residuos orgánicos presentan problemas específicos, relacionados con la recogida, transporte, acondicionamiento previo a su incorporación, técnicas de aplicación, dosificación y control de los efectos que producen (Navarro Pedreño *et al.*, 1995).

Una recomendación general para el enriquecimiento orgánico de tierras extendidas sobre superficies finales de cantera puede ser aportar a tanto alzado unos 30.000 Kg por ha de superficie en planta, de estiércol maduro con cama de ganado ovino. El estiércol de ovino es el que presenta mayores posibilidades de encontrarse en el mercado murciano y es apropiado por dejar a medio plazo un buen residuo húmico de carácter bastante permanente. Como el objetivo de la adición de estiércol es proporcionar un cierto nivel de materia orgánica, que pueda permitir una cierta mejora de la estructura por agregación, el

aporte debe predominar en superficie. Dicha cantidad de estiércol puede, a su vez, suponer por cada ha unos 2.500 Kg de humus, además de un aporte añadido de N, P₂O₅ y K₂O como resultado de la mineralización. A efectos de cálculo para una fertilización inorgánica, estos incrementos en la reserva de nutrientes no deberían ser considerados dado que no es posible saber en que momento pasarán a estar disponibles.

La enmienda orgánica podría ser aportada en las bermas mayores, plataformas y plazas de cantera, en las que ya se haya extendido una capa de suelo, utilizando un remolque estercolador de descarga trasera. Sin embargo, dado que en ese caso sería necesario realizar carga al remolque desde el punto en que se deposite el estiércol servido, puede ser más interesante mezclar el estiércol con los suelos o tierras acopiados antes de la distribución de la capa de suelos sobre las superficies a recuperar, es decir, recibir el estiércol en el punto de toma de los suelos acopiados y mezclarlo con los mismos para después realizar el aporte conjuntamente. La gran desproporción de volúmenes de ambos tipos de materiales aconseja que esta mezcla se haga solo con los últimos aportes de tierras, si estos se distribuyen por tongadas. Este sistema es el más seguro para bermas de frentes, por lo que puede adoptarse como norma general.

En cuanto a los lodos de depuradora, lo corriente es emplear aquellos procedentes de aguas residuales sometidas a tratamiento primario y secundario, y después sometido a digestión aerobia o anaerobia. Adicionalmente puede aplicarse un método específico de desinfección. Los lodos residuales están compuestos principalmente de materia orgánica, por lo que son una fuente de carbono orgánico, a la vez que sirven para incrementar el número y la actividad de los microorganismos. Aunque la tasa de descomposición de la materia orgánica de los lodos es normalmente alta, lo que podría producir problemas de contaminación por el lavado del nitrógeno, el incremento de la actividad biológica y el hecho de favorecer la presencia de vegetación, contribuyen a interceptar esas posibles pérdidas. Los lodos de depuradora también pueden incrementar la granulación, la aireación y las capacidades de almacenamiento de agua y de intercambio catiónico. Los lodos pueden ser aplicados en forma líquida (esparcido o inyectado) o sólida (esparcido o enterrado). En general, el lodo desecado parece ser más recomendable por su menor coste de transporte y distribución. La idea fundamental que rige el empleo de lodos como material enmendante en prácticas de restauración es que puedan mejorarse los materiales edáficos o los sustitutos del suelo de los que se disponga con otros materiales de bajo coste y mediante

técnicas sencillas aplicables con la propia maquinaria de las explotaciones (Alcañiz *et al.*, 1998).

El empleo de lodos de depuradora ha sido muy habitual en restauración de terrenos mineros. Las dosis típicas varían entre 112 y > 224 t/ha (Daniels & Haering, 2000). El potencial de los lodos para la restauración eficaz de terrenos mineros es tremendo, en palabras de Sopper (1992). Tal utilización permite a su vez la eliminación de los mismos, con lo que se resuelve, de paso, un problema de gestión de residuos. Los lodos de depuradora aparecen como uno de los materiales de enmienda más competitivos, dada su facilidad de recogida, procesado y transporte, así como por las numerosas técnicas existentes para su aplicación (Navarro Pedreño *et al.*, 1995). Sin embargo, dados los niveles de metales pesados que suelen estar presentes en los lodos, procedentes de fuentes industriales, estos residuos pueden generar problemas de toxicidad, aunque se cuestiona la disponibilidad de los mismos por la complejación que ejerce la materia orgánica. La disponibilidad y toxicidad de los metales pesados aportados por los lodos se incrementa con pH_s del suelo inferiores a 6'5. De igual modo, los lodos pueden contener abundantes microorganismos patógenos, por lo que se recomienda siempre que sean sometidos a algún tratamiento de estabilización (encalado, compostado, digestión, etc.) antes de ser aplicados sobre los terrenos a enmendar. El empleo de lodos no estabilizados en suelos agrícolas no es aceptable. La mayoría de los problemas que pueden derivarse de la aplicación de lodos de depuradora se minimizan si son utilizados lodos compostados. Los lodos también pueden contener importantes cantidades de elementos fertilizantes y neutralizantes (especialmente el fósforo), por lo que pueden incidir en la mejora de la fertilidad y el pH, aunque también pueden generar problemas por incremento de la salinidad, sobre todo en aplicaciones puntuales –como hoyos de plantación–, empleando dosis altas y en climas secos (Epstein, 1980; Stroo & Jencks, 1985; Sopper, 1992; Samos *et al.*, 1993). Sopper (1993) realiza una amplia revisión de cómo la aplicación de lodos de depuradora ha permitido el establecimiento de una buena cubierta vegetal en muchos tipos de terrenos alterados, mostrándose en numerosas ocasiones superior a los fertilizantes inorgánicos.

En relación con los contenidos en metales pesados, ha de considerarse la composición del lodo y la vegetación a implantar, así como el destino final de la misma. También debe ser contemplada la posibilidad de afección a la fauna y a las aguas subterráneas de los metales traza y los compuestos de nitrógeno. El posible impacto derivado de la contaminación por

metales pesados depende no sólo del tipo y cantidad de los lodos aplicados, sino también de las propiedades del substrato donde se aplican: contenido orgánico, pH, capacidad de intercambio catiónico, potencial redox, textura, estructura, actividad microbiana, etc. (Samos *et al*, 1993). Sobre varios de estos aspectos existen guías de aplicación proporcionadas por algunos organismos (EPA, USDA, etc.) que ofrecen garantías para la protección ambiental (Sopper, 1992). En España, existe regulación para el empleo de lodos de depuradora como enmienda para suelos agrícolas (R.D. 1310/1990 de 29 de octubre), donde quedan establecidas las limitaciones sobre su aplicación al suelo en función de las características de lodo, suelo y cultivo: sólo pueden ser utilizados los "lodos tratados" y amparados por una documentación donde se detalle el proceso de tratamiento sufrido y su composición en términos, al menos, de materia seca, materia orgánica, pH, N, P, Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, Hg, y Cr. Sin embargo, las exigencias aplicables a terrenos agrícolas pueden ser excesivas si se considera que, en muchos casos, el objetivo de la aplicación de lodos sobre una superficie a restaurar no es la producción agrícola, sino alcanzar en poco tiempo, y con una sola aplicación, un nivel de establecimiento de la vegetación aceptable, que permita proteger e integrar en el entorno el terreno anteriormente desnudo. Recientemente, la Comisión Europea está trabajando para el desarrollo de normas de aplicación de lodos de depuradora a los suelos, contemplando el posible uso sobre terrenos gravemente alterados (European Commission, 2000).

Aunque todavía ha de realizarse un esfuerzo normativo que garantice la seguridad en el empleo de este tipo de residuos en terrenos mineros, la realidad induce a pensar de acuerdo con Daniels & Haering (2000), que, si los lodos se han sometido a un proceso de reducción de patógenos y se siguen los protocolos normalmente establecidos en cuanto a límites de concentración de metales pesados y control del pH, los riesgos de contaminación y afección a las cadenas tróficas son extremadamente bajos. En cuanto a la posibilidad de pérdidas de NO₃ y el riesgo de afección a las aguas por los grandes aportes típicos para la restauración de suelos mineros señalan que, después de una revisión de literatura referida al tema, parece ser mínima.

Alcañiz *et al.* (1998) analizaron la potencialidad de enmendar suelos calizos para la restauración de canteras con lodos de depuradora, estudiando en laboratorio y en parcelas aspectos como la descomposición de la materia orgánica o la evolución de los principales grupos de elementos contaminantes, concluyendo que pueden aplicarse dosis relativamente

altas. De todos modos, los técnicos encargados de la restauración en cada caso serán los que deban decidir la idoneidad o no del empleo de lodos atendiendo a las características de la explotación y valorando los aspectos recogidos en la **tabla 5.2**. Se considera que lo ideal es moverse en los grados de incompatibilidad 0 ó 1 de los definidos en la tabla, si bien siempre es necesario realizar un análisis caso por caso. El tipo de lodos que mejor se ajusta a los requerimientos ambientales que son de aplicación en la restauración de canteras es aquel de procedencia urbana con predominio de origen doméstico y una componente industrial moderada, sometidos a digestión biológica (estabilizados) y deshidratados (más de 18 % de materia seca).

