

6 Desarrollo práctico de la Restauración

Para conseguir con éxito la restauración final, hay ciertos aspectos que hay que considerar a la hora de realizar el proyecto de explotación, como por ejemplo la retirada y ubicación del suelo. Por ello, es importante una buena planificación y establecimiento de fases en los trabajos de restauración.

Previamente a realizar el proyecto de explotación, puede ser interesante acometer estudios de visibilidad de la futura explotación, desde las carreteras y núcleos urbanos próximos, para poder planificar las medidas correctoras oportunas como, por ejemplo, la implantación de pantallas vegetales en la banda perimetral.

También se aconseja consultar estudios de fauna de la zona para poder planificar medidas que faciliten su movilidad y eviten el riesgo de caídas, tanto en la fase de explotación como de restauración final, incluida la construcción de un vallado en el borde de la explotación. Este vallado deberá acompañarse del correspondiente sistema de control de accesos para evitar el depósito clandestino de residuos en el hueco de explotación.

Toda restauración tiene unas operaciones comunes y otras que serán propias del tipo de explotación o del objetivo (uso) final:

OPERACIONES		TIPO RESTAURACIÓN						
		AGRÍCOLA	FORESTAL	RESERVA NATURAL	RESERVA NATURAL (humedal)	RECREATIVO	URBANÍSTICO	INDUSTRIAL
DISEÑO	<ul style="list-style-type: none"> · Geometría y estructura del relleno · Materiales constituyentes y sus especificaciones (rellenos de estériles, núcleos de impermeabilización, filtros, drenes, etc.) · Sistemas u obras de desagüe; dispositivos de drenaje y control de las filtraciones · Necesidades de tratamiento o impermeabilización del sustrato · Sistema de trabajo 							
EJECUCIÓN	Retirada del suelo							
	Acopio del suelo							
	Acondicionamiento de los huecos							
	Relleno de los huecos							
	Gestión del agua							
	Integración paisajística de frentes							
	Acondicionamiento de escombreras							
	Acondicionamiento de balsas							
	Demolición de estructuras y cimentaciones							
	Reconstitución del suelo							
	Creación de lagunas							
	Reposición de la vegetación y, en su caso, de la fauna							
Señalización y cerramiento								
ABANDONO Y CLAUSURA	<ul style="list-style-type: none"> · Mantenimiento y control · Abandono y clausura 							

Sí
 No
 En ocasiones

6.1 El suelo

Una buena gestión del suelo es, generalmente, el elemento más importante de toda restauración. Por tanto, es necesario conocer en profundidad las características del suelo original así como del suelo que se pretende restituir.



Factores que influyen sobre el suelo



Trabajos de preparación del suelo

Los suelos forman la fina capa superficial de la corteza terrestre y proceden de la alteración de las rocas, fenómeno que comprende tanto la desintegración física de éstas como la transformación química de su composición. El clima, el agua y los procesos biológicos donde intervienen las plantas, los animales y los microorganismos juegan un papel decisivo en esta transformación de los suelos.



Corte transversal del suelo

Los suelos están formados por constituyentes minerales y orgánicos, tal y como se recoge a continuación:

TABLA 15**COMPONENTES DE LOS SUELOS**

COMPONENTES MINERALES Y QUÍMICOS		
NOMBRE	CARACTERÍSTICAS	
PIEDRAS Y GRAVAS	Tamaño mayor que 2 mm Aumentan la resistencia del suelo Almacenan el calor Crean poros gruesos suplementarios	Mejoran la aireación Disminuyen la capacidad de retención de agua Dificultan el trabajo del suelo
ARENAS	Tamaño entre 0,05 mm – 2 mm Favorecen la infiltración Mejoran la aireación Disminuyen la capacidad de retención de agua	Aumenta el riesgo de erosión Disminuye la capacidad de almacenamiento de nutrientes Fragiliza la estructura No se mezcla y no forma corteza
LIMOS	Tamaño entre 0,002 mm – 0,05 mm Favorece la retención de agua Disminuye la infiltración Seca con dificultad	Aumenta el riesgo de erosión por viento y agua Se colmata fácilmente No almacena los elementos nutritivos No se mezcla
ARCILLAS	Tamaño menor que 0,002 mm Poseen una capacidad filtrante muy reducida Retienen fácilmente los cationes Adhesivas en húmedo y duras en estado seco	Son el elemento cohesivo de la estructura Disminuyen la infiltración Secan con dificultad
YESOS	Suelos esteparios Presencia de sulfatos asociados con otros minerales evaporíticos Capas interestratificadas con calizas, lutitas y arcillas	Soluble en agua Formación de Karst Vegetación gipsófila de gran valor ecológico
CALIZAS	Presencia de carbonatos Dificultan el trabajo del suelo	Favorecen la circulación o depósito de agua subterránea y otros fluidos
SUELOS PIRÍTICOS	Presencia de sulfuros en suelos formados por rocas sedimentarias Se descomponen en óxidos de hierro y pueden oxidarse a sulfatos de hierro	Acidifican las aguas Dificultan el trabajo del suelo
COMPONENTES ORGÁNICOS		
HUMUS	Partículas orgánicas del suelo, no estructuradas Se forma por el metabolismo de los organismos del suelo La actividad de los organismos del suelo enriquece el humus en las zonas de contacto suelo / aire, estabilizando el sistema poroso	Es un componente biológicamente muy activo Sirve como reservorio de los elementos nutritivos Intervienen en numerosos procesos físico-químicos como la fijación de los metales pesados y de productos fitosanitarios
ORGANISMOS DEL SUELO	Descomponen (mineralizan) el humus continuamente y, a su vez, se transforman en nuevo humus, creando una situación de equilibrio	
LOMBRICES DE TIERRA	Tienen numerosos efectos benéficos sobre la fertilidad del suelo Se nutren de sustancias orgánicas e inorgánicas y las transforman en compuestos de arcilla y humus muy estables	Permiten regenerar la estructura del suelo Favorecen la infiltración del agua de lluvia
MATERIA ORGÁNICA	Es la de nueva aportación	Es el elemento nutriente y energético
OTRAS CARACTERÍSTICAS		
OXÍGENO	Elemento necesario para la mayoría de los organismos presentes en el suelo (aerobios)	Disminuye con la profundidad
AGUA	Elemento fundamental para favorecer los procesos orgánicos	El exceso de humedad frena la descomposición de las sustancias orgánicas por falta de oxígeno
TEMPERATURA	En líneas generales, la rapidez del proceso de transformación biológica crece con la temperatura del suelo hasta un límite donde se frena	La temperatura ideal está entre 20 ⁰ y 35 ⁰ C
ACIDEZ	La actividad de los organismos está ligada a la acidez del suelo (pH) Cualquier alteración del pH modifica el metabolismo de los seres vivos	El más favorable es el pH neutro Los suelos ácidos (pH<5,9) pueden corregirse con aportes de fertilizantes con cal Los suelos básicos se corrigen con fertilizantes de reacción ácida

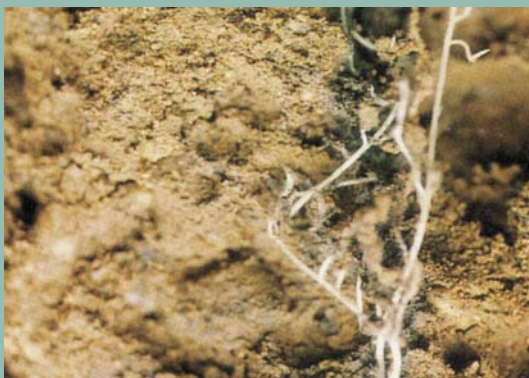
6.1.1 Características de los suelos fértiles

Se entiende por estructura de un suelo la forma con la que se disponen las distintas partículas que lo constituyen.

Un suelo fértil, con una estructura estable, proporciona las siguientes cualidades respecto a otro tipo de suelos de menor valor:

- 🌱 Favorece la aireación.
- 🌱 Facilita el enraizado.
- 🌱 Mejora la absorción de agua y de nutrientes.
- 🌱 Acelera la infiltración del agua de lluvia.
- 🌱 Facilita el trabajo del suelo.
- 🌱 Crea un medio favorable para los organismos vivos.
- 🌱 Refuerza las propiedades positivas de los componentes del suelo.
- 🌱 Limita la erosión.

En términos generales, se puede considerar que un suelo tiene una buena capacidad portante si es capaz de absorber inmediatamente fuertes lluvias. Al mismo tiempo, el suelo ha de poder evacuar a mayor profundidad los excedentes de agua, conservando la necesaria para la vida de las plantas y de los organismos del suelo.



Detalles de suelos

Problemas que afectan a los suelos fértiles

La **degradación** de la estructura del suelo **por paso de vehículos pesados**, por segregación de sus partículas cuando se trabaja la tierra o por otras causas puede reducir sensiblemente la fertilidad del suelo y causar fenómenos erosivos.

En efecto, la **compactación del suelo produce** como efecto la **reducción de su porosidad**, sobre todo en lo que se refiere a los poros gruesos y medios que son los más favorables para el desarrollo de las plantas, ya que contienen aire y agua. La sensibilidad del suelo a la compactación aumenta con su contenido en arcilla y con la humedad.

La presencia de macizos rocosos en suelos reconstituidos de escasa potencia, o de agua estancada colgada sobre niveles impermeables son aspectos que pueden, en el futuro, comprometer un desarrollo adecuado de las plantaciones.

Estos problemas suelen presentarse de forma tardía, lo que hace más importante una correcta reconstitución del suelo.

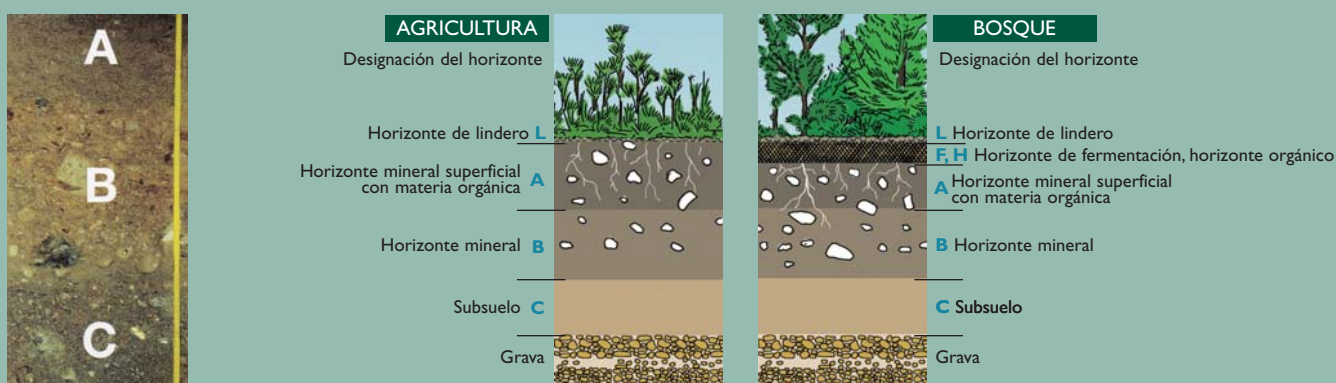
Los suelos se pueden regenerar de forma natural si la alteración no ha sido excesiva, o bien aplicando medidas correctoras como las que se indican en 6.10.

6.1.2 Estructura de un suelo natural

De una forma simplificada, puede dividirse el perfil de un suelo natural en tres capas principales horizontales superpuestas denominadas horizontes:

🌲 **Horizonte A** (Capa superior del suelo o tierra vegetal), contiene raíces, es rico en humus y cuenta con una fuerte actividad biológica. Su color se oscurece al aumentar el contenido en humus. Su espesor varía normalmente entre 5 y 40 cm. Puede dividirse en cuatro partes, ordenadas de menor a mayor profundidad:

- 🌲 Lecho formado por los detritos orgánicos más recientes, no degradados en su mayoría.
- 🌲 Capa de fermentación o descomposición de los detritos orgánicos acumulados durante varios años.
- 🌲 Capa orgánica muy degradada.
- 🌲 Capa mineral superficial rica en humus, donde tienen lugar los principales fenómenos químicos y biológicos.



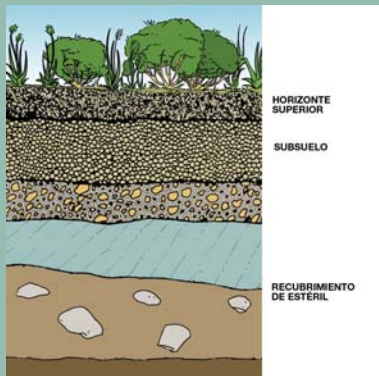
Horizontes del suelo

🌲 **Horizonte B** (Cobertera o capa mineral alterada), situado bajo el horizonte A, presenta signos de alteración, es pobre en humus y su actividad biológica es reducida. Juega un papel importante como zona de enraizado y en el aporte de oxígeno, agua y elementos nutritivos.

🌲 **Horizonte C** (Capa de estéril o roca madre o suelo subyacente), también con signos de alteración, no presenta fenómenos de formación de suelo ni actividad biológica, pero proporciona el material de base para la formación del suelo que la recubre.

🌲 En niveles inferiores se encuentran los estériles, en su caso, antes del depósito explotable.

Antes de iniciar los trabajos, es necesario un estudio edafológico realizado por un especialista que permita determinar las características del suelo existente. Este estudio servirá de base para establecer los parámetros de calidad del suelo a reconstituir, considerando los objetivos previstos en el Plan de Restauración.