Tabla 5.2. Condicionantes del lugar que deben ser considerados para evaluar la idoneidad del uso de lodos de depuradora en restauración de canteras (Alcañiz *et al.*, 1998)

| ASPECTO A CONSIDERAR | GRADO DE INCOMPATIBILIDAD | | | |
|--|---------------------------|-------------|-----------|--------------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 |
| Frecuentación de la zona | Nula | Poca | Bastante | Mucha |
| Proximidad a zonas habitadas | > 500 | 300 - 500 | 100 - 300 | < 100 |
| Vías de acceso | Buenas | Aceptables | Malas | Muy malas |
| Espacio para lodos y tierras (m ²) | > 5000 | 3000 - 5000 | 1000-3000 | < 1000 |
| Proximidad a cursos de agua (m) | > 500 | 300 - 500 | 150 - 300 | < 150 |
| Nivel freático (m) | > 10 | 5 - 10 | 3 - 5 | < 3 |
| Pastoreo | Nulo | Poco | Bastante | Mucho |
| Impacto visual de los lodos | Nulo | Poco | Bastante | Mucho |
| Disponibilidad de maquinaria | Permanente | Temporal | Ocasional | Insuficiente |

Como ocurre con cualquier otro planteamiento de construcción o reposición de materiales terrosos con vistas a crear un sustrato apropiado, en el caso de plantear una aplicación de lodos de depuradora conviene conocer las características de estas tierras. Es muy importante conocer la granulometría, tanto de las fracciones gruesas (>2mm) como de la tierra fina (textura), el contenido de carbonatos, el pH, la salinidad, etc. Es recomendable excluir para la restauración con lodos todas aquellas tierras y estériles que contengan menos de un 20% de tierra fina (partículas < 2mm). También aquellas excesivamente arcillosas, limosas y arenosas que no permitirían una buena incorporación de los lodos. Es obligatorio que las tierras que se mezclen con los lodos tengan un mínimo de un 5% de arcillas (porcentaje referido a la tierra fina). Para ello, es posible hacer mezclas con distintos tipos de tierras y estériles para que tengan unas buenas propiedades granulométricas (Alcañiz *et al.*, 1998). Los mismos autores, basándose en los trabajos experimentales desarrollados, recomiendan no sobrepasar el límite de un 10% de materia

seca de lodo incorporado a la fracción fina del suelo. Estas recomendaciones quedan expresadas de forma gráfica en la **figura 5.2.**

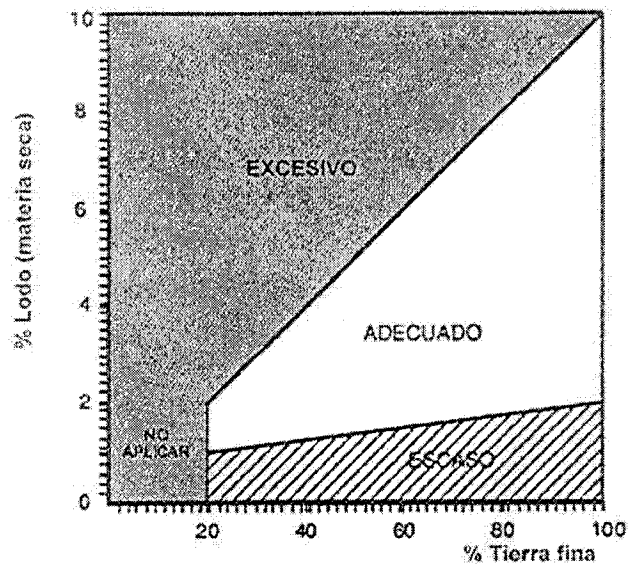


Figura 5.2. Dosis máximas y aconsejables de lodo de depuradora a incorporar al suelo. Porcentajes referidos a materia seca de lodo y fracción tierra fina de suelo (tomado de Alcañiz *et al.*, 1996).

La mezcla previa es el sistema más recomendado. Consiste en mezclar con un pala mecánica la tierra y el lodo. Por ejemplo, se debería tomar una palada de lodo y el número de paladas de tierra que corresponda según el cálculo de la dosis, dejándolos amontonados en una pila y dando un par de volteos para homogeneizar la mezcla. De esta manera, la tierra absorbe el exceso de humedad del lodo y pasados unos días se puede acabar de mezclar con facilidad quedando lista para su extensión sobre el terreno (Alcañiz *et al.*, 1998).

5.4. APLICACIÓN DE MULCH O ACOLCHADO

El objetivo del acolchado o *mulching* es que una cubierta superficial simule el efecto protector de una formación vegetal aún no establecida o, como es corriente en arboricultura, para que proporcione, en el espacio libre de árboles, la protección que se pierde al eliminar una cubierta herbácea por su efecto indeseable de competición por el agua. Tanto en el campo (Borst & Woodburn, 1942), como en el laboratorio (Lattauzi *et al.*, 1974) se ha demostrado que una capa protectora reduce de manera efectiva la pérdida de suelo. Se han empleado tanto materiales orgánicos como inorgánicos para cubrir la

superficie que se quiere defender de la erosión, si bien los materiales orgánicos son ambientalmente más deseables, pudiendo ser tan efectivos como los otros. Es evidente que los mulches orgánicos enmiendan el contenido de materia orgánica del suelo, pero lo más importante es que, gracias a un método específicamente diseñado de distribución o colocación sobre la superficie, o a una transformación del producto orgánico original, son capaces de proporcionar el efecto beneficioso añadido de proteger eficazmente la superficie del suelo (Arranz, 2004). Cuando se aplica un mulch, éste es esparcido sobre la superficie del suelo o es ligeramente incorporado (mezclado) con los primeros centímetros superficiales, mientras que la realización de una enmienda orgánica conlleva usualmente una incorporación a toda la zona radicular (Slick & Curtis, 1985).

La presencia de un mulch en la superficie del suelo, además de protegerlo frente a la erosión, reduce la temperatura y la pérdida de humedad por evaporación directa, incrementando la infiltración. El acolchado ayuda a que el suelo conserve agua durante periodos de lluvias frecuentes, pero tiene poco valor durante periodos secos prolongados. Normalmente, las zonas protegidas con un acolchado se benefician de mayores entradas de agua, a la vez que es rota la capilaridad ascendente en periodos secos. También se mejora el ambiente de germinación y establecimiento de las plantas, defendiendo a estas de temperaturas extremas. Igualmente, previene de la formación de costras superficiales y sujeta a las semillas (Slick & Curtis, 1985; Lyle, 1987).

Teóricamente, bajo condiciones extremadamente pobres de clima y suelo, el acolchado no ayuda a la implantación de vegetación. Igualmente, en condiciones extremadamente favorables, es innecesario. Entre estas dos situaciones está la mayoría de casos posibles, y en muchos de ellos el mulch puede ser de incalculable valor (Lyle, 1987).

Por las cantidades que es necesario aportar sobre los terrenos mineros, los mulches que normalmente ofrecen mayores posibilidades son: paja, heno, corteza de árbol, virutas de aserradero, fibra de madera, estiércol, lodos de depuradora, etc.

La efectividad de la aplicación de un mulch depende en gran medida de la eficacia de su distribución sobre el terreno y del medio de sujeción sobre el mismo. Donde la maquinaria agrícola convencional no puede actuar por exceso de pendiente, se hace necesaria la concurrencia de hidrosembradoras o esparcidoras de mulch, junto con riegos aderezados

con agentes adhesivos o estabilizadores de suelo.

Una práctica que puede considerarse una variante del acolchado es la siembra otoñal fallida de cereal o hierba, para, sobre el mismo terreno, repetir la siembra en primavera, obteniéndose una óptima cobertura del suelo, con la ventaja de ser entre un 75% y un 95% más económico que la aplicación de un mulch convencional. Slick & Curtis (1985) denominan a este tipo de acolchado "*in situ vegetative mulches*". Comentan que pueden proporcionar protección durante un año o más, aunque no pueden establecerse en todas las épocas del año ni en todos los lugares.

En casos extremos –alta aridez, gran erodibilidad o torrencialidad de las lluvias– puede considerarse como alternativa el empleo de mulches de tipo red o mantas orgánicas, que se extienden y anclan al terreno. Se superponen al terreno liso, siguiendo ciertas normas de colocación (fijación al terreno, solapamiento de bandas, etc.). Las mantas y redes orgánicas se fabrican con fibras de productos tales como coco, yute, paja o mezclas, existiendo en Murcia importantes posibilidades para el empleo de fibra de esparto (Navarro *et al.*, 1996). Harding (1990) considera que los materiales naturales que por su propia naturaleza son fibrosos y capaces de entrelazarse formando una matriz sobre el terreno son los mejores frente a los procesos erosivos. Para pendientes moderadas, los entramados de materiales naturales fibrosos, con alta superficie específica, ofrecen los mejores resultados frente a los efectos del golpeteo de la lluvia y el arrastre de las partículas de suelo. Son claramente superiores a otros en la reducción de la velocidad del flujo del agua, por lo que, considerando lo anteriormente dicho, son enormemente eficaces frente a la erosión (Harding, 1990).

Al hilo de todo esto, conviene recordar que todavía hoy existen artesanos del esparto en numerosos lugares de la Región de Murcia, por lo que no debe resultar difícil encontrar piezas artesanas adecuadas a las necesidades que se planteen, o incluso solicitar la elaboración de artículos realizados siguiendo instrucciones. Por ejemplo, pueden ser de utilidad bandas alargadas de tejido de esparto para crear pequeños diques antierosión en pendientes de tierra, o capazos para el trasplante de árboles y arbustos –de esto se hablará más adelante.

6. REVEGETACIÓN

6.1 CONSIDERACIONES PREVIAS.

Salvo que existan iniciativas particulares que planteen planes de aprovechamiento del terreno en las áreas llanas distintos de la protección y conservación del suelo, ha quedado ya establecido, como objetivo de carácter general, un modelo de restauración que persigue el restablecimiento de vegetación natural basado en la actualmente presente. Esto puede concretarse definiendo como modelo de cobertura general un matorral con inclusión de pinos, por las razones que se explican a continuación

La vegetación presente en todas las zonas está dominada muchas veces por *Pinus halepensis*. El pino carrasco es propio de medios semiáridos y edafoxéricos (dolomías, mármoles, yesos), de carácter mediterráneo Bético y Murciano-Almeriense. El pino carrasco, será considerado de interés por su extraordinaria rusticidad y resistencia a la sequía y por ser una de las plantas que mayor porte puede alcanzar entre las existentes en el territorio. Se afirma que es la especie arbórea mejor adaptada a la sequía, llegando a soportar situaciones extremas, como ocurre en la Sierra de Cartagena donde convive con el araar. Por estas razones, y por su elevada presencia en la zona, puede jugar un importante papel desde el punto de vista de la integración paisajística.

Muchas veces se ha dudado de la idoneidad del empleo de los pinos para la restauración ecológica de un territorio. Parece aceptarse que es negativo su empleo cuando la fase de degradación que se ha alcanzado es la de desierto (como es nuestro caso). Es cierto que estas consideraciones tienen mayor peso cuando se plantea una repoblación en el sentido más tradicional de la palabra. Si son tomadas las suficientes medidas como para que la capacidad productiva del terreno aumente, y considerando que se plantea introducir una mayor variedad de especies con métodos relativamente cuidadosos, entonces puede aceptarse que la plantación de pino carrasco puede ser ecológicamente positiva.