Estructura de suelo



Corte transversal del suelo

6.2 Retirada del suelo

La capa de tierra vegetal (horizonte A) y la capa mineral alterada (horizonte B) deben necesariamente retirarse (decaparse) de forma apropiada. Esta reserva temporal de suelos fértiles se deberá emplear en la restauración final. En el caso de que esta reserva no asegure la creación de una capa de, al menos, 25 cm de espesor en la restauración final, deberá preverse una aportación exterior de suelos fértiles.



Zonas de descubierta



Trabajos de retirada del suelo

La correcta manipulación del suelo requiere aplicar, en la medida de lo posible, unas medidas preventivas para conservar sus características iniciales:

- 🌲 En caso de duda sobre la capacidad portante de un suelo, cálculo de la fuerza de succión para prevenir compactaciones excesivas por el peso de los equipos.
- 🌲 Evitar trabajar sobre suelos húmedos ya que los suelos secos tienen unas características portantes más adecuadas para el tránsito de equipos móviles, y se previene la compactación.
- 🌲 Recogida de los vegetales (arbustos, praderas, etc.) del terreno, junto con la capa de tierra vegetal, para que ésta se enriquezca con su materia orgánica.
- 🌲 Adopción de métodos de trabajo en avance para el decapado de la tierra vegetal, de forma que los equipos no circulen sobre ella:
 - 🌲 Retirada por capas: tras retirar las primeras paladas, se coloca la retroexcavadora sobre el horizonte C, desde donde puede retirarse por separado la capa de tierra vegetal (horizonte A) y la cobertera o capa mineral alterada (horizonte B). Esta retirada se realiza alternativamente, en tandas marcadas por el alcance del brazo del equipo.



Retirada de la cubierta con bulldozer y pala cargadora



Retirada en paralelo de los horizontes A y B



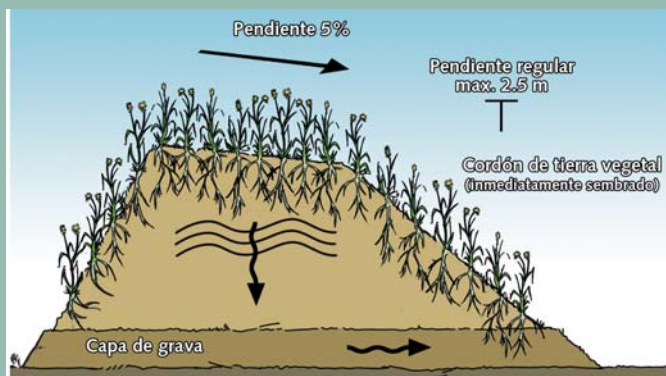
Retirada de los horizontes A y B consecutivamente

6.3 Acopio del suelo

Cada tipo de suelo debe acopiarse por separado para preservar sus características originales. Esta operación es especialmente importante ya que de su éxito dependerá poder disponer de materiales adecuados **para la futura restauración.**

6.3.1 Acopio de la tierra vegetal

Lo ideal es que **el tiempo entre la retirada del suelo y su reconstitución sea el mínimo posible** y, si fuera posible, que se recompusiera directamente en las áreas en restauración. Esto evidentemente no es posible en muchas explotaciones.



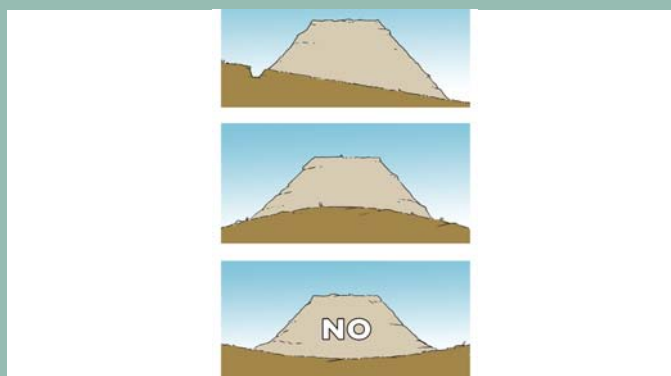
Corte esquemático de un depósito de tierra vegetal colocado sobre un lecho de grava



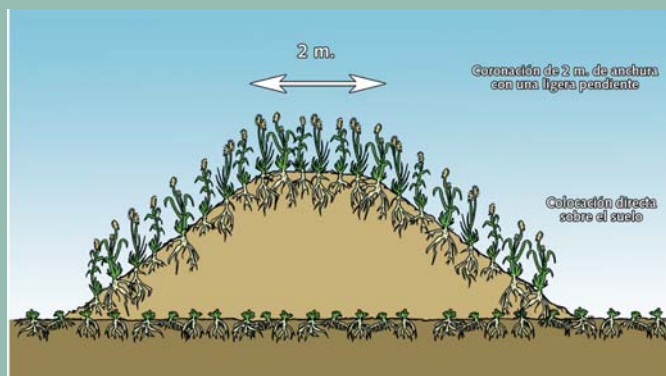
Cordón de tierra vegetal en la parte superior

Por ello, **debe planificarse el acopio en el proyecto de explotación**, considerando el tiempo que habrán de conservarse los suelos antes de su utilización, aplicando los siguientes principios básicos:

- 🌲 Almacenamiento de cada tipo de suelo (horizonte A y horizonte B) por separado.
- 🌲 Colocación en un lugar alejado del tránsito de equipos móviles y prohibición de circular sobre ellos, así como en zonas relativamente llanas para garantizar la estabilidad. Se realizará un acopio selectivo teniendo en cuenta las diferentes características del material.
- 🌲 Deposición de los materiales sin compactación para preservar la actividad biológica y los intercambios gaseosos. Los procedimientos de trabajo y los equipos empleados insistirán en este aspecto, tanto para evitar la compactación en la operación de deposición del suelo como para prevenir que las ruedas o las cadenas de los equipos afecten a las partes inferiores.
- 🌲 Elección de un emplazamiento que tenga cubierta vegetal ya que reduce en cierta medida la compactación y mejora la composición orgánica del suelo.
- 🌲 Conformación del depósito de modo que:
 - 🌲 La pendiente sea de, al menos, el 4 % y que permita la evacuación del agua sobrante en caso de lluvias, por lo que no se realizarán en huecos, sino en zonas de pequeñas pendientes o llanas y, en su caso, se preverá un sistema de drenaje.
 - 🌲 La altura del depósito no sobrepase la profundidad de enraizado, esto es entre 2- 2,5 metros.



Ubicación del depósito de tierra vegetal



Cordón de tierra vegetal. Depósito trapezoidal de altura máxima 2,5 m (contenido en arcilla < 30%), colocado directamente sobre el suelo

Si el periodo de almacenamiento lo permite (más de 6 meses) es muy importante la siembra y el abono anual del acopio con especies que permitan mantener las características biológicas y la aireación del suelo vegetal a lo largo del tiempo. Si se acopia por espacio de más de un año, este proceso se repetirá anualmente.

Estos acopios de tierra vegetal se pueden disponer a modo de caballones en los límites de la autorización de explotación al objeto de impedir el riesgo de caída de altura y el acceso. En este sentido y en lo que se refiere a La Rioja, hay que mencionar que, en general, se suele establecer un límite o distancia de seguridad para las explotaciones a cielo abierto desde los linderos y tierras colindantes.

6.3.2 Acopio de la cobertera o capa mineral alterada (horizonte B) y de los rellenos

Para estos elementos del suelo que tienen un menor valor biológico es necesario tomar menos precauciones que en el caso de la tierra vegetal y no requieren necesariamente mantenimiento, ya que son más pobres en humus y elementos minerales.

Aún así deben acopiarse por separado, previniendo el paso de vehículos y su posible mezcla con otros materiales.



Acopio de tierra vegetal en cordón



Acopio del relleno en escombrera

6.4 Acondicionamiento y relleno del hueco minero

Una vez retirado el suelo, se procede a la extracción del recurso propiamente dicho para la obtención de los áridos.



Extracción del recurso



Relleno del hueco

Tras esta operación y antes del relleno del hueco, es preciso acondicionar el hueco para que la colocación de los materiales pueda realizarse de forma segura para el Medio Ambiente y para las personas, asegurando su estabilidad a lo largo del tiempo.

6.4.1 Integración paisajística del hueco minero

Actualmente el paisaje forma parte del patrimonio cultural y está considerado como un recurso natural más que ha de ser valorado. Por tal motivo es cada vez más importante la exigencia de realizar correctamente la integración paisajística de las áreas explotadas de las explotaciones:

- 🌳 Reutilizando estériles mineros, tierras o materiales inertes adecuados externos con otra procedencia y adaptándose a los perfiles del terreno de construcción y demolición y adaptándose a los perfiles del terreno.
- 🌳 Reproduciendo las formas características del terreno evitando, en la medida de lo posible, introducir elementos que denoten artificialidad (de tamaño desproporcionado, con ángulos y líneas muy marcadas, etc.).

Podría darse el caso de que existiesen varias explotaciones próximas, por lo que podrían reagruparse en una sola, siempre que dicha posibilidad estuviera contemplada en el Plan de Restauración aprobado.

6.4.2 Orientación de frentes y dirección de avance

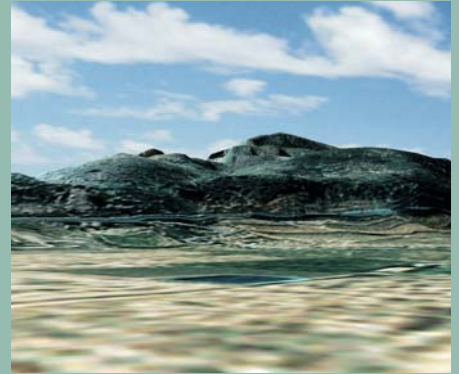
- 🌳 La orientación de los frentes de explotación puede hacer que la parte activa sea poco visible desde zonas de observación. El estudio de visibilidad podrá determinar la orientación menos visible desde las carreteras o núcleos de población próximos.
- 🌳 Un buen diseño permite que la dirección de avance y el punto de apertura faciliten la ocultación del hueco excavado así como su posterior restauración.



Explotación disimulada por el terreno



Voladura



Simulación en 3D del resultado final

6.4.3 Apantallamiento de la explotación

Puede **reducirse la visibilidad de la explotación** creando en las zonas que proponga el estudio de visibilidad:

- 🌲 Una **pantalla visual artificial** con los materiales de excavación o plantando conjuntos de árboles y arbustos, etc., de altura y longitud apropiadas que eviten que la explotación sea visible.
- 🌲 **Conservando alguna zona sin extraer** que permita **ocultar los frentes**.



Apantallamiento con el terreno y revegetación



Pantalla vegetal

6.4.4 Acondicionamiento del hueco como vertedero de residuos

En el caso de que en el Plan de Restauración aprobado se haya contemplado un uso de la explotación clausurada como vertedero de residuos, en función de las características de éstos, puede ser necesario sellar el hueco para evitar infiltraciones, realizando impermeabilizaciones con materiales naturales (arcillas especiales) o artificiales (PVC de alta densidad) y haciendo que los lixiviados se concentren en un punto determinado para, tras recogerlos, poder tratarlos de acuerdo con sus características.

Este tipo de sellado del vaso del hueco de excavación puede ser necesario en otras circunstancias, cuando pudiera existir un riesgo significativo de afección al nivel freático.

El uso final del hueco minero como vertedero de residuos deberá tener en cuenta lo establecido en el Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero. Dicho uso deberá estar autorizado y habrá que prever un programa de vigilancia posterior a la clausura, por un periodo de 30 años.

6.4.5 Relleno de huecos

En las explotaciones mineras resulta generalmente inviable el relleno total de los huecos producidos ya que el volumen de material no apto utilizado para este fin es normalmente pequeño.

En los trabajos de restauración, **cuando sea necesario rellenar los huecos producidos** por la explotación, hasta la cota especificada en el Plan, **pueden emplearse** los siguientes materiales:

- 🌲 **Materiales propios de la explotación:** Estériles, lodos de lavado y rechazos del proceso de tratamiento. Si estos residuos fueran peligrosos, también habría que tener en cuenta el Real Decreto 1481/2001.
- 🌲 **Materiales ajenos a la explotación:** Materiales inertes adecuados procedentes de movimientos de tierras, de instalaciones de fabricación de productos de construcción o de instalaciones de tratamiento de residuos de construcción y demolición (RCDs).



Relleno del hueco con estériles inertes adecuados



Acondicionamiento del hueco (foto: J. C. Monzó)

Es importante realizar un control de los materiales de relleno con el fin de evitar el vertido de residuos no inertes.

6.4.5.1 Materiales propios de la explotación

Estériles mineros

En general, el proceso de producción de áridos, debido a las características de los yacimientos explotados, tiene rendimientos elevados en cuanto al ratio materia útil / material estéril, siendo poco importantes, en general, los volúmenes de estériles inertes adecuados y de material no apto como producto, lodos, etc., respecto al material aprovechable. En el caso de otras sustancias, estos volúmenes pueden ser más importantes.

Con este proceso, integrado dentro del proyecto de explotación, estos materiales se destinan para relleno de áreas ya explotadas o se acumula en cordones o escombreras, temporales o, de manera poco frecuente, definitivas.

Es importante señalar que estos materiales son inertes y no son sometidos a ninguna transformación de importancia -normalmente de tipo geométrico- que afecte a sus características.

En cualquier caso, estos estériles se gestionan de acuerdo con el proyecto aprobado por la Autoridad competente.



Operación de vertido para relleno del hueco

Lodos

Del mismo modo, los lodos que se generan en aquellas explotaciones que procesan el material en húmedo tienen por destino la restauración de los terrenos como rellenos, dentro de un ciclo cerrado del agua.

El tipo de depósito más común en estos casos es la balsa de lodos, creada en huecos del terreno, por lo que la posibilidad de vertidos es prácticamente inexistente, al no existir normalmente presa o estructura de retención.

Otras alternativas son los tanques espesadores, donde se genera un lodo semilíquido que se retira por tubería o por camión cisterna, los sistemas de filtros prensa que producen un lodo desecado de fácil manipulación, así como los sistemas de celdas alternativas con decantación forzada.



Balsa de lodos. Los sólidos se depositan y las aguas claras retornan al circuito de lavado de arenas. El lodo seco se retira con pala cargadora y se lleva, en camiones, a las áreas a restaurar



Balsas de lodos en serie



Sistema compacto de separación de la fase sólida y líquida. Módulos alternativos

Otros materiales de rechazo del proceso

En términos generales, el rendimiento del proceso de tratamiento del todo uno en la planta se puede calificar de elevado, rechazándose como **estéril inerte** una pequeña parte del material procesado. Estos materiales pasan, en la mayoría de los casos, a ser **utilizados en las etapas de restauración o a escombrera**.



Rechazos del proceso. Parrilla del primario



Extendido de los materiales de rechazo del proceso

6.4.5.2 Materiales ajenos a la explotación

Como el volumen de estériles en las explotaciones de áridos suele ser insuficiente para el relleno de los huecos, recientemente se están empleando, en determinados casos, **residuos inertes adecuados externos**, en ningún caso peligrosos, del tipo de residuos de construcción y demolición (RCDs) previamente tratados o de vaciados de obras, procedentes de la construcción, de la demolición de estructuras y edificaciones o de la obra civil (túneles) para el relleno de huecos en explotaciones.

En principio, pueden considerarse **materiales inertes adecuados externos** los siguientes:

TABLA 16 CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN			
CÓDIGO EUROPEO DE RESIDUOS CER	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO EUROPEO DE RESIDUOS CER	DESCRIPCIÓN
1011 03	Residuos de materiales de fibra de vidrio	1702 02	Vidrio
1501 07	Envases de vidrio	1705 04	Tierra y piedras
1701 01	Hormigón	1912 05	Vidrio
1701 02	Ladrillos	2001 02	Vidrio
1701 03	Tejas y materiales cerámicos	2002 02	Tierra y piedras
1701 07	Mezclas de hormigón, ladrillos, tejas y materiales cerámicos		

Fuente: Consejo de la Unión Europea. Decisión de 19 de diciembre de 2002

Materiales inertes adecuados procedentes de movimientos de tierras

- Excedentes no aprovechados de tierras y piedras procedentes de trabajos de excavación y desmonte en construcción y obra civil, codificados de acuerdo con la Lista Europea de Residuos con los códigos (1705.04) y (2002.02).



Residuos de construcción y demolición

Materiales inertes adecuados procedentes de instalaciones de fabricación de productos de construcción

Para que un material secundario pueda ser apto para su utilización en obras de restauración, acondicionamiento y relleno debe haber un acuerdo entre las partes, aprobado por la Autoridad competente, en el que se indique:

- Fuente y origen.
- Código conforme a la Lista Europea de Residuos ([ver tabla 16](#)).
- Proceso de producción en que se genera (descripción y características de las materias primas y de los productos).
- Cantidades previstas a utilizar en la restauración.
- Utilización prevista del material secundario, indicando además ubicación, duración de la actuación, volúmenes y cantidades de residuo a emplear.
- Autorizaciones o licencias urbanísticas que sean de aplicación en la utilización prevista.
- Contenido de humedad expresado en porcentaje sobre el peso total del material. Densidad y aspecto (color, forma física).

Materiales procedentes de RCDs

- Restos de materiales que, de conformidad con la legislación sectorial aplicable a materiales de construcción, sean aptos para su utilización en obras de restauración, acondicionamiento y relleno, o con fines de construcción.
- Materiales inertes originados en el tratamiento mecánico de residuos con una densidad superior a 1,4 t/m³ y contenido en humedad inferior al 70 % en peso.

En todo caso, el aprovechamiento de los residuos inertes adecuados, no aptos para ser reciclados, y compuestos por material pétreo seleccionado (residuos de construcción y demolición procedentes de plantas de tratamiento mecánico) para su uso en trabajos de restauración, acondicionamiento o relleno, debe ser controlado por el explotador.



Manipulación de materiales de relleno con pala cargadora



Extensión de los materiales

6.4.5.3 Prevención de vertido de materiales no deseados

Es muy **importante adoptar medidas para impedir el acceso no autorizado de terceros**, sobre todo cuando la explotación esté cerrada, **para prevenir vertidos** de residuos tales como neumáticos, electrodomésticos, muebles, RCDs mezclados con residuos tóxicos y peligrosos, residuos sólidos urbanos, etc.

Cuando ocurre esto, la gestión pasa a ser responsabilidad del poseedor, en este caso el **titular de la explotación**, que podría llegar a ser sancionado por incumplimiento del Plan de Restauración.



Vertido incontrolado de residuos urbanos



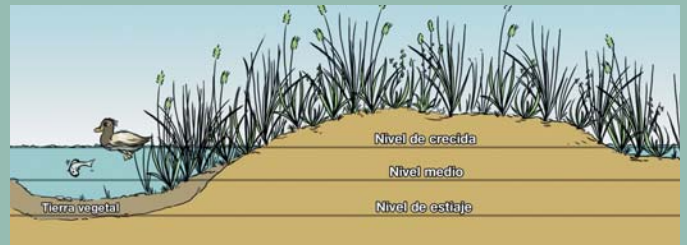
Vallado y señalización de la prohibición del acceso

6.5 Gestión del agua

Será conveniente llevar a cabo un uso eficiente del agua, que consistirá en aumentar la capacidad de retención de agua en el suelo y de almacenamiento para el desarrollo de la vegetación.



Acondicionamiento del hueco

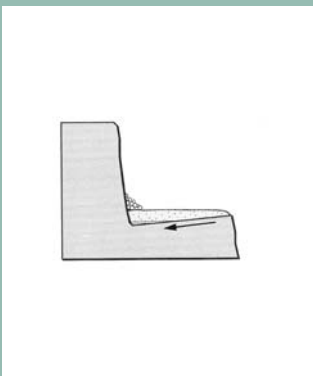


Perfil de una charca en función del nivel de agua

6.5.1 Medidas para corregir la escasez de agua

En lugares con escasez de precipitaciones, es una buena práctica adoptar medidas encaminadas a aprovechar el agua de escorrentía mediante:

- 🌲 Inclínación ascendente de las bermas.
- 🌲 Recogida y almacenamiento del agua en balsas, diques, charcas, aljibes, etc.



Orientación de la pendiente de las bermas para retener el agua

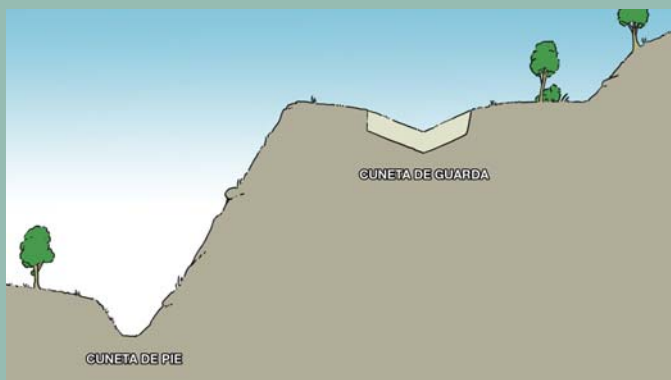


Balsa de aguas limpias con solera de geotextil

6.5.2 Medidas para prevenir los efectos de lluvias torrenciales

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

Por ello, es adecuado establecer elementos que puedan desviar las regueras de las zonas más sensibles a la erosión, como cunetas de guarda, piedra de escollera, etc. (ver 6.5.3.)



Cuneta de guarda en la cabeza de un talud



Refuerzo de talud con escollera y revegetación



Empleo de biorrollos para insertar esquejes

También se puede disminuir la pendiente de las regueras construyendo pequeños diques transversales con materiales existentes in situ, como piedras de escollera de tamaño reducido o bien gaviones metálicos que reducen la velocidad del agua. Estas pequeñas represas, al ralentizar la velocidad del agua, favorecen que impregne el terreno y la sedimentación de los materiales arrastrados. Con el mismo propósito pueden instalarse esquejes o estaquillado (ver 6.6.3)

6.5.3 Medidas para prevenir los efectos del agua en taludes

Además de producir la erosión del terreno, el agua puede inducir condiciones de inestabilidad en un talud, cuando aumenta su contenido, ya que se produce una variación de las fuerzas que se ejercen sobre el terreno y se debilita la cohesión de los materiales aumentando el esfuerzo cortante.

Teniendo en cuenta que los frentes, una vez restaurados, tienen que poder conservarse adecuadamente, sin que exista el riesgo de desprendimientos o deslizamientos, es necesario prevenir la acción del agua, que a largo plazo puede ser muy perjudicial.

Para reducir los efectos desestabilizador y erosivo del agua sobre el talud se emplean dos procedimientos:

Eliminación del agua superficial para que no llegue al talud

Puede evitarse que el agua alcance el talud aplicando las siguientes técnicas:

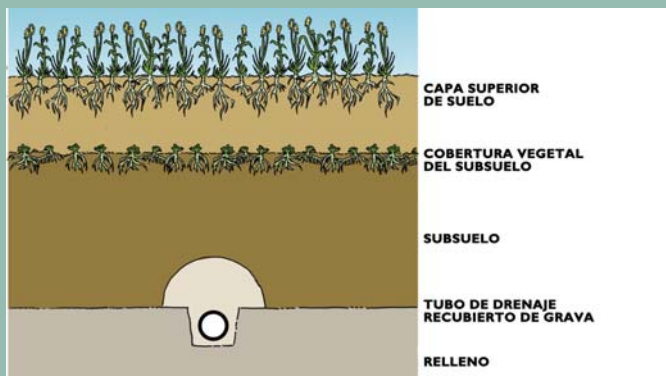
- 🌲 **Cunetas de guarda o zanjas perimetrales** situadas en la cabeza del talud, en la parte externa a él y en el perímetro superior que recojan el agua de escorrentía. En el caso de que se construyan en contra pendiente, deben recubrirse de plantas que eviten la erosión.
- 🌲 **Drenajes auxiliares**, que tienen como misión recoger el exceso de agua superficial.
- 🌲 **Cunetas de pie**, que complementan a las medidas anteriores.
- 🌲 **Disposición de muros o escolleras de contención.**
- 🌲 **Revegetación de las bermas** aplicando los procedimientos descritos en [6.12](#).

Eliminación del agua interior del talud

Las medidas que se indican a continuación se aplican para **reducir la presión del agua sobre el talud**.

- 🌲 **Drenes horizontales:** “pinchar” el talud con una tubería porosa (fibrocemento poroso, de plástico con taladros, etc.) en sentido horizontal o ligeramente inclinada que recoge el agua del interior hacia afuera.
- 🌲 **Pozos verticales:** perforaciones verticales en el talud en las que se introduce una tubería cubierta de un material drenante por la que se extrae el agua.
- 🌲 **Contrafuertes de drenaje:** utilizados para evitar los deslizamientos y para recoger el agua superficial o infiltrada.
- 🌲 **Zanjas de drenaje:** zanjas vacías o rellenas que drenan en profundidad o en superficie.
- 🌲 **Colchones de drenaje:** capas de material drenante (20-25 cm de áridos gruesos o geotextil) que se sitúan debajo de terraplenes y liberan el agua en una tubería que permite su evacuación.
- 🌲 **Galerías de drenaje:** túneles o galerías de dirección horizontal y paralela al talud, de modo que se reduzca la presión de los poros y se recojan las aguas subterráneas.

El punto de desagüe debe estar protegido con un lecho de grava o piedras que disipe la energía del chorro.



Colocación de drenaje previa al relleno



Charca acondicionada (foto J. C. Monzó)

6.5.4 Medidas contra la lixiviación

En el caso, ya mencionado, de que se restaure como vertedero y puedan depositarse productos tóxicos, se debe aislar el suelo para evitar infiltraciones y dispersión por escorrentía realizando impermeabilizaciones con materiales apropiados, con arreglo al Real Decreto 1481/2001 (ver 6.4.4).

El agua así recogida debe ser tratada de acuerdo con su composición química.

6.6 Integración paisajística de los frentes y bermas

Debe llevarse a cabo una restauración del área afectada por la actividad extractiva realizando una **restitución de una topografía naturalizada** que **elimine** en lo posible las **formas** excesivamente **geométricas** y las **aristas vivas**, confiriendo a las laderas una pendiente y un modelado adecuados para recuperar un aspecto fisiográfico concordante con el de su uso natural. Por ello, **se recomienda adoptar perfiles irregulares y redondeados**, en las transiciones con otras superficies.

A efectos de favorecer la revegetación y prevenir la aparición de trincheras, cuando sea técnicamente viable, los **taludes** resultantes serán preferentemente **2H:1V**, con el fin de facilitar la restauración vegetal de los taludes resultantes y evitar la aparición de fenómenos erosivos.

En el caso de ser una pendiente mayor a la anteriormente indicada, deberá venir avalada por un estudio geotécnico.

Cuando se prevean desniveles finales elevados entre el terreno natural y la plaza de cantera, se debería suavizar el talud resultante mediante la creación de varias terrazas o bermas que faciliten la restauración vegetal y prevengan los citados fenómenos erosivos, sin olvidar que el relieve definitivo de la explotación, una vez abandonada, debe integrarse con el entorno que le rodea.