Algunos tratamientos previos al establecimiento de la vegetación arbustiva y arbórea, que suelen ser eficaces para mantener la superficie del terreno protegida y para mejorar sus propiedades –pero que no han de considerarse definitivos–, hacen uso de formaciones herbáceas mixtas y densas, a semejanza de lo que serían pastizales o cultivos de carácter

forrajero (del estilo de las que se han propuesto para la protección de acopios de suelo). Debido al carácter provisional de dichas formaciones, no se considera necesario que las especies empleadas con tales objetivos tengan que estar presentes actualmente en la zona. La adecuación ecológica y la disponibilidad de las semillas en el mercado son los principales argumentos a valorar para la selección de estas especies. La vegetación herbácea que se implanta como medio de protección y enriquecimiento sobre superficies suficientemente extensas de materiales tipo suelo, si ha quedado bien establecida, opondrá sin duda una fuerte competencia ante el eventual establecimiento posterior de especies leñosas. Excepción será el “*in situ vegetative mulching*” que ya fue comentado. Las plantaciones que se realicen sobre terrenos uniformemente protegidos por vegetación herbácea deberán realizarse con aclareos o escardados en rodales cuya superficie supere generosamente la ocupada por los hoyos de plantación, pero evitando la eliminación completa del pasto en toda la parcela. Los rodales pueden cubrirse con paja o cualquier otro material de acolchado.

Otro aspecto importante a tener en cuenta es el efecto favorable de la implantación de arbustos en medios muy secos para beneficiar la introducción de especies arbóreas. Recientes investigaciones (Callaway & Walker, 1997; Brooker & Callaghan, 1998; Castro *et al.*, 2002; Gómez-Aparicio *et al.*, 2004) demuestran que la vegetación arbustiva puede tener un efecto positivo desde el punto de vista de la facilitación y el reclutamiento de otras especies en ambientes mediterráneos sometidos a fuerte estrés hídrico. Entre los arbustos cuyo efecto como nodriza ha sido destacado están los de la familia leguminosas, debido a que mejoran la fertilidad del suelo (Callaway, 1995; Miranda *et al.*, 2004; Gómez-Aparicio *et al.*, 2004). Puede considerarse como objetivo que la comunidad vegetal que pudiera implantarse requiera poca y no prolongada fertilización para sostener su productividad. Ello se consigue con presencia de leguminosas. En particular, García Camarero *et al.* (1998) encuentran que la especie *Coronilla juncea* es capaz de formar importantes cubiertas vegetales incluso en clima subdesértico. La formación de “islas”, en las que se produce una mejora de las condiciones microclimáticas y edáficas, puede favorecer la introducción de las especies más nobles.

Cuando se busca recuperar un tipo de vegetación autóctona, o de carácter protector e integrador –caso más general– debe conocerse en primer lugar la composición florística del entorno inmediato y/o la vegetación potencial. En nuestro caso, es posible conocer con gran

detalle las asociaciones vegetales presentes en cualquier punto de las zonas de estudio gracias a los mapas detallados de polígonos de vegetación reunidos en el inventario ambiental.

En segundo lugar, debe plantearse qué fase de la sucesión se quiere promover. Por ejemplo, se sabe que para que una formación climácica sea estable debe tener un área mínima y un mínimo número de componentes. Sin embargo no existen guías de absoluta confianza para determinar tales mínimos. Evidentemente, además, las formaciones climácicas presuponen un medio edáfico no degradado que está muy lejos del que encontraremos en las futuras zonas explotadas, e incluso del que se extiende en gran parte del territorio de la zona de estudio. Por ello, pretender alcanzar los estados de mayor madurez en las condiciones de alteración en las que quedan los terrenos después de la explotación puede resultar excesivamente ambicioso, lo que no impide que especies propias de la climax puedan ser también introducidas puntualmente. Por el contrario, plantear el establecimiento generalizado de fases más degradadas es proclive a que se autolimiten los esfuerzos, además de que estas formaciones difícilmente permiten alcanzar una rehabilitación del paisaje y no garantizan una protección del terreno tan completa.

Lo ideal sería realizar una preselección amplia de especies, la cual sirviera para orientar experimentos, por ejemplo, en pequeñas parcelas con el material de que se dispone y variando tratamientos, mezclas y dosis –si el tiempo lo permite–. Hay que tener en cuenta además, que en condiciones alejadas de las naturales, el comportamiento, viabilidad, modo de crecimiento y en definitiva la respuesta, es bastante impredecible. Puede ser interesante destinar con anticipación algún área a la producción de plantas perfectamente viables, con las ventajas de tener a mano los materiales que condicionarán la revegetación o reforestación.

6.2. PRESELECCIÓN DE ESPECIES DE INTERÉS

La multiplicidad de características que pueden ser de interés, cuando el objetivo es la rehabilitación ecológica y paisajística y la protección de suelos, obliga a realizar una selección lo más amplia posible, como puede fácilmente deducirse. Partiendo de todas las anteriores consideraciones, la elección de especies para el replanteo de plantaciones en áreas concretas previamente preparadas, se realizará buscando las siguientes características:

- Carácter natural, evitando especies exóticas que pudieran asilvestrarse y producir daños. Es preferible el empleo de especies autóctonas o ya naturalizadas y presentes en la zona de estudio.
- Carácter heliófilo, frugal y rústico, aunque puedan acompañarse de plantas más exigentes propias de estados más avanzados, como ya se ha comentado.
- Carácter edificador o corrector de suelos, como es el caso de las leguminosas tanto herbáceas como leñosas (bolinas, retamas).
- Elevada capacidad de protección del suelo (vigorosa capacidad de enraizamiento o desarrollo horizontal de la copa).
- Alta resistencia a la sequía estival y a elevadas concentraciones de carbonato cálcico.
- Crecimiento rápido durante las primeras fases en lugares inestables.
- Resistencia a daños y elevada capacidad de rebrote (como las retamas, las higueras y otras).
- Buenas características para la acogida, alimento y protección de la fauna. Se deben evitar el empleo masivo o la dominancia de plantas productoras de aceites esenciales (a excepción del romero). Interesan las plantas productoras de frutos comestibles (espinos, zarzamoras, majuelos, algarrobos) las cuales atraen a numerosas aves, las cuales pueden ser a su vez un factor importante de diseminación vegetal.
- Introducción de especies autóctonas o de interés por su representatividad de la flora local o estado de amenaza (palmitos, espinos, sabinas).

En la **tabla 6.1.** se presenta un catálogo de especies seleccionadas para las diferentes zonas de estudio, ya sean autóctonas o naturalizadas. Dicha selección se ha realizado después de consultar los documentos: “Memoria de los mapas de vegetación actual y potencial de las zonas de interés para la explotación de roca ornamental en la Región de Murcia” (trabajo realizado dentro del presente Proyecto para elaborar el capítulo de vegetación del estudio del medio), la “Flora básica de la Región de Murcia” (Alcaraz *et al.*, 1998) y el “Manual para la reforestación con especies autóctonas” (Siguero Llorente, 1999).

En revistas de jardinería consultadas se han señalado como especies producidas en vivero de interés en revegetación: *Pistacia lentiscus*, *Coriaria myrtifolia*, *Globularia alypium*, *Lavandula lanata*, *Lotus creticus*, *Phillyrea angustifolia*. El proyecto Araar de ANSE (Asociación de Naturalistas del Segura) aboga por la producción de una serie de especies

que pueden ser de interés para su empleo en proyectos de restauración en las zonas de explotación de roca ornamental: *Pinus halepensis*, *Pinus pinea*, *Juniperus oxycedrus*, *Arbutus unedo*, *Quercus coccifera*, *Olea sylvestris*, *Rhamnus alaternus*, *Rhamnus lycioides*, *Ceratonia siliqua*, *Clematis flammula*, *Spartium junceum*, *Stipa tenacissima*, *Retama sphaerocarpa*, entre otras. Todas ellas, salvo por circunstancias excepcionales, son comercializadas por empresas productoras de semillas o plantas de vivero, lo cual es recomendable. En particular, las especies leñosas referidas en la tabla han sido encontradas como parte de la oferta de viveros murcianos, en las listas del proyecto araar de ANSE o en los catálogos del Proyecto Forestal Ibérico (Villamalea, Albacete).

La zarzaparrilla (*Smilax aspera*), la clemátide (*Clematis vitalba*) –en frentes umbrosos y elevados–, la hiedra (*Hedera helix*), o la madreselva (*Lonicera implexa*), todas ellas trepadoras, son de extraordinario interés pues, pueden emplearse en bandas internas y externas de las bermas buscando que en su crecimiento recubran algo de las caras de los bancos, aunque puedan necesitar aportes suplementarios de agua durante un tiempo.

Tabla 6.1. Catálogo de especies seleccionadas para las diferentes zonas de estudio

| ZONA | HERBÁCEAS ANUALES | HERBÁCEAS PLURIANUALES | ARBUSTIVAS Y SUBARBUSTIVAS | ARBÓREAS |
|--------------------------|---|---|--|---|
| ZONA 1: CEHEGÍN | <p>LEGUMINOSAS</p> <p><i>Medicago minima</i> <i>Vicia villosa</i> <i>Vicia sativa</i> <i>Trifolium stellatum</i> <i>Trifolium campestre</i> <i>Trifolium angustifolium</i> <i>Trifolium subterraneum</i></p> <p>GRAMÍNEAS</p> <p><i>Poa annua</i> <i>Poa bulbosa</i> <i>Lolium rigidum</i> <i>Hordeum murinum</i></p> | <p>LEGUMINOSAS</p> <p><i>Medicago sativa</i> <i>Onobrychis sativa</i> <i>Trifolium repens</i> <i>Lotus corniculatus</i></p> <p>GRAMÍNEAS</p> <p><i>Agropyron repens</i> <i>Agrostis stolonifera</i> <i>Dactylis hispanica</i> <i>Brachypodium retusum</i> <i>Avena sterilis</i> <i>Cynodon dactylon</i></p> <p><i>Stipa tenacissima</i></p> | <p><i>Daphne gnidium</i> <i>Opuntia máxima</i> <i>Genista scorpius</i> <i>Genista valentina</i> <i>Coronilla juncea</i> <i>Retama sphaerocarpa</i> <i>Anthyllis cytisoides</i> <i>Colutea arborescens</i> <i>Clematis vitalva</i> <i>Agave americana</i> <i>Rosmarinus officinalis</i> <i>Phillyrea angustifolia</i> <i>Lonicera implexa</i> <i>Smilax aspera</i> <i>Crataegus monogyna</i> <i>Rosa canina</i> <i>Ephedra fragilis</i> <i>Capparis sicula</i> <i>Rubus ulmifolius</i> <i>Nerium oleander</i> <i>Rhamnus alaternus</i> <i>Rhamnus lycioides</i> <i>Salix atrocinerea</i> <i>Asparagus albus</i> <i>Pistacia lentiscus</i> <i>Pistacia terebinthus</i></p> | <p><i>Pinus halepensis</i> <i>Juniperus oxycedrus</i> <i>Juniperus phoenicea</i> <i>Quercus rotundifolia</i> <i>Quercus faginea</i> <i>Quercus coccifera</i> <i>Arbutus unedo</i> <i>Olea europaea</i> <i>Ulmus minor</i> <i>Ficus carica</i> <i>Juglans regia</i> <i>Populus alba</i> <i>Populus nigra</i></p> |
| ZONA 2: VALDEINFIERNO | <p>LEGUMINOSAS</p> <p><i>Medicago minima</i> <i>Vicia villosa</i> <i>Vicia sativa</i> <i>Trifolium stellatum</i> <i>Trifolium campestre</i> <i>Trifolium angustifolium</i></p> <p>GRAMÍNEAS</p> <p><i>Poa annua</i> <i>Poa bulbosa</i> <i>Lolium rigidum</i> <i>Hordeum murinum</i></p> | <p>LEGUMINOSAS</p> <p><i>Medicago sativa</i> <i>Onobrychis sativa</i> <i>Trifolium repens</i> <i>Lotus corniculatus</i></p> <p>GRAMÍNEAS</p> <p><i>Agropyron repens</i> <i>Agrostis stolonifera</i> <i>Dactylis hispanica</i> <i>Brachypodium retusum</i> <i>Avena sterilis</i> <i>Cynodon dactylon</i></p> <p><i>Stipa tenacissima</i></p> | <p><i>Daphne gnidium</i> <i>Opuntia máxima</i> <i>Coronilla juncea</i> <i>Retama sphaerocarpa</i> <i>Anthyllis cytisoides</i> <i>Colutea arborescens</i> <i>Clematis vitalva</i> <i>Agave americana</i> <i>Anelanchier ovalis</i> <i>Rosmarinus officinalis</i> <i>Phillyrea angustifolia</i> <i>Lonicera implexa</i> <i>Smilax aspera</i> <i>Crataegus monogyna</i> <i>Rosa canina</i> <i>Ephedra fragilis</i> <i>Capparis sicula</i> <i>Rubus ulmifolius</i> <i>Rhamnus alaternus</i> <i>Rhamnus lycioides</i> <i>Salix atrocinerea</i> <i>Asparagus albus</i> <i>Pistacia terebinthus</i></p> | <p><i>Pinus halepensis</i> <i>Juniperus oxycedrus</i> <i>Juniperus phoenicea</i> <i>Quercus rotundifolia</i> <i>Quercus faginea</i> <i>Quercus coccifera</i> <i>Arbutus unedo</i> <i>Olea europaea</i> <i>Ulmus minor</i> <i>Ficus carica</i> <i>Juglans regia</i> <i>Populus alba</i> <i>Populus nigra</i></p> |

| ZONA | HERBÁCEAS ANUALES | HERBÁCEAS PLURIANUALES | ARBUSTIVAS Y SUBARBUSTIVAS | ARBÓREAS |
|--------------------|---|--|---|--|
| ZONA 3: BARINAS | <p>LEGUMINOSAS</p> <p><i>Medicago minima</i> <i>Vicia villosa</i> <i>Vicia sativa</i> <i>Trifolium stellatum</i> <i>Trifolium campestre</i> <i>Trifolium angustifolium</i> <i>Trifolium subterraneum</i></p> <p>GRAMÍNEAS</p> <p><i>Poa annua</i> <i>Poa bulbosa</i> <i>Lolium rigidum</i> <i>Hordeum murinum</i></p> | <p>LEGUMINOSAS</p> <p><i>Medicago sativa</i> <i>Medicago lupulina</i> <i>Onobrychis sativa</i> <i>Trifolium repens</i> <i>Lotus corniculatus</i></p> <p>GRAMÍNEAS</p> <p><i>Agropyron repens</i> <i>Agrostis stolonifera</i> <i>Dactylis hispanica</i> <i>Brachypodium retusum</i> <i>Avena sterilis</i> <i>Cynodon dactylon</i></p> <p><i>Stipa tenacissima</i></p> | <p><i>Daphne gnidium</i> <i>Opuntia máxima</i> <i>Genista scorpius</i> <i>Coronilla juncea</i> <i>Retama sphaerocarpa</i> <i>Anthyllis cytisoides</i> <i>Spartium junceum</i> <i>Clematis vitalva</i> <i>Agave americana</i> <i>Rosmarinus officinalis</i> <i>Phillyrea angustifolia</i> <i>Lonicera implexa</i> <i>Smilax aspera</i> <i>Crataegus monogin</i> <i>Ephedra fragilis</i> <i>Colutea arborescens</i> <i>Capparis sicula</i> <i>Rubus ulmifolius</i> <i>Rosa canina</i> <i>Nerium oleander</i> <i>Coriaria myrtifolia</i> <i>Rhamnus alaternus</i> <i>Rhamnus lycioides</i> <i>Rhamnus oleoides</i> <i>Salix atrocinerea</i> <i>Asparagus albus</i> <i>Pistacia lentiscus</i> <i>Pistacia terebinthus</i></p> | <p><i>Pinus halepensis</i> <i>Juniperus oxycedrus</i> <i>Quercus coccifera</i> <i>Ceratonia siliqua</i> <i>Arbutus unedo</i> <i>Olea europaea</i> <i>Ulmus minor</i> <i>Prunus amigdalus</i> <i>Ficus carica</i> <i>Juglans regia</i> <i>Populus alba</i> <i>Populus nigra</i></p> |
| ZONA 4: NORTE | <p>LEGUMINOSAS</p> <p><i>Medicago minima</i> <i>Vicia villosa</i> <i>Vicia sativa</i> <i>Trifolium campestre</i> <i>Trifolium angustifolium</i> <i>Trifolium stellatum</i></p> <p>GRAMÍNEAS</p> <p><i>Poa annua</i> <i>Poa bulbosa</i> <i>Lolium rigidum</i> <i>Hordeum murinum</i></p> | <p>LEGUMINOSAS</p> <p><i>Medicago sativa</i> <i>Onobrychis sativa</i> <i>Trifolium repens</i> <i>Lotus corniculatus</i></p> <p>GRAMÍNEAS</p> <p><i>Agropyron repens</i> <i>Agrostis stolonifera</i> <i>Dactylis hispanica</i> <i>Brachypodium retusum</i> <i>Avena sterilis</i> <i>Cynodon dactylon</i></p> <p><i>Stipa tenacissima</i></p> | <p><i>Daphne gnidium</i> <i>Opuntia máxima</i> <i>Genista scorpius</i> <i>Coronilla juncea</i> <i>Retama sphaerocarpa</i> <i>Anthyllis cytisoides</i> <i>Colutea arborescens</i> <i>Clematis vitalva</i> <i>Agave americana</i> <i>Rosmarinus officinalis</i> <i>Phillyrea angustifolia</i> <i>Lonicera implexa</i> <i>Smilax aspera</i> <i>Crataegus monogina</i> <i>Rosa canina</i> <i>Ephedra fragilis</i> <i>Hedera helix</i> <i>Capparis sicula</i> <i>Rubus ulmifolius</i> <i>Nerium oleander</i> <i>Rhamnus alaternus</i> <i>Rhamnus lycioides</i> <i>Salix atrocinerea</i> <i>Asparagus albus</i> <i>Pistacia lentiscus</i> <i>Pistacia terebinthus</i></p> | <p><i>Pinus halepensis</i> <i>Juniperus oxycedrus</i> <i>Juniperus phoenicea</i> <i>Quercus coccifera</i> <i>Acer granatense</i> <i>Arbutus unedo</i> <i>Olea europaea</i> <i>Ulmus minor</i> <i>Ficus carica</i> <i>Juglans regia</i> <i>Fraxinus angustifolia</i> <i>Populus alba</i> <i>Populus nigra</i></p> |

| ZONA | HERBÁCEAS ANUALES | HERBÁCEAS PLURIANUALES | ARBUSTIVAS Y SUBARBUSTIVAS | ARBÓREAS |
|---------------------|--|---|--|--|
| ZONA 5: NOROESTE | <p>LEGUMINOSAS</p> <p><i>Medicago minima</i> <i>Vicia villosa</i> <i>Vicia sativa</i> <i>Trifolium campestre</i> <i>Trifolium angustifolium</i> <i>Trifolium stellatum</i></p> <p>GRAMÍNEAS</p> <p><i>Poa annua</i> <i>Poa bulbosa</i> <i>Lolium rigidum</i></p> | <p>LEGUMINOSAS</p> <p><i>Medicago sativa</i> <i>Onobrychis sativa</i> <i>Trifolium repens</i> <i>Lotus corniculatus</i></p> <p>GRAMÍNEAS</p> <p><i>Agropyron repens</i> <i>Agrostis stolonifera</i> <i>Dactylis hispanica</i> <i>Cynodon dactylon</i> <i>Brachypodium retusum</i> <i>Avena sterilis</i></p> | <p><i>Daphne gnidium</i> <i>Lycium itricatum</i> <i>Opuntia máxima</i> <i>Cytisus scoparius</i> <i>Genista scorpius</i> <i>Ononis atrix</i> <i>Erinacea anthyllis</i> <i>Colutea arborescens</i> <i>Clematis vitalva</i> <i>Rosa micrantha</i> <i>Crataegus laciniata</i> <i>Ephedra fragilis</i> <i>Anelanchier ovalis</i> <i>Lavandula latifolia</i> <i>Salvia labandulifolia</i> <i>Hedera helix</i> <i>Berberis vulgaris</i> <i>Rosmarinus officinalis</i> <i>Rubus ulmifolius</i> <i>Rosa canina</i> <i>Asparagus albus</i> <i>Rhamnus alaternus</i> <i>Rhamnus lycioides</i> <i>Rhamnus myrtifolius</i> <i>Pistacia terebinthus</i> <i>Salix purpurea</i> <i>Salix atrocinerea</i> <i>Viburnum tinus</i></p> | <p><i>Juniperus oxycedrus</i> <i>Juniperus phoenicea</i> <i>Juniperus thurifera</i> <i>Pinus halepensis</i> <i>Pinus clusiana</i> <i>Pinus pinaster</i> <i>Pinus nigra</i> <i>Quercus rotundifolia</i> <i>Acer granatense</i> <i>Acer monspessulanum</i> <i>Arbutus unedo</i> <i>Juglans regia</i> <i>Fraxinus angustifolia</i> <i>Populus alba</i> <i>Populus nigra</i></p> |

6.3. MATERIAL VEGETAL

Como ya se ha comentado, es recomendable hacer uso de plantas criadas en vivero o semillas de carácter comercial. Lo ideal es que las plantas procedan de viveros situados en áreas con condiciones ecológicas similares a las de las zonas de estudio. Evidentemente, habrán de cumplir con todos los requisitos normalmente exigidos de calidad, en especial en lo que se refiere a conformación y desarrollo del sistema radicular. Sobre especificaciones de calidad puede seguirse como guía la Norma Tecnológica de Jardinería y Paisajismo (NTJ 07V), relativa a la calidad del suministro de plantas autóctonas para revegetación, que edita en Colegio de Ingenieros Técnicos Agrícolas y peritos Agrícolas de Cataluña.