6.6.1 Remodelado de frentes

La remodelación de los frentes permite dotarlos de un aspecto más natural y pendientes más tendidas, suavizando las formas y, en su caso, modificando su altura.

Suavizado de perfiles mediante medios mecánicos

En frentes formados por materiales blandos se procede al **remodelado mediante maquinaria apropiada** (bulldozer, pala cargadora, etc.) de características tales que pueda alcanzar todos los frentes para actuar sobre ellos.

Suavizado de perfiles mediante voladuras

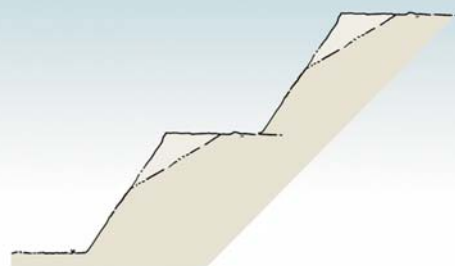
En canteras de un solo frente, existen dos técnicas:

- 🌲 **Voladuras de remodelado parcial**, que consisten en perforar barrenos bastante espaciados que una vez disparados provocan el arranque de la roca, depositándola al pie del talud y conformando montones de menor tamaño.
- 🌲 **Voladuras de remodelado total**, que consisten en perforar varias filas de barrenos a diferentes profundidades y un determinado ángulo, creando bermas donde se acumule el material para favorecer la revegetación.



Dispositivos para la retención de rocas y protección de los taludes

En explotaciones con varios frentes se pueden utilizar **voladuras de descabezamiento** que fragmentan la roca en la parte alta de los bancos dejándola depositada en las bermas horizontales, alcanzando ángulos de 35 a 40° entre los de reposo del material proyectado y los de la roca.

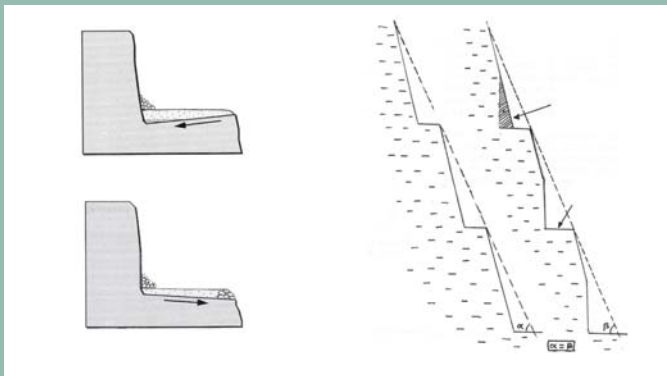


Descabezamiento de taludes

6.6.2 Remodelado de bermas

La remodelación y/o reconfiguración de las bermas tiene, entre otros fines, el permitir que se puedan llevar a cabo plantaciones y romper las pendientes muy pronunciadas, aplicando los siguientes procedimientos:

- 🌲 **Ensanchando la berma**, creando una pendiente ascendente, para retener el agua en zonas de escasas precipitaciones, y para, en su caso, permitir el paso de los equipos de hidrosiembra.
- 🌲 **Modelado por disposición de los materiales creando pendientes ascendentes.**

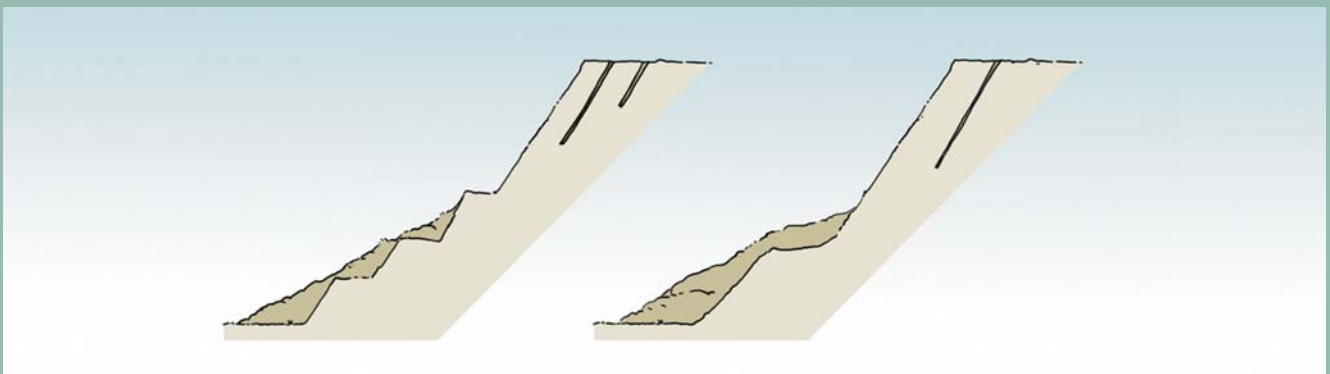


Ensanchamiento de bermas

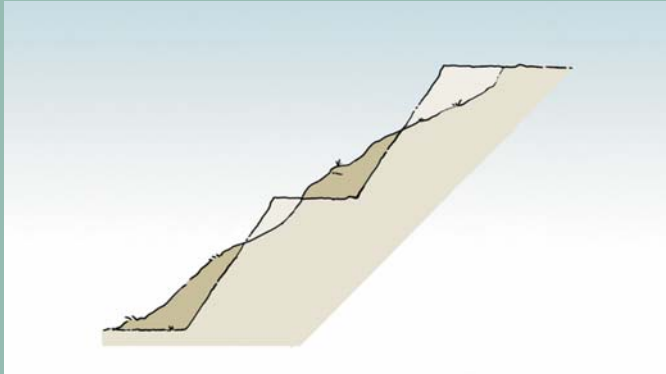


Restauración del primer banco de una cantera

- 🌲 **Redondeado de los bordes**, suavizándolos.
- 🌲 **Evitando** que las **bermas** sean **totalmente paralelas o equidistantes** ya que denotan artificialidad. Los diseños regulares acentúan la dominancia visual de la pendiente, por lo que únicamente se recomiendan cuando existen razones geotécnicas.



Creación de relieves menos uniformes y banqueo mediante voladuras con barrenos de distintas profundidades



Tendido del talud



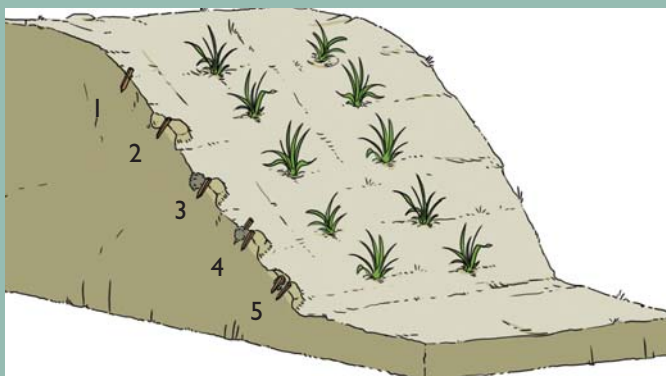
La conformación de taludes da lugar a laderas suaves

6.6.3 Estabilización de los frentes

Entre las medidas destinadas a prevenir la inestabilidad de los frentes cabe destacar las siguientes:

- 🌲 **Saneo previo exhaustivo del frente de cantera** por medios mecánicos para evitar bloques colgados y áreas con riesgo de desprendimiento, pero evitando generar superficies excesivamente lisas que sean más susceptibles de sufrir fenómenos erosivos y en las que se dificulte la colonización posterior de la vegetación.
- 🌲 Medidas de **drenaje** del agua **del talud** descritas en el punto 6.5.
- 🌲 **Muros y muretes de contención**, que sirven para reducir la pendiente del talud y su altura efectiva. Se requiere buena cimentación y son poco efectivos en taludes de elevada altura.

Los posibles problemas de impacto visual se reducen con diseños adecuados que implican drenajes apropiados y relleno de huecos con materiales autóctonos e implantación de vegetación.



Estaquillado: 1: Inserción en el terreno; 2: Surco; 3: Colocación del haz en un surco; 4: Haz atravesado por otra estaquilla; Recubrimiento con tierra compactada



Protección de la superficie de talud por siembra

🌲 **Instalación de esquejes o estaquillado**, que se emplean para estabilizar taludes de elevada pendiente que presentan una fuerte erosión hídrica. El método consiste en excavar unos surcos donde se insertan unas estaquillas (ramas jóvenes cortadas en invierno) que se enraízan para implantar ciertas especies arbóreas, como sauces, chopos, ..., de acuerdo con el siguiente procedimiento:

- 🌲 Se introduce la **estaquilla perpendicular** a la pendiente.
- 🌲 Por encima de ella se abre un surco donde se coloca un haz de varillas.
- 🌲 Se atraviesa el haz con una estaca de forma transversal.
- 🌲 Se cubre el haz con tierra y se compacta.



Empleo de geotextiles

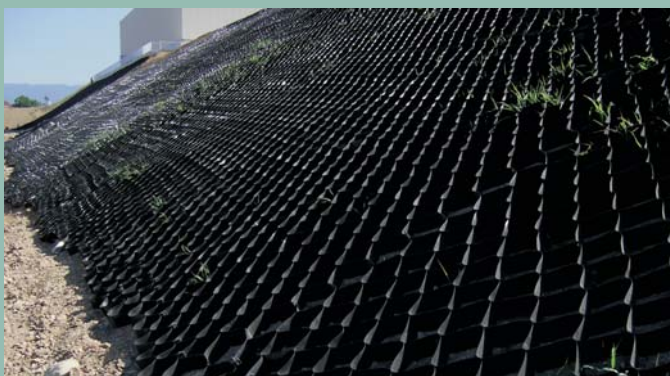


Vista general de un talud restaurado

🌲 **Estructuras de consolidación**, que se sitúan en lugares estratégicos para evitar problemas de desestabilización o desprendimientos.

Se distinguen los siguientes:

- 🌲 **Gaviones metálicos**: cajas metálicas prismáticas superpuestas que se sitúan en los lugares donde la erosión es mayor.
- 🌲 **Enrejado / mallado metálico galvanizado**: se utiliza en taludes con una pendiente superior a 45° y cuyos afloramientos rocosos son muy amplios, existiendo el riesgo de desprendimientos. El impacto visual de la malla metálica se reduce mediante implantación de bermas, de cobertera vegetal (hidrosiembra y/o plantación de arbustos y matas de 1-2 savias), etc.



Detalle de geoceldas (foto: Projar, S.A.)



Malla volumétrica combinada con malla galvanizada (foto: Projar, S.A.)

- 🌲 **Geosintéticos y geomallas:** productos plásticos, con cerca de un centímetro de espesor, formados por hilos que constituyen un conjunto de alvéolos que retienen la tierra vegetal. Se emplean en pendientes inferiores a 1:1 para evitar el embolsamiento de la tierra vegetal. Posteriormente se realiza la hidrosiembra con estabilizadores del suelo.
- 🌲 **Geotextil semirrígido en nido de abeja:** estructura tridimensional realizada en polietileno mediante extrusión en continuo, sin sucesivas soldaduras. Es muy resistente a la tracción y puede utilizarse en pendientes de talud superiores a 1:1.



Colocación de Geotextil (foto: Projar, S.A.)



Malla volumétrica instalada como soporte de la tierra vegetal (foto: Projar, S.A.)

- 🌲 **Entramado de mimbre y matorral:** entramados de mimbres y matorral sobre los que se coloca una capa de tierra vegetal. Encima de ésta, se sitúa una malla de alambre.
- 🌲 **Bloques huecos de hormigón:** se utilizan en taludes con pendientes muy pronunciadas. Son bloques prefabricados que se rellenan con tierra y se siembran. Requieren plantaciones muy resistentes y de raíz poco profunda.
- 🌲 **Anclajes o pernos:** se emplean en rocas estratificadas y necesitan equipos especializados para su instalación. Pueden ser:
 - Activos: una vez instalados, se tensan.
 - Pasivos: no se tensan.
- 🌲 **Pilotes:** elementos longitudinales, normalmente fabricados de hormigón que unen el talud con una capa estable del terreno.
- 🌲 **Soportes orgánicos:** estructuras formadas por entretejidos de materiales naturales (paja, coco, yute, esparto, etc.) que, con el paso del tiempo, se degradan, aportando materia orgánica adicional. Se utilizan para recuperar taludes de escasa pendiente. Se distinguen los siguientes tipos:
 - 🌲 **Mantas orgánicas:** formadas por fibras vegetales (coco -en zonas de mayor inclinación y riesgo elevado de erosión-, paja -en casos de baja erosión- o esparto -en erosiones medias) distribuidas de forma aleatoria, y cosidas con hilos fotodegradables. Entre sus ventajas, destacan:
 - Retención de las semillas e incremento de la probabilidad de germinación.
 - Disminución de la acción de la lluvia y de la escorrentía superficial.
 - Reducción de la evapotranspiración.
 - Aumento de la infiltración del agua en el suelo.
 - Atenuación de las variaciones térmicas.



Detalle de una manta de coco
(foto: Projar, S.A.)



Talud recubierto con manta orgánica
(foto: Projar, S.A.)



Detalle de una manta de paja
(foto: Projar, S.A.)

- 🌲 **Redes orgánicas:** similares a las mantas orgánicas pero en este caso las fibras orgánicas se trenzan formando una red.
- 🌲 **Biorrollos:** estructuras cilíndricas fabricadas por fibras naturales colocadas de forma escalonada que permiten la germinación y desarrollo de las especies introducidas en su estructura.