En las áreas en las que no se realicen intensas mejoras del sustrato, las condiciones de crecimiento serán muy duras, por lo que será recomendable utilizar planta más pequeña (de una savia) y mayor cantidad.

Por el contrario, en las zonas donde se hayan realizado aportes de suelo con enmienda orgánica en espesores importantes puede plantearse el empleo de planta de mayor porte y edad. Este será el caso también de las posibles pantallas visuales, en las que interesará crear un muro de tierra y vegetación del máximo porte y densidad en el menor tiempo posible.

6.4. TRATAMIENTOS DE REVEGETACIÓN

Básicamente se pueden realizar dos tipos de tratamientos encaminados a la introducción de la vegetación y que, a su vez, están condicionados por las prácticas de manejo de los materiales que van a servir de sustrato, de las condiciones topográficas o de accesibilidad y de si se trata, tal y como se ha venido planteando, de un tipo de vegetación temporal, de carácter herbáceo, o definitiva, de carácter arbustivo y arbóreo. Estos tratamientos son la siembra (e hidrosiembra) y la plantación.

La siembra consiste en distribuir las semillas de forma lo más homogénea posible sobre la superficie del suelo y, ocasionalmente, recubrirla con un material de recebo que facilite su instalación. La hidrosiembra consiste en distribuir, de forma uniforme sobre el terreno, las semillas a implantar, en suspensión o en disolución acuosa y mezclada con otros materiales que ayudan a su implantación. La siembra, lógicamente, requiere un medio apropiado a la germinación, poroso y no compacto, que preserve humedad a la vez que permita la aireación. Cuanto más regular sea la distribución de la semilla en el espacio, más uniforme será la formación vegetal introducida.

La hidrosiembra es un método que proporciona ayuda para depositar la semilla en la dosis adecuada sobre la superficie a revegetar y aporta elementos que mejoran el ambiente de germinación de las semillas. Sin embargo, por mucho que los aditivos de la hidrosiembra faciliten la implantación de las especies cuyas semillas son aportadas, no deja de ser un sofisticado método de siembra sobre superficies poco accesibles, sin necesidad de pasar por encima de las mismas, es decir, no proporciona un sustituto del suelo.

Como se ha ido exponiendo, puede ser siempre útil sembrar pratenses para proteger superficies contra la erosión, mejorar las propiedades del suelo, reducir temporalmente el impacto visual o mantener en vivo las propiedades de la tierra vegetal. Una mezcla

polivalente de semillas, que puede ser empleada siempre que se considere necesario instaurar una formación herbácea como paso previo a la posterior plantación de plantas autóctonas arbustivas y arbóreas, debe ser elegida según los siguientes criterios:

- Diversidad, para buscar amplia adaptación dentro de las condiciones propias de la zona
- Equilibrio entre gramíneas y leguminosas
- Rusticidad en términos generales
- Presencia habitual en el mercado
- Rapidez de implantación
- Capacidad para ser utilizada en siembra convencional o hidrosiembra.

Un tipo de dosis de siembra para su empleo más o menos generalizado en todas las zonas podría quedar constituida como sigue (para una hectárea): *Agrostis stolonifera* (15 kg), *Dactylis glomerata* (15 kg), *Cynodon dactylon* (15 kg), *Lolium rigidum* (20 kg), *Vicia monanthos* (20 kg), *Lathyrus aphaca* (25 kg) y *Lotus corniculatus* (15 kg).

Además de estas, entre todas las plantas leñosas que fueron enumeradas en puntos anteriores, aquellas de menor porte y de menor efecto sobre el paisaje pueden ser también propagadas por el método de siembra y repartidas aleatoriamente en las zonas destinadas a plantaciones como elementos intercalares, o incluidas entre las especies herbáceas en las mezclas de hidrosiembra a emplear. Entre ellas pueden destacarse las especies *Coronilla juncea* o *Anthyllis cytisoides*.

Sobre los frentes puede ser recomendable el empleo de hidrosiembra. La hidrosiembra es un procedimiento especialmente adecuado para el tratamiento de grandes superficies y para la siembra en taludes de fuertes pendientes o de acceso difícil donde otros medios de operación directa resultan menos eficaces. Consiste en distribuir una mezcla acuosa que porta en suspensión o solución las semillas, junto a fertilizantes, estabilizadores de suelo, aditivos especiales y mulch. La hidrosiembra puede realizarse a través del cañón de una hidrosebradora, si es posible el acceso hasta un punto que domine toda la superficie de trabajo, o en caso contrario, por medio de una o varias mangueras enchufadas al cañón dirigidas a pie por un operario. La distancia entre la boca del cañón (o de la manguera) y la superficie a tratar es función de la potencia de expulsión de la bomba, y puede oscilar entre

los 20 y 50 metros. Sería preferible realizar la distribución del caldo de hidrosiembra sobre las superficies de las bermas donde se han realizado aportes de tierras mediante mangueras controladas por un operario. Esto permitiría que, siempre a juicio del mismo, este decida extenderse fuera de las superficies recubiertas a puntos de las caras de banco que por su aspecto —acumulaciones de derrubios, bolsadas de tierra roja, etc.— ofrezcan alguna posibilidad a la fijación y germinación de las semillas. La idea es que, aún cuando las condiciones edáficas son muy adversas, es posible encontrar situaciones puntuales que para especies de bajo nivel de exigencia o alta rusticidad posibiliten la colonización. Acompañando a la hidrosiembra sobre frentes pueden aportarse compuestos que proporcionan un envejecimiento acelerado de las caras de banco.

Es necesario advertir que, cuando se tiene planteado llevar a cabo plantaciones, éstas se hagan pasado un año de crecimiento de las pratenses en las áreas sembradas e hidrosembadas. De este modo se podrá realizar un mantenimiento de las siembras en las épocas secas, fundamentalmente algún riego ligero con la misma hidrosembadora, además de que así puede mantenerse el terreno más protegido y se producirá una mejora de las características físicas y químicas. Esto obliga a mantener la accesibilidad a todas las bermas, por lo menos hasta que pueda comprobarse que las plantaciones han tenido éxito y el sistema evoluciona favorablemente.

Con la plantación se busca la introducción de las especies leñosas que finalmente caracterizarán el paisaje futuro de la zona, aunque se realizarán en áreas que pueden estar ya cubiertas de vegetación herbácea. En esencia, salvo por las dificultades de acceso y transporte del material a todos los puntos de plantación, no difieren de una plantación normal con apertura de hoyos individuales en los que pueden introducirse mejoras edáficas y plantas en cepellón, pot o a raíz desnuda.

La plantación, que sólo puede ser realizada en zonas llanas o culminantes (bermas, plataformas, plazas de cantera, cordones para minimizar el impacto visual), se debe regir siempre por el mismo principio, esto es: crear un medio favorable suficiente para el desarrollo de los primeros dos o tres años mediante la apertura de un hoyo de dimensiones generosas en relación con el tamaño de la planta. Después se debe confiar en la extensión del sistema radicular fuera de los límites del hoyo y en la capacidad de la especie para sobrevivir.

La distribución de las diferentes especies, aparte de las exigencias diferenciales de las mismas, se debe regir por la máxima naturalidad posible, con creación ocasional de pequeños agrupamientos o alineamientos, pero haciendo que predomine la ausencia de diseño geométrico. Los pinos deberán tener preferencia en las bermas de los frentes y las especies leguminosas deberán predominar en número, con presencia dominante en todas las superficies.

En general, conviene que las labores de plantación sean manuales y realizadas cuidadosamente por personal experimentado, aunque puede interesar la participación de una pequeña retroexcavadora para las labores de apertura de los hoyos. También debe acompañar a las cuadrillas de plantación un camión cisterna o una hidrosebradora para las áreas más inaccesibles, de tal modo que pueda realizarse un riego de plantación, el cual deberá repetirse pasados unos días si no llueve.

Una posibilidad para aumentar el tamaño de los plantones es adquirirlos un año o dos antes de que se disponga de espacio suficiente para efectuar una operación de plantación, o mientras se mantiene una formación herbácea sobre una superficie destinada a ser plantada. Las plantas, que pueden ser adquiridas en la estación fría con la raíz desnuda o con cepellón si son coníferas, logran ser mantenidas durante ese tiempo siendo plantadas en el interior de capazos medianos de esparto que son rellenados sin llegar al borde con la misma tierra que después las rodeará en el terreno. En el momento de realizar la plantación definitiva, el hoyo recibe el conjunto total de capazo con tierra y plantón ya bien enraizado y algo más crecido. Si se planta en pendiente, se puede dejar sobresalir en la parte de aguas abajo el reborde del capazo, con lo que se consigue de paso instalar un pequeño dique antierosión. El conjunto de todos los capazos con sus plantas puede ser mantenido al aire libre o algo protegidos, y pueden recibir riegos siempre que se considere necesario, aunque desde el principio debe buscarse el máximo de adaptación a las condiciones locales de la explotación. Faltaría conocer con certeza el tiempo que pueden ser mantenidos los capazos con tierra y planta sin deshacerse o romperse, pues lo que interesa al final es trasplantar el conjunto. Una vez en el terreno, la descomposición del capazo no supone ningún inconveniente, si no más bien todo lo contrario, pues facilitará la extensión del sistema radicular e incorporará más materia orgánica.

6.5. RIEGOS

Al margen de los riegos ligados a siembras o plantaciones puede ser interesante proporcionar algunos riegos de apoyo en los periodos más secos. Las dotaciones de los riegos serán tales que no se produzcan escorrentías apreciables, en todo caso se han de evitar el desplazamiento superficial de las semillas y materiales, así como el descalzamiento de plantas jóvenes. La cantidad de agua necesaria puede oscilar entre cuarenta (30) y cincuenta (50) metros cúbicos por hectárea y riego. El número de riegos será tal que garantizando el éxito de la siembra no cree unas condiciones de exigencia en las especies que no van a poder ser proporcionadas en la conservación. Ha de tenerse en cuenta que se pretende solo mantener las plantas vivas y obligarles a generar un sistema radicular que les permita soportar las condiciones climáticas naturales.

Cabe plantearse, incluso, la instalación de sistemas de riego por goteo, dado el gran desarrollo y práctica que existe en toda la Región de Murcia.

6.6. ALGUNOS MODELOS PROPUESTOS PARA LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA Y PAISAJÍSTICA

Con todo lo visto hasta aquí, se pueden proponer algunos esquema generales de tratamientos de integración para los diferentes tipos de superficies que pueden estar presentes en las futuras explotaciones de roca ornamental en la Región de Murcia.

Conviene remarcar que sería conveniente que todas las recomendaciones hechas hasta aquí y las que se van a proponer en adelante fueran objeto de ensayo y experimentación hasta adquirir una experiencia general sobre métodos de rehabilitación que actualmente no se tiene. Las condiciones puntuales dentro de una explotación pueden ser tan determinantes que la aplicación de cualquiera de las recomendaciones hechas o de un conjunto de ellas adquiere, en cualquier caso, un carácter de experimento a pequeña escala.

- Conjunto de talud de banco y berma inferior en zona culminante

Supongamos que se dispone de una longitud de banco suficiente para iniciar labores de recuperación. La superficie de aproximación a dicha cara de banco es de cinco metros

medidos desde el pie de dicho talud hasta la coronación del banco inferior. La altura máxima del mismo es de 10 m. El aspecto superficial es el típico que deja el arranque con barrenos. Desde un extremo es posible el acceso a pie hasta la coronación del talud. La época es a finales del mes de agosto. Existe la posibilidad de trabajar hasta la primavera del año siguiente. Quedará una rampa de acceso para poder realizar plantaciones durante el otoño del siguiente año.

Si la zona es visible, interesará maximizar en lo posible el crecimiento sobre la futura berma de especies cuyo porte permita ocultar la mayor superficie posible de talud, además de intentar un recubrimiento vegetal del mismo. Si la zona afectada poseía una alta cobertura y diversidad vegetal interesará maximizar la densidad y la diversidad de las especies a plantar al año siguiente.

Las operaciones a realizar pueden seguir el siguiente esquema:

1. Aporte sobre la berma de un espesor medio de 70 cm de tierra vegetal y creación de diversos montones de tierra apoyados sobre el talud.
 2. Hidrosiembra con componentes especiales (acondicionadores de suelo, abono N-P-K soluble) y mezcla poliespecífica de herbáceas, a las que se añaden semillas de plantas subarborescentes, mojando toda la berma y puntos favorables del talud.
 3. Tapado con paja troceada o red orgánica
 4. En otoño del siguiente año, plantación de especies diversas de matorral y pino carrasco incluyendo plantas trepadoras en las bandas interna y externa de la berma.
- Berma de gran anchura situada a media altura de un frente y talud de banco inmediatamente superior

Suponemos que sobre la berma no van a existir nunca problemas de accesibilidad, por lo que la intensidad de las medidas puede reducirse para, si fuera necesario, tomar medidas de corrección posteriores. Sobre el talud se adoptarán las mismas medidas que se describieron en el caso anterior. Las diferentes operaciones se pueden planificar en el

tiempo de tal modo que las siembras puedan ser realizadas en otoño. La secuencia en este caso quedaría como sigue:

1. Aporte sobre toda la superficie de la berma de un espesor medio de 40 cm de tierra vegetal y creación de diversos montones de tierra apoyados sobre el talud con pendiente suave.
 2. Aporte de enmienda orgánica en la superficie de la berma.
 3. Pase de arado de discos sobre toda la superficie practicable de la berma.
 4. Pases de cultivador para preparación de cama de siembra
 5. Siembra primaveral de veza-avena sobre la berma
 6. En otoño del siguiente año, plantación de especies diversas de matorral y pino carrasco incluyendo plantas trepadoras en las bandas interna y externa de la berma.
- Gran superficie sensiblemente llana en plataforma o plaza de cantera

Se supone que existe una plataforma situada en la base de un frente cuya extensión permite plantear la subdivisión de la misma en parcelas con vistas al ensayo de diferentes soluciones.

En una de ellas puede ser aplicada la secuencia del caso anterior, en la que se plantean una serie de mejoras sucesivas e uniformemente repartidas sobre toda la superficie que terminan con la siembra de vegetación herbácea. Esta secuencia puede plantearse incluso para su utilización en fajas sensiblemente perpendiculares a las posibles líneas de flujo de la escorrentía superficial (si las hubiere).

El hecho de que la superficie de estas vaya a ser muy llana o, en todo caso, con ligeras caídas, permite que pueda ser fácilmente controlada la escorrentía superficial que pudiera generarse en eventos de precipitación de mucha intensidad. Este hecho supone además

que puedan admitirse tratamientos de integración paisajística más localizados, es decir, que puede economizarse al no aplicar mejoras extendidas a toda la superficie.

A continuación se describen dos tipos de secuencias que pudieran ensayarse en alguna de las parcelas.

Secuencia para plantaciones lineales en combinación con plantaciones puntuales dejando un porcentaje de la superficie sin tratar:

1. Ejecución de voladuras en cráter distribuidas aleatoriamente sobre parcela.
2. Escarbado y ahuecado manual sobre cráteres, mezcla con tierra vegetal y trasplante de capazos con planta incluida (árboles y/o arbustos). Relleno y refinado del hoyo. El material sobrante de la excavación debe colocarse hacia la posición de aguas abajo cuando exista caída, aunque sea leve, a la vez que se abre o alisa la superficie de aproximación al punto de plantación desde las posiciones situadas aguas arriba.
3. Riego generoso con cuba y manguera dirigido a los hoyos de plantación.

Secuencia que contempla la colocación aleatoria de montones de tierra vegetal de espesor y forma irregular. De este modo se generaría una variabilidad superficial del espesor de tierra (desde cero hasta la máxima altura del montón) que puede tener como reflejo en el futuro una interesante variabilidad en la tipología y porte de la vegetación establecida. La secuencia sería:

1. Construcción de montones irregulares de tierra vegetal. La distribución superficial de los diferentes apilamientos debe conseguir que sean interceptadas, por lo menos en un punto, todas las posibles líneas de flujo superficial de la parcela. La posible existencia de bloques rotos, abandonados, o fragmentos rocosos puede emplearse, previa colocación empujando con palas, para ganar altura en los amontonamientos
2. Creación de caballones de poca altura empleando fragmentos rocosos o piedras sueltas seleccionadas, dibujando la línea de contorno de aguas abajo de cada montón, con objeto de retener los posibles sedimentos originados en los apilamientos de tierra

3. Plantación densa de árboles y arbustos sobre las superficies que han recibido tierra vegetal, colocando plantas de mayores exigencias en las zonas centrales de los montones o donde se intuya que existe mayor espesor de tierra.

- Pantalla vegetal en márgenes externos de pistas comunes

En los márgenes externos de pistas de uso común de nueva creación puede aprovecharse el material excavado sobrante para la creación de montones alineados con la pista. La tierra vegetal excavada durante las labores de apertura de la pista se debe utilizar para recubrirlos, lo que requiere una cierta planificación en las operaciones de movimiento de tierras. Sobre dichos montones será conveniente abrir hoyos de plantación en los que se aportará tierra, si se considera necesario, y mejoras orgánicas, con vistas a la plantación de árboles (pinos, algarrobos, encinas, acebuches, etc.) y arbustos de gran densidad (retamas, coscojas, espinos, etc.). Puede consultarse la **tabla 6.1.** para realizar la selección de especies. El resto de la superficie puede ser sembrado con plantas herbáceas y subarborescentes y tapado con mulch de paja o red orgánica.

- Gran escombrera que da servicio a varias explotaciones

Se supone que se va a seguir una secuencia constructiva semejante a la que se esquematiza en las **figuras 6.1 a 6.4.**

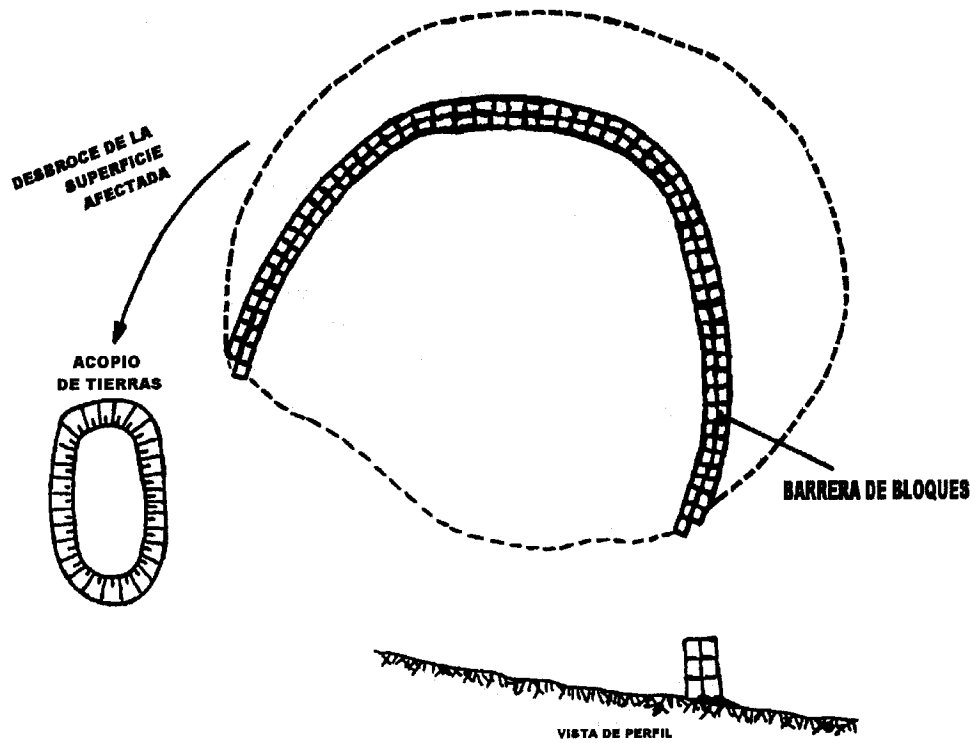


Figura 6.1. Replanteo de la operación de desbroce, arranque de suelo en la superficie a afectar, acopio de tierras y construcción de muro de bloques en área de vertido de estériles