6.6.4 Envejecimiento artificial del frente

Esta técnica consiste en el envejecimiento artificial de la roca para limitar el impacto visual lejano de los frentes que no pueden ser restaurados de otro modo, aplicando una **mezcla de óxidos, de ácidos húmedos o de fijadores proyectados**.

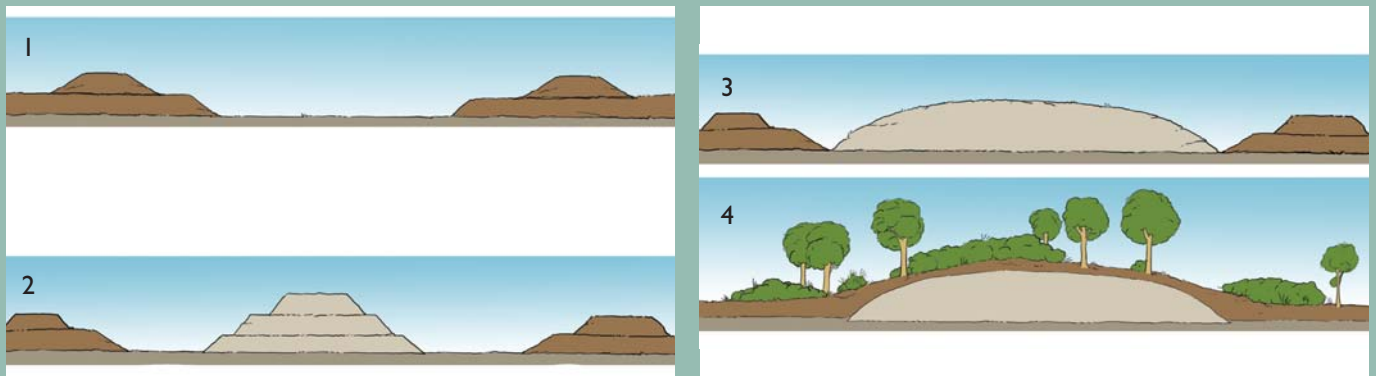
Existen otros métodos más artesanales de **oscurecimiento por humo**, pero que comportan riesgos de incendio y sólo pueden aplicarse con autorización y todas las medidas de seguridad que se precisen.



Envejecimiento de un talud; a la izquierda, situación **inicial**; a la derecha, situación **final** (fotos: Projar, S.A.)

6.7 Acondicionamiento de escombreras

Las escombreras tienen su principal problemática en el diseño inicial, puesto que cuando no se ha previsto su integración paisajística, su remodelación resulta compleja.



Restauración de una escombrera: 1: Retirada de la tierra vegetal; 2: Creación de la escombrera; 3: Remodelado de la escombrera; 4: Reconstitución del suelo a partir de la tierra vegetal y plantación y/o siembra

Debe intentarse reproducir la forma natural de las estructuras geomorfológicas del entorno para **alcanzar la máxima integración de la escombrera en el paisaje**. Al mismo tiempo, la ubicación tiene que haber sido elegida de forma que se eviten los problemas producidos por colapso de la estructura, avenidas de agua, aguas de escorrentía, etc., permitiendo una sencilla manipulación de los materiales, optimizando la distancia de transporte y evitando que pueda incidir en el futuro avance de la explotación.

Puede realizarse la **integración paisajística de la escombrera** aplicando las técnicas siguientes:

🌲 **Ocultación**, en depresiones del terreno, tras resaltes, etc., de modo que no pueda ser vista desde zonas pobladas o de tránsito. Normalmente esta posibilidad se aplica en el diseño de nuevas escombreras ya que, en el caso de las ya existentes, resulta costoso puesto que ello implicaría su traslado. Otra alternativa para ocultarla consiste en crear una barrera de vegetación en el perímetro exterior de la escombrera para que actúe de pantalla.



Escombreras restauradas

🌲 **Remodelación**, aplicando las siguientes reglas visuales:

- 🌲 Una masa alargada y de poca altura produce menos impacto visual que otra estrecha y alta, puesto que el ojo humano percibe más las dimensiones verticales que las horizontales.
- 🌲 El material distribuido sobre una ladera en pendiente hace que la parte más alejada se aprecie como de menor masa aparente.
- 🌲 Debe evitarse que la altura de la escombrera sobrepase la línea del horizonte.
- 🌲 El efecto visual de las superficies redondeadas es menor que el de las líneas y cortes rectos que no hacen sino acentuar formas y volúmenes.
- 🌲 Si resulta posible apoyar la escombrera sobre una ladera, el efecto visual se reduce ya que se reproducen, en lo posible, las pendientes, formas y líneas naturales del terreno.



Escombrera restaurada



Reforzamiento con escollera

- 🌲 Las litologías con colores fuertes y llamativos (p.e. limonitas) intensifican y agravan las sensaciones ópticas al contrastar con el colorido suave de los suelos y vegetación natural. (p.e. zonas mediterráneas).
- 🌲 El diseño de bermas o terrazas ayuda a controlar la erosión, la estabilidad y el acceso a las diferentes áreas.
- 🌲 Una correcta modelación del talud del depósito permite prevenir deslizamientos y evitar la acción erosiva de las aguas de escorrentía.

🌲 **Revegetación**, utilizando las técnicas descritas en el apartado 6.12.



Restauración de una escombrera: a la izquierda situación **inicial**; a la derecha, situación **final**



Vista general de taludes reacondicionados. A la derecha, áreas replantadas

Por otra parte, habrá que tener en cuenta que **la escombrera debe ser estable geomorfológicamente una vez finalizadas las labores de explotación durante largo tiempo.**

El agua es el principal agente desestabilizador de una escombrera por lo que habrá que **diseñar sistemas de drenaje** que faciliten la evacuación del agua así como jugar con las pendientes para evitar su almacenamiento en zonas poco estables. Ver estabilización de taludes [6.6.3](#).



Primer plano del talud repoblado

6.8 Acondicionamiento de balsas y presas

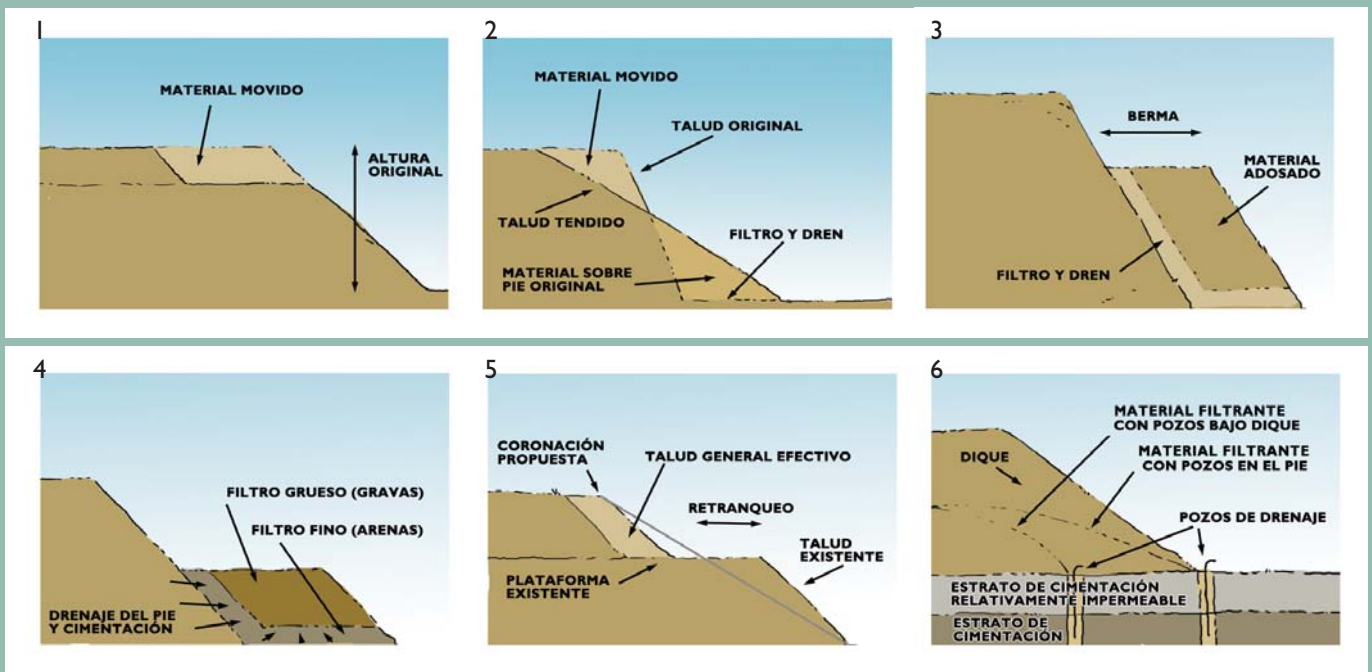
El acondicionamiento de las balsas y presas de lodos tiene por objeto que estas estructuras:

- 🌲 Sean estables a largo plazo.
- 🌲 No se produzcan infiltraciones.
- 🌲 Proteger el acceso a la balsa.
- 🌲 No se produzca transporte de materiales a otras zonas por efectos de la erosión.

6.8.1 Estabilización de balsas y presas

Para la estabilización de las balsas y presas existen una serie de procedimientos consistentes en:

- 🌲 Descargar parte del material de coronación para reducir las tensiones producidas en la base de la balsa.
- 🌲 Utilizar este material o escombros como refuerzo en la base del pie de la presa creando bermas que reduzcan la pendiente del talud.
- 🌲 Colocar filtros invertidos para facilitar el drenaje en la base del dique.
- 🌲 Crear bermas durante la operación, que facilitan el tendido de los taludes y la depresión del nivel freático con drenes horizontales situados a diferentes alturas.



Sistemas para reforzar la estabilidad de los diques de las balsas de lodos (Canmet). 1: descarga de la corona del dique; 2: tendido de talud; 3: colocación de espaldón con berma; 4: colocación de filtro invertido; 5: recrecimiento de presa con tendido de talud; 6: pozos de drenaje

6.8.2 Control de la erosión en balsas y presas

Para controlar la erosión de balsas y presas, y prevenir que el material se desplace, habrá que desecar y consolidar los lodos mediante evaporación natural o bien por drenaje y bombeo del agua. Una vez seca, la balsa se estabilizará mediante protección de escollera o revegetación.

6.8.3 Protección de accesos a balsas y presas

Cuando exista riesgo de caída y/o de ahogamiento, hay que proteger las balsas y presas del acceso inadvertido de animales y/o personas, mediante las medidas descritas en el punto 6.13.

6.8.4 Prevención de la contaminación de balsas y presas

Las balsas y presas de lodos presentes en las explotaciones de áridos no suelen estar contaminadas ya que el material a extraer y los materiales de proceso no son contaminantes. En caso de que se produjera alguna contaminación debida al vertido de algún residuo, se procedería a aplicar las medidas descritas en el apartado 6.4.4.

6.9 Demolición de estructuras y cimentaciones

El Plan de Restauración debe considerar si los **edificios e instalaciones construidas** durante la vida útil de la planta pueden tener algún servicio en la zona restaurada como, por ejemplo, refugio de fauna.

Cuando se aprovechen las construcciones, habrá que proceder a su acondicionamiento para la función que se les asigne.

Por el contrario, si no se aprovechan, habrá que **proceder a su demolición y desmantelamiento**.

6.9.1 Planta

Durante la demolición de las estructuras y edificios se generarán residuos de diferente naturaleza como elementos metálicos, gomas o cauchos (neumáticos, bandas transportadoras, correas de transmisión, etc.) y RCDs (soleras, cimentaciones, apoyos de estructuras, etc.) así como otros que será necesario gestionar de una forma adecuada.

Los RCDs generados pueden utilizarse para el relleno de los huecos como se indica en 6.4.5

6.9.2 Depósitos

Los depósitos empleados para el almacenamiento de hidrocarburos tienen que retirarse y entregarse a un gestor autorizado.



Demolición de estructuras de la planta; a la izquierda, situación **inicial**; a la derecha, situación **final**

6.9.3 Otros residuos

Además de los anteriores, en este proceso se generan normalmente residuos de muy diversos tipos y naturaleza (vidrio, madera, papel, etc.) que han de ser separados y, posteriormente, **entregados a gestores de residuos autorizados**.

6.9.4 Tierras contaminadas

Durante las labores propias de la extracción se pueden producir pequeñas contaminaciones de suelo debido a derrames de combustibles, lubricantes, detergentes, etc., en zonas de recarga de combustibles, de recambios de lubricantes, de lavado de vehículos, etc.

De acuerdo con la legislación, habrá que **proceder a la limpieza y recuperación de estas zonas contaminadas** con medidas apropiadas de tratamiento.

El tratamiento de suelos contaminados puede enfocarse desde las cuatro perspectivas siguientes:

- 🌲 **Confinamiento:** adopción de medidas que previenen el acceso de aguas superficiales o subterráneas, así como la salida de los lixiviados: sellado de la zona, barreras, red de drenaje de agua y lixiviados.
- 🌲 **Tratamiento in situ:** corrección de las características del suelo contaminado sin retirarlo. Se reducen los costes pero se incrementa la duración del proceso.
- 🌲 **Excavación y tratamiento:** aplicable en la propia explotación o en un gestor autorizado. Tras el tratamiento, el suelo se retorna a su ubicación original. Los costes son superiores a los métodos anteriores.
- 🌲 **Excavación y vertido controlado:** el elevado coste de este método, que depende del volumen de material, de la distancia de la explotación al gestor autorizado y del tipo de contaminante, contrarresta las ventajas que ofrece la rapidez y fiabilidad de este sistema.