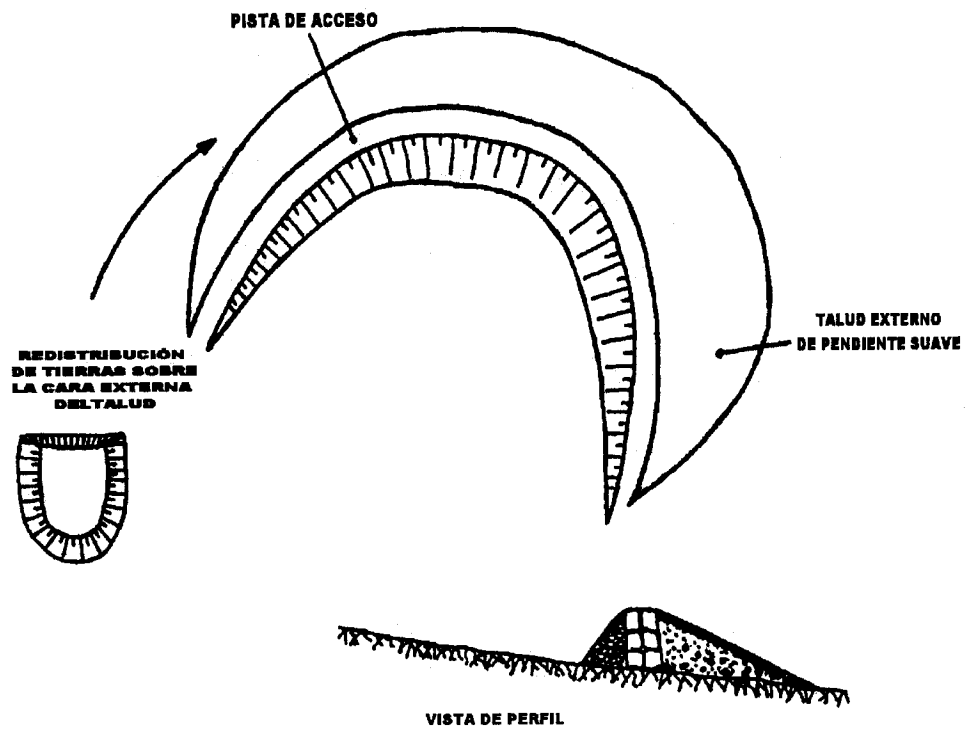


Figura 6.2. Construcción y preparación del talud exterior de la escombrera. Inicio del vertido interior

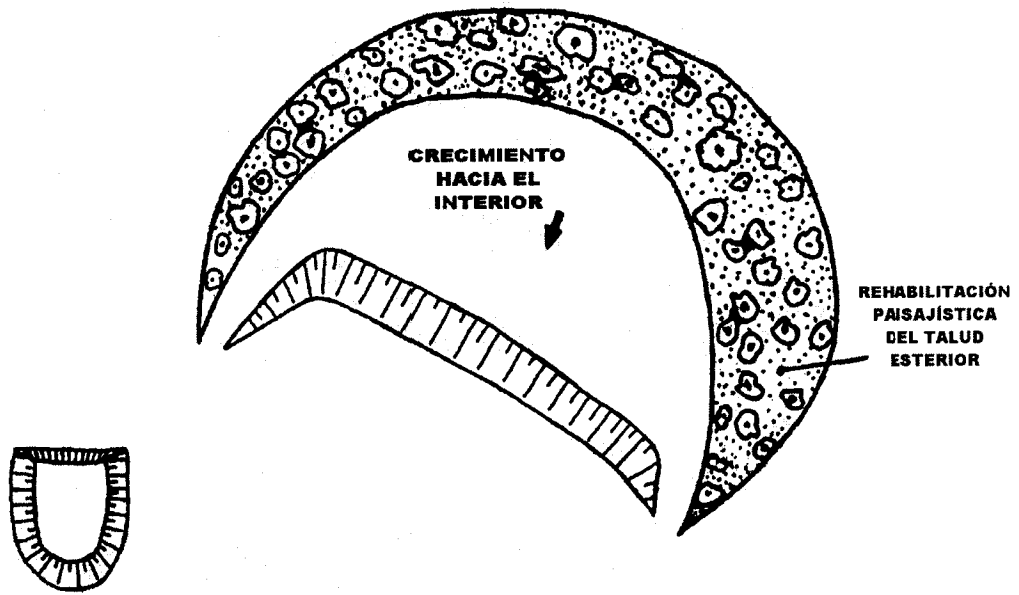


Figura 6.3. Crecimiento de la escombrera hacia el interior y revegetación del talud exterior

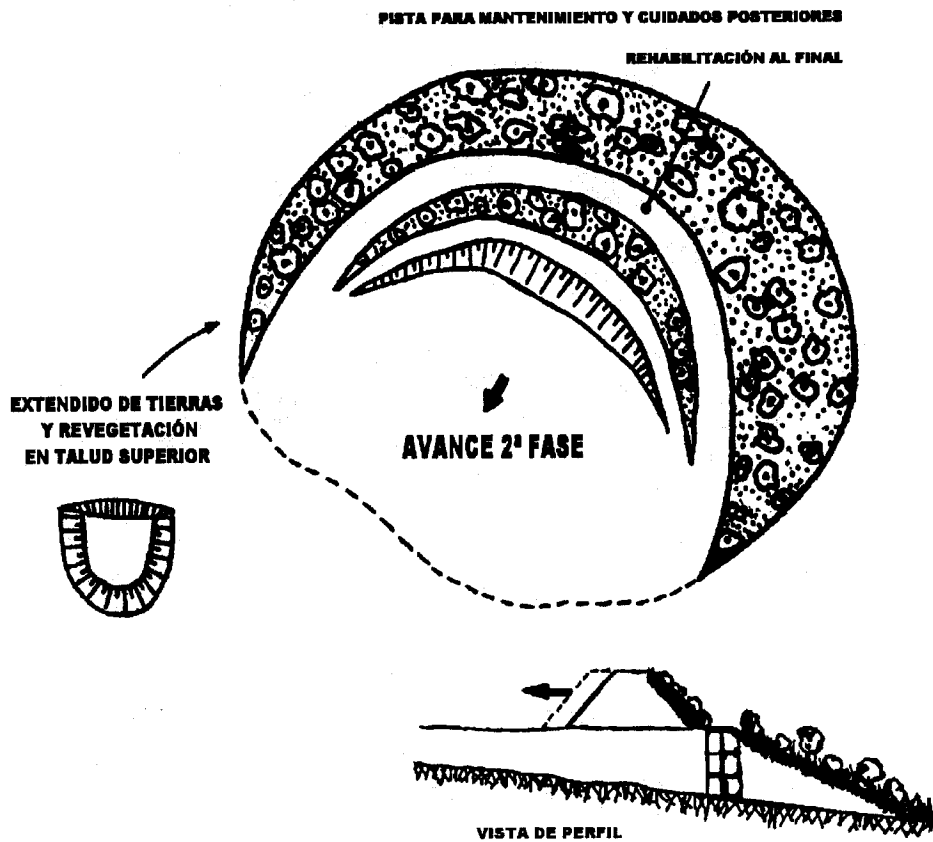


Figura 6.4. Repetición de la secuencia de operaciones en una segunda fase

Se considera que puede ser interesante construir el talud exterior con pendiente inferior al 30 % (aproximadamente 18°). En tal caso, la preparación del terreno para plantaciones se puede y se debe mecanizar (TRAGSA, 1999). Las labores más comunes que se pueden realizar son las siguientes:

- a) Laboreos ligeros: Consiste en la preparación del suelo mediante técnicas agrícolas. Se realizan en suelos con una profundidad mínima de 40 cm, y escasa pendiente (< 20%). Esta es una preparación lineal o areal y produce mezcla en las capas de suelo edáficos. Estas labores se realizan normalmente siguiendo curvas de nivel.

- b) Acaballonado, es un proceso lineal, que no se puede realizar en pendientes superiores al 20 – 25%, necesita que el suelo sea disgregable o haya sido roto por un subsolado si el suelo quedó muy compactado, lo que además de romper el suelo, mezcla horizontes. Los acaballonados se realizan según curvas de nivel y tienen la ventaja, que además de dejar mullido el suelo, recogen la posible escorrentía existente. El llamado acaballonado superficial, consiste en la formación de caballón siguiendo curvas de nivel con la hoja de bulldozer, al clavar esta ligeramente con la pala en anglozozer. Posteriormente entre caballones se debe realizar un subsolado para facilitar el desarrollo de las raíces y la infiltración de la escorrentía.

La preparación del suelo con pendientes comprendidas entre 30 – 60% ha de ser diferente —pendientes superiores han de considerarse excesivas—, siendo preferibles las denominadas labores puntuales (hoyos, casillas o banquetas) que pueden ser complementarias y posteriores a una cubrición areal con mulches o redes orgánicas, y siembras o hidrosiembras. Estos trabajos normalmente se realizan “a mano” y empleando las herramientas habituales, como el pico, azada, plantamón, etc., si bien paulatinamente se empiezan a mecanizar, empleando “picos mecánicos”, motozadas, retroexcavadoras, etc. Asociadas a estas preparaciones es conveniente mencionar la realización de microcuencas, que consisten en manejar una superficie como cuenca recolectora de la escorrentía, de forma de ésta se conduzca a la zona de plantación, que

es la base de la microcuenca, donde se almacenan y queda a disposición de la planta. La microcuenca forma mediante unos caballones o regueros de forma que éstos conducen el agua hacia la banqueta o el hoyo.

- Casillas o rapas: Consisten en la remoción del terreno, sin extracción de la tierra, ni mezcla de horizontes, con forma circular o cuadrangular y de 40 cm de diámetro o 40 x 40 cm. La profundidad de trabajo va de 10 a 30 cm (raspada o picada) y las herramientas tradicionalmente utilizadas son el pico o el plantamón.

- Hoyos: Consiste en la extracción de una porción de tierra, para instalar en ellos las plantas. Normalmente tienen una dimensión de 40 x 40 cm en la base superior y una profundidad de 30 y 40 cm según la profundidad del suelo. Se suelen realizar el tresbolillo de forma que el agua que escurra siempre sea recogida en algún hoyo, aunque a veces se realizan “donde se puede”, debido a los afloramientos de rocas. La herramienta usual empleada para la realización de hoyos son el pico y la azada. Últimamente se están empezando a utilizar “picos mecánicos” eléctricos, accionados por un generador, ahoyadoras de barrena helicoidal, accionadas por motores de dos tiempos (en terrenos no pedregosos) o por la toma de fuerza del tractor, y también retroexcavadoras, (orugas o “araña”) que se desplazan siguiendo líneas de máxima pendiente.

- Banquetas: Consiste en la formación de pequeños bancales con ligera contrapendiente de 1 a 3 m de largo y 1 m de ancho, de los que 0’5 m corresponden a desmonte y otros 0’5 a terraplén, realizando una ligera inversión de horizontes. Esta es una labor muy típica en laderas forestales del Sureste de España y se está empezando a realizar en otras zonas. Tradicionalmente se realiza a mano (con pico), pero en estos momentos se emplean “picos mecánicos”, mulos mecánicos, retroexcavadoras, etc.

BIBLIOGRAFÍA

Alcañiz, J. M., L. Comellas, M. Pujolá. 1996. *Manual de restauració d'activitats extractives amb fangs de depuradora. Recuperació de terrenys marginals*. Junta de Sanejament, Generalitat de Catalunya, 69 p.

Alcañiz, J. M., L. Comellas, M. Pujolá, E. Serra Rodríguez. 1998. Utilización de lodos de depuración en la rehabilitación de suelos de canteras. *Rev. Ingeopres*, nº 59, pp. 28-34.

Alcaraz Ariza, F., M. Botías Pelegrín, R. García Ruiz, S. Ríos Ruiz, D. Rivera Núñez y A. Robledo Miras. 1998. *Flora básica de la Región de Murcia*. Sociedad Cooperativa de Enseñanza Severo Ochoa. 252 p.

Alcaraz Ariza, F., J. López Bernal, A. González Garnés y M. Clemente Díaz. 2004. *Memoria de los mapas de vegetación actual y potencial de las zonas de interés para la explotación de roca ornamental en la Región de Murcia*. Inédito. 167 p.

Arranz González, J. C. 1997. Posibilidades de rehabilitación paisajística de zonas mineras en la zona atlántica. En: Libro de ponencias del II Congreso Nacional de Ingeniería del Paisaje. Asociación Española de Ingeniería del Paisaje (ed.). pp: 147-154.

Arranz, J. C. 2002. *Medio ambiente y actividades mineras a cielo abierto. Restauración de espacios degradados por minería a cielo abierto*. Memorias del XXI Curso Internacional de Postgrado en Metalogenia. ISPFIGEMPA, Universidad Central del Ecuador. pp.1-26.

Arranz González, J. C. 2004. *Propiedades, Clasificación y Evaluación de Suelos Mineros. Implicaciones sobre la Ordenación y Gestión de Terrenos Alterados por Minería*. Tesis Doctoral. ETSIA de Madrid. 470 p.

Arranz González, J. C. 2004. Alteración de la cobertura de suelos por la explotación de rocas industriales en Camargo (Cantabria). *Tecnología@ y Desarrollo*, Vol. 2, 22 p. ISSN: 1696-8085. http://www.uax.es/publicaciones/archivos/TECMAD04_006.pdf

Borst, H. L. and R. Woodburn. 1942. The effect of mulching and methods of cultivation on runoff and erosion from Muskingum silt loam. *Agric. Engr.*, 23: 19-22.

Brooker, R. W. and T. V. Callaghan. 1998. The balance between positive and negative interactions and its relationship to environmental gradients: a model. *Oikos*, 81:196-207.

Callaway, R. M. 1995. Positive interactions among plants. *Botanical Review*, 61: 306-349.

Callaway, R. M. and L. R. Walker. 1997. Competition and facilitation: a synthetic approach to interactions in plant communities. *Ecology*, 78: 1958-1965.

Casa Prosper, B. 2005. Rehabilitación de taludes. Hidrosiembras y soportes. En: J. F. Ballester-Olmos y Anguís (ed.). *Proyectos de Regeneración del Paisaje*. Escuela Técnica Superior del Medio Rural y Enología. Universidad Politécnica de Valencia.

Castro, J., R. Zamora, J. A. Hódar & J. M. Gómez. 2002. Use of Shrubs as Nurse Plants: A New Technique for Reforestation in Mediterranean Mountains. *Restoration Ecology*, vol. 10, No. 2. pp. 297-305.

Coppin, N.J. and A.D. Bradshaw. 1982. *Quarry Reclamation*. Mining Journal Books Ltd. London. England.

Daniels, W. L. and K. C. Haering. 2000. *Protocols for Use of Biosolids and Co-Amendments for Mined Land Reclamation*. In: Proceedings of Symposium on Mining, Forest and Land Restoration: The Successful Use of Residuals/Biosolids/Organic Matter for Reclamation Activities. Rocky Mountain Water Environment Association, Denver, CO.

Epstein, E. 1980. Impact and Possibilities of the Use of Sludge and Sludge Compost in Agriculture. In: Banin, A. and Kafkafi, U. (eds.). *AGROCHEMICAL IN SOILS*. ISSS-IIIC. Pergamon Press. pp. 415-423.

EUROPEAN COMMISSION. 2000. *Working Document on Sludge*, 3RD Draft. Brussels, 28 april, 2000. ENV.E.3/LM. 19 p.

García-Camarero, J., C. M. Martí, D. López-García, E. Sanchís y F. Ingelmo. 1998. Morfología y desarrollo de diez especies mediterráneas resistentes a la sequía y de uso pascícola, ornamental y aromático. En: Actas del III Congreso de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica. Valencia, sep. 1998. pp. 343-356.

Gómez-Aparicio, L. R. Zamora, J. M. Gómez, J. A. Hódar, J. Castro, and E. Baraza. 2004. Applying plant facilitation to forest restoration: a meta-analysis of the use of shrubs as nurse plants. *Ecological Applications*, 14(4): 1128-1138.

Harding, M. V. 1990. Erosión Control effectiveness: Comparative Studies of Alternative Mulching Techniques. In: John J. Berger (ed.). *ENVIRONMENTAL RESTORATION. Science and strategies for Restoring the Earth*. Island Press. Washington, D. C. pp. 149-156.

ITGE. 1989. *Manual de restauración de terrenos y evaluación de impactos ambientales en minería*. Serie Ingeniería Geoambiental. 321 p.

ITGE. 1994. *Manual de perforación y voladura de rocas*. Serie Tecnología y Seguridad Minera. Madrid. 541 p.

Lattauzi, A. R., L. D. Meyer and M. F. Baumgardner. 1974. Influence of mulch rate and slope steepness on interrill erosion. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, 38: 946-950.

Lyle Jr., E. S. 1987. *Surface Mine Reclamation Manual*. Elsevier Science Publishing Co., Inc. New York. 268 p.

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. 1974. *Rehabilitation potential of western coal lands*. Ballinger Pool. CO, Cambridge, Mass. 184 p.

Navarro Pedreño, Moral Herrero, Gómez Lucas y Mataix Beneyto. 1995. *Residuos orgánicos y agricultura*. Servicio de Publicaciones Universidad de Alicante. 108 p.

Navarro, A. , E. Correal and A. Robledo. 1996. The esparto fibre (*Stipa tenacissima*) in the manufacturing of organic tissúes to favour the stablishment of vegetal covers. Lecture Book of First European Conference and Trade Exposition of Erosion Control. IECA. pp. 21-28.

Miranda, J. D., F. M. Padilla y F. I. Pugnaire. 2004. Sucesión y restauración en ambientes semiáridos. *Ecosistemas* 2004/1
(URL: <http://www.aet.org/ecosistemas/041/investigacion4.htm>).

Ordóñez, S. 1997. *Aprovechamiento de los vertidos de la industria de la roca ornamental*. Actas de la I Conferencia Internacional celebrada en el marco del I Salón del Agua y Medio Ambiente, 24-26 Sep. 1997. Institución Ferial de Alicante.

Ramsay, W. J. H. 1986. Bulk soil handling for quarry restoration. *Soil Use and Management*, 2(1): 30-38.

RMC Group. 1987. *A Practical Guide to Restoration*. RMC Group. RMC House. Middlesex, England.

Samos Hernández, J. M. y E. L. Calabuig. 1993. Uso de residuos industriales en la rehabilitación de escombreras. *Rev. Ingeopres*, 9: 50-57.

Siguero Llorente, P. L. 1999. *Manual de reforestación con especies autóctonas*. Sigüero Llorente, P. L. (ed.). Madrid. 223 p.

Slick, B. S. and W. R. Curtis. 1985. *A Guide for the Use of Organic Materials As Mulches in Reclamation of Coal Minesoils in the Eastern United States*. USDA Forest Service, Northeastern Station. General Technical Report NE-98. 145 p.

Sopper, W. E. 1992. Reclamation of mine land using Municipal Sludge. *In: Rattan Lal and B.A. Stewart (ed.). Soil Restoration*. Advances in Soil Science, vol. 17. pp. 351-431.

Stroo, H. F. and E. M. Jencks. 1982. Enzyme activity and respiration in minesoils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46(3): 548-553.

TRAGSA. 1999. *Técnicas de preparación del terreno en la restauración de la vegetación aplicadas en las zonas áridas españolas*. I Jornada Técnica sobre Desertificación. Real Jardín Botánico, Madrid. DGCONA-MIMAN. Inédito.