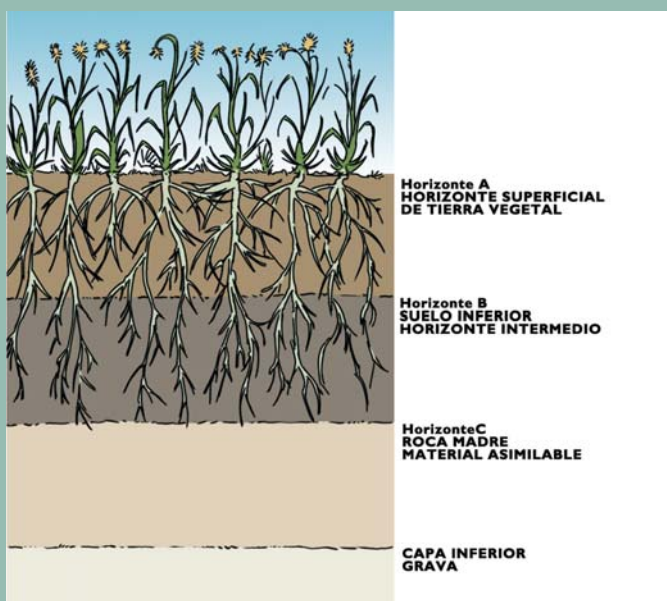
Los métodos de tratamiento se clasifican de acuerdo con la tabla siguiente. Las tecnologías mecánicas son las más empleadas cuando los volúmenes de suelos contaminados a tratar son muy elevados:

TABLA 17 MÉTODOS DE TRATAMIENTO DE SUELOS CONTAMINADOS				
TRATAMIENTO	MÉTODO	DESCRIPCIÓN	TIPO DE SUELO CONTAMINADO	SUELO RESULTANTE
Térmico	Incineración en horno rotativo	Alta temperatura	Contaminantes orgánicos	Biológicamente inerte Estructura alterada
	Deserción térmica	Temperatura inferior	Contaminantes orgánicos volátiles	Biológicamente inerte Estructura alterada
Fisicoquímico	Extracción	Aporte de agua y disolvente	Excavado, con contaminantes orgánicos	Inerte Alteración de las características geotécnicas
	Lavado de suelo excavado	Decantación de la mezcla suelo - solución lavadora (ácida, básica o detergente)	Excavado con presencia de metales	Inerte
	Lavado de suelo in situ	Inyección de agua limpia en el suelo y retirada del agua con contaminantes disueltos	Contaminantes solubles en suelos permeables	Inerte
	Estabilización / solidificación	Empleo de elementos de fijación de contaminantes (puzolanas, cemento, ...)	Contaminantes orgánicos	Masa estabilizada de baja lixiviación
	Vitrificación	Empleo de corriente eléctrica de alta intensidad	Contaminantes orgánicos e inorgánicos Sin agua y con conductividades elevadas	Masa vitrificada
	Arrastre in situ con aire	Flujo de aire a presión o en vacío	Contaminantes orgánicos volátiles	Inerte
	Arrastre con vapor	Flujo de vapor y aire	Derivados del petróleo e hidrocarburos clorados	Inerte
	Electro migración	Migración de los contaminantes hacia unos electrodos	Metales pesados	Inerte
Mecánico (sellado)	Capa de protección superficial	Implantación de una cubierta vegetal, pavimentada o de zahorra	Grandes cantidades Riesgo de contacto directo, dispersión atmosférica o lixiviación Cuando no se tengan garantías de éxito en el tratamiento in situ	No se resuelve el problema de la contaminación del suelo, pero se mantiene confinada
	Capa de drenaje	Empleo de arena, grava y geotextil, para evacuar el exceso de agua		
	Barrera impermeable	Pantalla vertical de arcilla compactada, geomembranas o mantas de bentonita que separa al suelo contaminado del medio circundante		
	Sistemas de seguimiento y control	Pozos de control de las aguas subterráneas Toma de muestras Control taquimétrico de estabilidad Control de emisiones		
Biológico	Biorremediación	Empleo de plantas o microorganismos Degradación de los contaminantes	Contaminantes químicos, derivados del petróleo, aceites y metales pesados	Suelo con compuestos inocuos o menos agresivos para el entorno

Fuente: D. Gómez Orea – Recuperación de espacios degradados

6.10 Reconstitución del suelo

La reconstitución del suelo es una pieza esencial para toda restauración, ya que de esta operación dependerá, en gran medida, la fertilidad y el desarrollo de la vegetación que se quiere implantar.



Estructura de un suelo fértil



Reconstitución del suelo: arriba situación inicial; abajo situación final

6.10.1 Objetivos de la reconstitución de un suelo

Una vez ya se dispone de un relleno bien compactado (ver 6.4) y con un sistema de drenaje adecuado (ver 6.5), puede iniciarse la reconstitución de los suelos, propiamente dicha. El objetivo consiste en obtener un suelo de características similares o incluso mejores que las del original, adaptado al tipo de uso previsto en la restauración. La reconstitución de un suelo consta, básicamente de dos etapas:

- 🌲 Extensión de la cobertera o capa mineral alterada (horizonte B), formado por materiales procedentes de esa misma capa, alterados, bien estructurados, permeables, pobres en humus y que permitan el enraizado.
- 🌲 Extendido de la tierra vegetal o capa superior, procedente del suelo natural, con una profundidad máxima de 40 cm, rico en humus, muy alterado y con gran actividad biológica.

TABLA 18		OBJETIVOS DE LA RECONSTITUCIÓN DE UN SUELO	
	CAPA MINERAL (HORIZONTE B)	CAPA SUPERIOR (TIERRA VEGETAL) (HORIZONTE A)	
TOPOGRAFÍA	Compatible con el entorno Adaptada al tipo de restauración previsto		
RÉGIMEN HÍDRICO	Alta capacidad de retención de agua Buena permeabilidad Evacuación o infiltración de los excedentes hidráulicos Ausencia de aguas estancadas		
AIREACIÓN	Sistema poroso intacto Las galerías de las raíces favorecen los intercambios gaseosos	Buena aireación de toda la zona de enraizado	
ESPESOR	Zona de enraizado de 50 a 100 cm en suelos agrícolas y de 150 a 200 cm en suelos forestales Una mayor profundidad mejora la capacidad de retención de agua	Espesor de la capa superior, de unos 30 cm (en general)	
ESTRUCTURA DEL SUELO	Inclusión de una cierta cantidad de piedras pero de tamaños reducidos	Pocas piedras y de pequeñas dimensiones (menos de 5 cm) en suelos agrícolas. En suelos forestales, puede haber piedras	
LIMPIEZA	Materiales limpios		
DRENAJE	Diseño de la red de drenaje, en función de las precipitaciones previsibles Elección de los modelos de drenaje: <ul style="list-style-type: none"> · Fosos · Cunetas · Canalizaciones y colectores · Relleno permeable (descompactado y con colectores) · Capa drenante (gravas) 		
COLOCACIÓN DEL SUELO	Siembra temporal de la capa mineral (horizonte B) sobre la que se extenderá la tierra vegetal en el plazo de un año (recomendado), en suelos agrícolas Colocación de una sola vez, sin siembra intermedia en suelos forestales		

Nota: Por motivos de protección de la naturaleza, los objetivos pueden ser diferentes.

El éxito de esta tarea depende de la aplicación de dos principios:

- 🌲 Trabajar preferentemente sobre rellenos secos y con materiales con poca humedad.
- 🌲 Evitar compactar el suelo al rodar sobre el material con los equipos móviles, por lo que siempre hay que reconstituir el suelo en retirada.

La reconstitución cuidadosa del suelo permite alcanzar niveles de fertilidad a más corto plazo y supone un importante ahorro en el cuidado de la vegetación.

Reconstitución inmediata del suelo

Cuando el método de explotación permite la transferencia directa del suelo entre las zonas de avance y las de restauración, la reconstitución se realiza en el marco más favorable posible:

- 🌲 La afección a las características biológicas y a la estructura del suelo es mínima.
- 🌲 Se elimina la necesidad de almacenamiento intermedio, lo que simplifica y abarata la operación.
- 🌲 Se reduce la superficie afectada y el tiempo dedicado a la operación.
- 🌲 Se evitan algunas etapas intermedias.

6.10.2 Reconstitución de la cobertera o capa mineral alterada (horizonte B)

La **preparación del subsuelo** requiere tantos cuidados como la de la capa de tierra vegetal:

- 🌲 El relleno preparado se recubre de la cobertera o capa mineral alterada (horizonte B) del mismo espesor que la original.
- 🌲 A diferencia del relleno, los materiales tienen que depositarse sin compactación.
- 🌲 Es recomendable que contengan un 10 % de proporción de piedras de pequeño tamaño para favorecer el paso de agua.
- 🌲 Las piedras mayores que afloran deben retirarse manualmente.
- 🌲 Cuando haya sido almacenada temporalmente, es muy recomendable proceder a sembrar la capa de subsuelo una vez extendida, con especies autóctonas, resistentes, de crecimiento rápido y regular y con raíces profundas. Esta siembra, que conviene mantener durante un año, ofrece las siguientes ventajas:
 - 🌲 La descomposición de las raíces deja vías de circulación para el agua y el aire desde las capas superficiales.
 - 🌲 Incrementa la riqueza biológica del suelo.
 - 🌲 Mejora la capacidad portante de la cobertera o capa mineral alterada (horizonte B).
 - 🌲 Protege contra la erosión.
- 🌲 Cuando el subsuelo es ligero o pedregoso, puede ser interesante efectuar un aporte de compost.

6.10.3 Reconstitución del suelo vegetal (horizonte A)

La capa de tierra vegetal se reparte sobre la superficie del subsuelo:



- 🌲 Con un espesor regular igual que el original. En la descarga, habrá que tener en cuenta que el **material** está **esponjado** y prever un **espesor** algo **mayor**.
- 🌲 Sin compactar: **se deposita el material y se alisa** con el cazo del equipo para evitar las irregularidades, sin presionar demasiado.

- 🌲 Si hubiera que circular sobre la cobertera o capa mineral alterada (horizonte B) se emplearán máquinas que ejerzan poca presión sobre el suelo. Si fuera preciso, se habilitarían pistas que, antes de ser recubiertas por la tierra vegetal, habrá que proceder a **descompactar**.
- 🌲 No será preciso retirar manualmente las piedras, salvo que el terreno vaya a tener un uso agrícola. Es recomendable hacerlo con el terreno bien seco.
- 🌲 Cuando sea preciso, puede ser interesante efectuar un **aporte de abonos orgánicos** de asimilación lenta y baja solubilidad, envueltos con el suelo.



Tres etapas de reconstitución de un suelo: Situación inicial, fases finales y plantación

Cada tipo de uso previsto da lugar a unas necesidades de restauración diferentes, por lo que los problemas a tener en cuenta para el **condicionamiento de la plaza de cantera** están relacionados con la reconstitución de un suelo apto para esos usos futuros del área. En cualquier caso, las siguientes técnicas son de frecuente aplicación:

- 🌲 Modelado topográfico para reconstruir el suelo, prestando atención a su permeabilidad y a la evacuación del agua de escorrentía.
- 🌲 Esponjamiento de los terrenos con un escarificador.
- 🌲 Disposición de un espesor suficiente de estériles.
- 🌲 El extendido de la tierra vegetal debe realizarse sobre el terreno remodelado con maquinaria que ocasione la mínima compactación, procurando no mezclar la tierra vegetal con los estériles.
- 🌲 Es conveniente realizar un escarificado del suelo de 5-15 cm de profundidad para facilitar la infiltración del agua, la penetración de raíces y la descompactación del suelo. En el caso de suelos muy compactados se realizará un escarificado más profundo de 50-80 cm.
- 🌲 El espesor de la cubierta no debe ser inferior a 15 cm y debe adoptar una morfología similar a la original.
- 🌲 En el caso de que la **cobertera no presente las condiciones mínimas necesarias** para el desarrollo de la vegetación, habrá que **realizar aportes que favorezcan las características físico-químicas del sustrato**, como las que se describen más adelante.
- 🌲 Las necesidades de tierra vegetal para cubrir las superficies que se tiene previsto revegetar pueden hacer preciso el aporte externo de ésta, en el caso de que no se disponga de un volumen de tierra vegetal suficiente.

6.10.4 Descompactación

En zonas previamente ocupadas por instalaciones auxiliares, vías de circulación y edificaciones o en el caso de que por la técnica operativa utilizada se hubiera producido una compactación del suelo, será necesario fragmentar la capa superficial del terreno de modo que se reduzca su densidad, facilitando tanto el enraizamiento de las especies a implantar, como su crecimiento y se mejore la infiltración de agua. Esta técnica favorece un mejor contacto entre la tierra vegetal y el terreno y evita su deslizamiento.

Dependiendo del grado de compactación del suelo, se utilizan diferentes técnicas:

- 🌲 **Subsolado**, mueve las capas del suelo.
- 🌲 **Ripado**, descompacta el terreno a mayor profundidad que el subsolado y voltea las capas del suelo.
- 🌲 **Escarificado**, esponja el terreno superficialmente.

Para que exista una buena infiltración del agua es necesario proporcionar al terreno una cierta inclinación (1:10) para facilitar el drenaje.

Además, para reducir la escorrentía y la consecuente erosión, se recomienda realizar el escarificado según las curvas de nivel, perpendicularmente a la pendiente.

Salvo cuando la superficie está muy compactada, en cuyo caso es necesario alcanzar los 50-60 cm, la profundidad de escarificado suele ser de unos 20 cm. En casos más extremos, como vías de circulación de equipos móviles pesados o edificaciones, se precisa ripar con una profundidad de 1 m.



Trabajos de descompactación: escarificado y preparación superficial



Trabajos de preparación



Situación final

6.10.5 Enmiendas o mejoras edáficas

En ocasiones el terreno no tiene las características físicas y químicas apropiadas para el desarrollo vegetal, por lo que es necesario realizar **enmiendas o mejoras edáficas** que preparen el suelo para recibir a las especies.

Los criterios a tener en cuenta para realizar las enmiendas necesarias son los siguientes:

- 🌲 Disponibilidad de nutrientes en escombreras o suelos.

- 🌲 Especies vegetales a implantar.
- 🌲 Efecto de los fertilizantes en el suelo.
- 🌲 Coste.
- 🌲 Requerimientos para la fertilización y disponibilidad de agua.
- 🌲 Uso de la superficie a restaurar:

En lugar de tierra vegetal también es rentable utilizar:

- 🌲 Material inorgánico procedente de materiales estériles.
- 🌲 Residuos inertes procedentes de otras explotaciones (calizas, limos, etc.).



Trabajos agrícolas



Parcela con mejoras para investigación de desarrollo de especies

Las escombreras de textura gruesa (arenas y rocas) pueden ser acondicionadas añadiendo materiales finos (limos y arcillas) que mejoran la capacidad de recarga de agua y nutrientes, reduciendo la lixiviación, mientras que las escombreras de textura fina (arcillas) pueden ser mejoradas añadiendo material arenoso grueso.

Enmiendas calizas para corregir la acidez del suelo

Las escombreras de las graveras, areneros y explotaciones de rocas ácidas, que están constituidas por rocas arcillosas sedimentarias, granitos, cuarcitas, etc., presentan una baja capacidad de retención de agua y nutrientes así como una baja proporción de elementos finos y materia orgánica, lo que dificulta el establecimiento de la cobertura vegetal.

La **técnica más habitual para ajustar un pH ácido** consiste en **añadir cal viva** (CaO), **carbonato cálcico** (CaCO_3), **dolomía** (Carbonato cálcico-magnésico) o restos de cenizas, escombros o productos de construcción, siempre que estos materiales no resulten excesivamente caros.

La enmienda caliza debe incorporarse a 15 cm de profundidad, antes de extender la tierra vegetal, el abono, los fertilizantes, etc.

La cal, además de ajustar el pH, **proporciona** las siguientes **mejoras**:

- 🌲 Aumenta la disponibilidad de nutrientes y eficacia de los fertilizantes.
- 🌲 Favorece la descomposición de la materia orgánica.
- 🌲 Aumenta la cantidad de calcio y nitrógeno en el suelo.

Enmiendas para corregir la alcalinidad del suelo

En las escombreras constituidas por rocas básicas, como por ejemplo, las canteras calizas, es conveniente cubrir el material con materia orgánica, como estiércol o suelo natural para neutralizar la alcalinidad del suelo.

En el caso de suelos ricos en yeso, es muy importante haber realizado la reserva temporal de suelos fértiles. Deberá estudiarse el posible aporte de tierras fértiles externas a la explotación con el fin de hacer viable la futura restauración vegetal de los terrenos, incluido el extendido de estiércoles con el fin de mejorar la calidad de los suelos, con unas aportaciones de 30-40 t/ha.

Abonado y fertilización química

- 🌲 El **abonado** es necesario cuando no se puedan cubrir ciertas zonas con cobertera vegetal o bien cuando estas zonas presenten niveles deficientes de nutrientes por debajo de los mínimos exigibles. Las fuentes de materia orgánica que se utilizan normalmente son el abono procedente de granjas, residuos de los hongos, residuos domésticos, residuos procedentes del procesado de madera, turba y mulch, siempre con el debido control. El aporte de materia orgánica supone:
 - 🌲 Mejorar la capacidad de retención del agua.
 - 🌲 Incrementar el drenaje y la aireación.
 - 🌲 El cambio de suelos ligeramente arenosos o rocosos.
 - 🌲 Una reserva de humus y de nutrientes a largo plazo.
 - 🌲 Aumentar la estabilidad superficial.
 - 🌲 Disminuir la escorrentía superficial.
 - 🌲 Favorecer la germinación.



Plantaciones con mejoras edáficas

- 🌲 La **fertilización química** consiste en un aporte de nutrientes (nitrógeno y fósforo, especialmente) complementario al aporte de materia orgánica y esencial para que la recuperación del terreno tenga éxito.
- 🌲 El nitrógeno debe añadirse más a menudo que otro fertilizante ya que supone un componente esencial para el desarrollo de las plantas.
- 🌲 Al comienzo de la siembra sería conveniente incorporar nitratos (NO_3^-), de fácil asimilación para posteriormente añadir urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) de asimilación más lenta.
- 🌲 También se puede aportar nitrógeno sembrando gramíneas y leguminosas que son capaces de captar nitrógeno atmosférico y fijarlo en sus raíces, por lo que en ese caso habría que añadir menor cantidad de nitrógeno durante el desarrollo de las leguminosas.

Es aconsejable la utilización de fertilizantes químicos compuestos ya que se reduce el número de pasadas de los vehículos de siembra y se reduce la posibilidad de compactar el suelo.

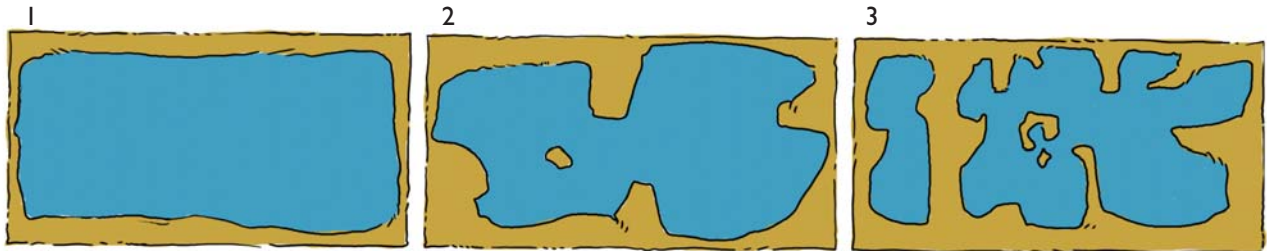
Otras operaciones complementarias

Existen otras técnicas que se pueden utilizar para preparar el suelo y son las siguientes:

- 🌲 **Mulch:** consiste en la aportación de materiales orgánicos o inorgánicos que se aplican como cubierta protectora de la superficie y que se utilizan para reducir la evaporación, la erosión, el efecto del agua de escorrentía, el contraste de temperaturas, etc. y para proteger las semillas que se incorporen posteriormente.
- 🌲 **Estabilizadores:** son materiales orgánicos o inorgánicos que se aportan con objeto de aglomerar las partículas dispersas en el suelo aumentando la retención de agua y la porosidad del suelo, mejorando sus condiciones bióticas. Se utilizan en la siembra, plantación convencional y sobre todo en la hidrosiembra porque liga las partículas al mulch. Se fabrican a partir de productos naturales como algas (alginatos), derivados de almidón, caucho, resinas, etc. o por síntesis química, plásticos, polímeros acrílicos, emulsiones bituminosas, etc.
- 🌲 **Fungicidas y repelentes:** se utilizan para proteger las semillas de la acción de hongos, pájaros, roedores, hormigas, etc. Tienen un cierto grado de toxicidad por lo que presentan un riesgo al pasar a la cadena trófica.
- 🌲 **Retenedores de la humedad:** absorben una cierta cantidad de agua que van soltando poco a poco de forma que favorecen el enraizamiento de las plantas.

6.11 Creación de lagunas

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



Forma de las orillas de una laguna: 1: caso poco favorable para el desarrollo de la vegetación y de la fauna (orillas sin salientes); 2: Caso intermedio (penínsulas y pequeñas islas); 3: Caso muy favorable (orillas muy sinuosas con penínsulas pronunciadas, islas y laguna dividida en dos)

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



Ejemplos de humedales (fotos izquierda y central: D. G. de Medio Natural; foto derecha: I. Gámez)

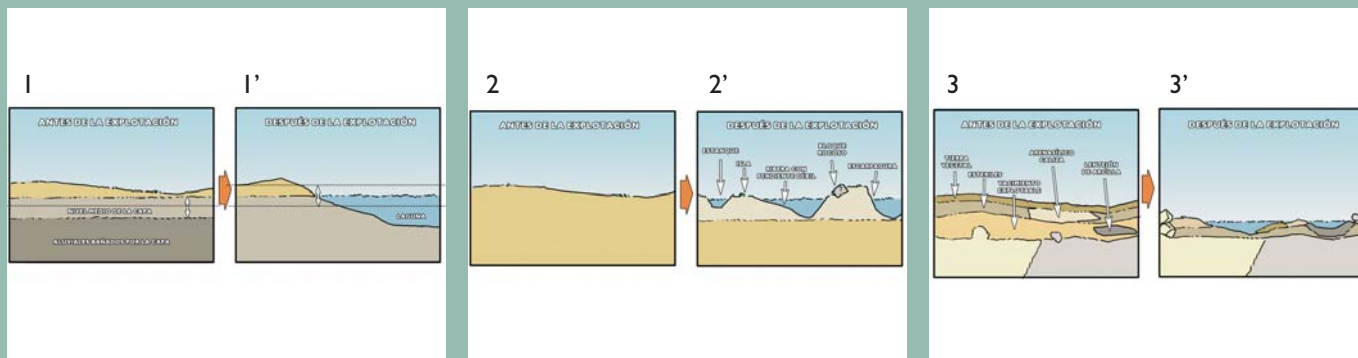
Para la restauración del humedal, previamente se requiere remodelar el hueco de la gravera, para lo que se tendrán en cuenta los siguientes criterios:

6.1.1.1 Profundidad del agua

La profundidad del agua determinará el número y la variedad de animales y plantas. Existen tres casos:

- Las zonas con aguas someras pueden ser fácilmente colonizadas por la vegetación. Si se mantienen las orillas con poca vegetación, se favorecerá la aparición de especies limnícolas (correlimos, zarapitos, archibebes, ...) y patos de superficie. Estas zonas someras pueden crearse rellenando con estériles o materiales inertes.
- Las zonas de más de 1,5 m de profundidad no tienen plantas emergentes y si macrófitos sumergidos y, si el desarrollo de la vegetación es adecuado, se favorecerá la aparición de poblaciones de invertebrados, peces y anfibios. Suelen ser zonas habitadas por fochas y patos de superficie.

- Las zonas de aguas profundas albergan más o menos plantas acuáticas dependiendo del grado de turbidez y eutrofización del agua. En el caso de que los sedimentos sean ricos en moluscos, quironómidos y otros invertebrados, se favorecerá la aparición de peces, patos buceadores, zampullines y somormujos.



Formación de lagunas: 1: Modificaciones hidráulicas; 2: Modificaciones topográficas; 3: Modificaciones del sustrato: Antes de la explotación únicamente aflora la tierra vegetal mientras que después se diversifican los afloramientos y los suelos

6.11.2 Incremento de la diversidad de los hábitats

El diseño apropiado de las orillas, supone un incremento de la diversidad de los hábitats.

- En zonas de aguas muy someras (10-30 cm), la pendiente de la orilla debe ser muy suave (1:100).
- Es conveniente dotar al terreno de pendientes continuas y lisas, con depresiones generando profundidades mayores al resto y elevaciones que sobresalgan del agua.
- Los taludes verticales cercanos al agua, son lugares ideales para la anidación de aviones zapadores, martines pescadores o abejarucos.
- En las zonas expuestas a la erosión de las olas, es conveniente escalonar las orillas para que las olas al incidir contra el fondo vayan perdiendo altura y energía.

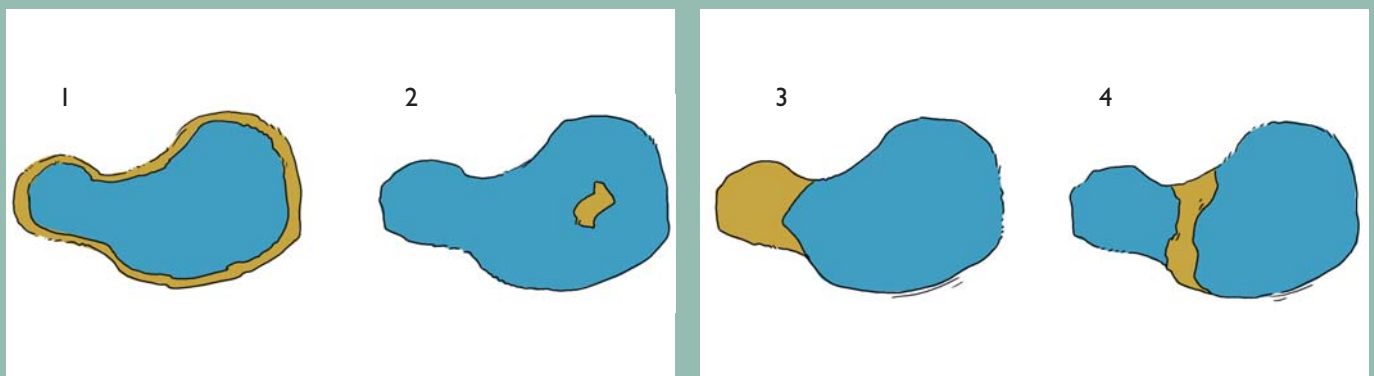


Detalles de la vegetación (foto derecha: D. G. de Medio Natural)

6.11.3 Forma

La forma es muy importante si se pretende darle al humedal un uso natural:

- Para una determinada superficie de agua, la longitud de la orilla ha de ser lo mayor posible, confiriendo al hueco una forma alargada e irregular, creando salientes y entrantes.
- Conviene dar a la laguna una forma irregular, durante la fase de explotación, extrayendo material de forma selectiva o bien vertiendo estériles en diferentes puntos de la excavación formando penínsulas y salientes.
- En el caso de que exista una sola laguna, se puede dividir en superficies más pequeñas mediante diques y rellenos creados durante la explotación dejando zonas de material sin explotar.



Alternativas para el uso de los materiales de relleno: 1: Reparto en las orillas; 2: Construcción de una isla; 3: Realización de una zona de aguas someras; 4: Separación en dos lagunas

6.11.4 Construcción de islas y zonas de anidamiento

La construcción de islas y zonas de anidamiento para las aves favorece el crecimiento de la colonia:

- Han de construirse de diferentes formas y tamaños, con pequeñas ensenadas protegidas del viento para que las aves puedan descansar y alimentarse.
- Los taludes circundantes a las islas deben tener una pendiente suave para facilitar el regreso de las aves y animales a la isla.
- No deben construirse islas de gran altura que impidan la visión panorámica del lago.
- Las islas más expuestas al viento se diseñarán con mayor altura (2 metros por encima del nivel del agua), con objeto de que actúen como pantallas de protección.
- Las islas deben construirse lo más alejadas de las orillas (más de 50 metros) para que estén protegidas de los depredadores.
- Es preferible construir varias islas a una sola grande, variando su tamaño desde un mínimo de 10 m² hasta un máximo de 1.000 m².



Colonización por la fauna (foto: I. Gámez)



Vista de un humedal

6.11.5 Construcción de posaderos

Los posaderos son islas o penínsulas alargadas que las aves utilizan para descansar.

- 🌲 Para mantener estas áreas sin vegetación, se pueden cubrir con una lámina de plástico recubierta por una capa de arena o grava o bien plantar árboles que eviten el crecimiento de otras plantas.
- 🌲 Cuando los árboles crezcan, se pueden cortar y dejar sobre el agua, creando posaderos.

6.12 Reposición de la vegetación y de la fauna

Una vez reconstituido, el suelo no debe permanecer expuesto a la intemperie durante mucho tiempo, por lo que se recomienda sembrar o plantar en él con la mayor brevedad, obteniéndose los siguientes beneficios:



Repoblación vegetal



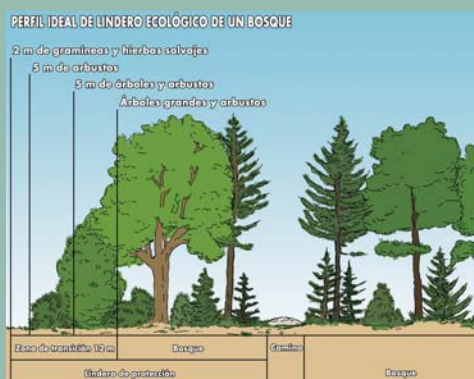
Plantación de frutales



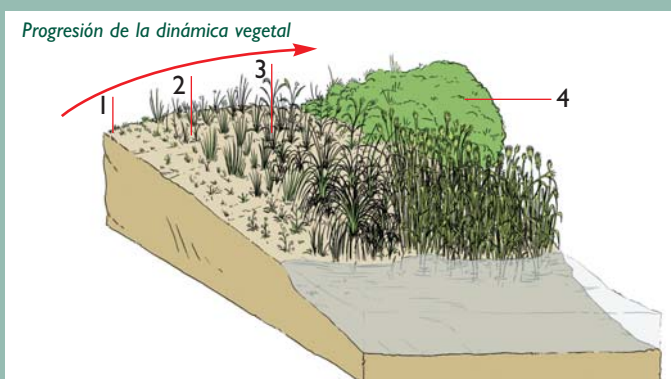
Colonización con vegetación autóctona

- 🌲 Las raíces contribuyen a estabilizar el suelo.
- 🌲 Se mejora la capacidad portante.
- 🌲 Se previene el colmatado de los poros por las partículas finas.
- 🌲 Favorece la actividad biológica y el enriquecimiento en nutrientes.
- 🌲 Se protege contra los deslizamientos.
- 🌲 Se restablece el equilibrio ecológico original facilitando la colonización natural de especies naturales.
- 🌲 Se protege contra la erosión y la desertización.

TABLA 19	FUNCIONES DE LA VEGETACIÓN
BIODIVERSIDAD	Comunidades mixtas Heterogeneidad de especies Estratificación en altura Colonización por la fauna Efecto estético
PAISAJE	Alternativas: Integración en el paisaje o ruptura con el entorno
PROTECCIÓN DEL SUELO	Plantas con sistemas radiculares desarrollados
HIDROLOGÍA	Favorece la infiltración de la lluvia
CULTIVO	Agricultura Madera
OTRAS	Recreo



Perfil de un lindero ecológico de un bosque



Diversidad de especies en las orillas de una laguna: 1: plantas pioneras anuales; 2: plantas vivaces de primera generación; 3: plantas vivaces de segunda generación; 4: arbustos

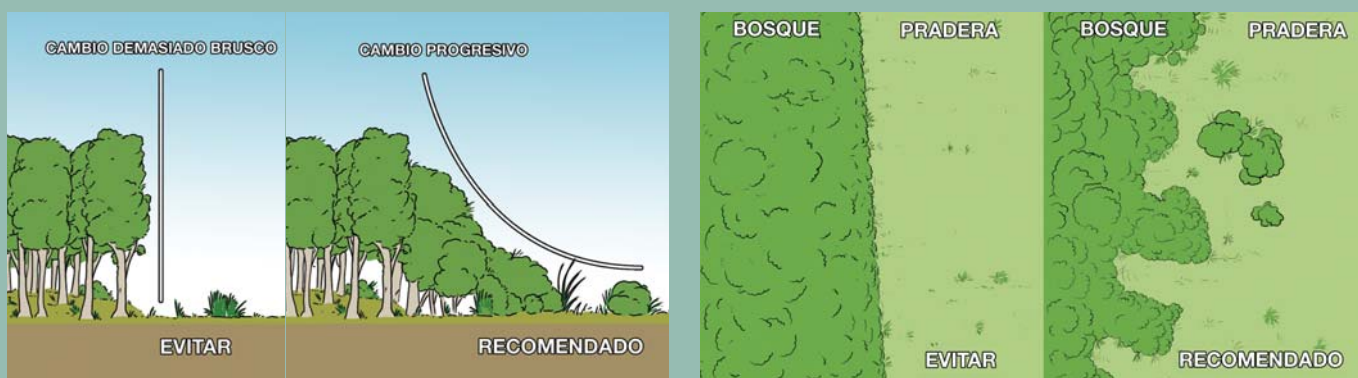
En general, la capa superficial recién colocada no necesita ser removida ni ser abonada, aunque esto último es normalmente beneficioso, aportando entre **25 a 50 t de fertilizante por hectárea** (ver 6.10.5). Desde el primer momento es posible realizar un sembrado manual o la plantación de los árboles.

Hay que insistir en que, durante un cierto tiempo, el suelo es muy vulnerable al paso de equipos pesados como tractores, etc., por lo que **hay que buscar una puesta en cultivo productivo progresiva** que evite un impacto negativo a largo plazo sobre aquel.

En la plantación, hay que tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- 🌲 Determinar la(s) especie(s) más adecuada(s), su porte y, en su caso, su densidad relativa por unidad de superficie y su distribución en el terreno.
- 🌲 Obtener una masa vegetal estable y adaptada a las condiciones ecológicas del lugar.
- 🌲 Lograr que el mantenimiento requerido sea mínimo, evitando sistemas inestables que requieran frecuentes cuidados (riegos, abonados, etc.).

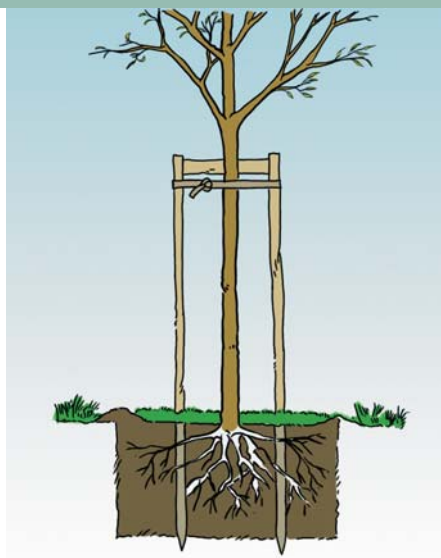
- 🌲 Buscar un número de ejemplares por unidad de superficie que favorezca una selección cualitativa posterior y que se adecue al objetivo previsto en ese tipo de restauración.
- 🌲 Una excesiva concentración de ejemplares dificultará el crecimiento.
- 🌲 Un número demasiado bajo puede llevar a una vegetación rala en el caso de pérdida de plantones.



Zonas de transición de arbolado

- 🌲 El proceso de trasplante tiene que realizarse adoptando precauciones para no lesionar los plantones, o someterlos a cambios bruscos en cuanto a condiciones de humedad y de temperatura.
- 🌲 Hay que tener cuidado con las plantas de invernadero, ya que pueden no estar adaptadas a las condiciones reales de la zona a restaurar.
- 🌲 Puede ser interesante constituir un pequeño vivero en la propia explotación para que las plantas estén lo más adaptadas que sea posible.
- 🌲 Es muy importante la protección de las raíces.
- 🌲 Hay que elegir la época del año más adecuada para la plantación o la siembra, según el tipo de planta.

¿Cómo plantar un árbol?



1. Seleccionar un árbol con el tronco y las ramas sin mellas o heridas
2. Cavar un hueco de volumen netamente superior al tamaño de las raíces (el doble)
3. Depositar en montones separados las capas superficial e inferior del suelo
4. Si es posible, colocar una capa de piedras en el fondo del hueco para favorecer el drenaje
5. Disponer las raíces en el hueco sobre un pequeño montón de tierra vegetal y fertilizante
6. Clavar un tutor bien profundo, entre las raíces sin afectarlas
7. Echar en el hueco el resto de la tierra vegetal y se aprieta hasta que quede firme
8. Conformar el alcorque
9. Regar
10. Añadir fertilizantes
11. Atar el árbol al tutor con un elemento flexible
12. Colocar un protector contra roedores, si es preciso

6.12.1 Selección de especies

La clave de una buena restauración depende, en gran medida, de la adecuada selección de especies vegetales, de la elección de los métodos de establecimiento, la naturaleza de la zona a restaurar, el clima y el uso posterior que se le va a dar al área recuperada. Como se ha visto en el capítulo 5, el tipo de restauración tiene que ser coherente con el territorio y los usos previstos, tanto desde el punto de vista ecológico como paisajístico.



Plantación de pinos



Plantones dispuestos para ser utilizados

Un factor determinante a la hora de seleccionar las especies es considerar sus preferencias edáficas y climatológicas. En efecto, el tipo de roca existente determina, a consecuencia de los procesos de alteración y erosión, las diferentes formas del relieve, que definen, a su vez, factores tan importantes para la vegetación como el microclima o el balance hídrico. Además, las propiedades del suelo (capacidad de retención de agua, riqueza en bases, etc.) tienen una influencia directa muy importante sobre las comunidades vegetales. Así, la mayor o menor riqueza en bases determina la posibilidad de pervivencia de algunas especies. Por ejemplo, en las bermas de las canteras de zonas calizas pueden emplearse especies arbóreas como *Pinus halepensis* o *Pinus nigra*, en función de la precipitación del lugar. En zonas de yesos la selección de especies cobra mayor importancia, ya que la mayoría no son capaces de sobrevivir en estos ambientes. En el Anexo I se propone una serie especies a emplear en la revegetación de estas zonas en función de sus características.

La procedencia de las especies a emplear deberá contar con la autorización previa de la Dirección General de Medio Natural, con el fin de garantizar su origen.

En consecuencia, las especies de semillas o árboles han de seleccionarse pensando:

- 🌲 El uso final previsto.
- 🌲 La necesidad de agua y de nutrientes.
- 🌲 La velocidad de crecimiento deseada.
- 🌲 Los factores ecológicos de la zona y la naturaleza de los suelos:
 - 🌲 Tipo de clima (temperaturas, precipitaciones, humedad, vientos y heladas, horas de sol).
 - 🌲 Edafología, pedregosidad-rocosidad, litología, granulometría etc.

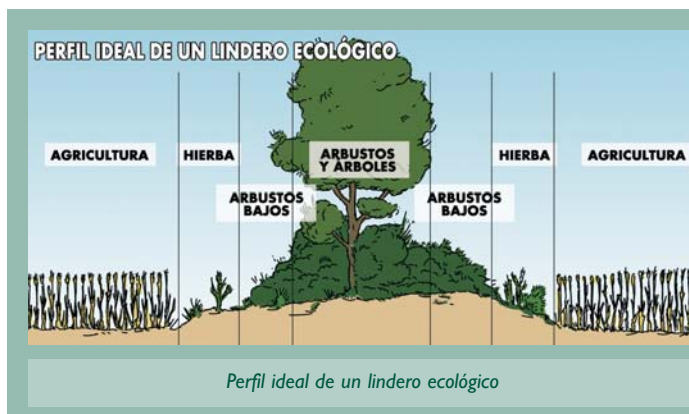
NECESIDAD HÍDRICA DE LAS PLANTAS				
	Mayor			Menor
Hidrófilas	Mesohidrófilas	Mesófilas	Mesoxerófilas	Xerófilas

- 🌲 Fisiografía (orientación respecto al sol, inversiones térmicas, altitud, pendiente).
- 🌲 Vegetación existente en el entorno. Los datos procedentes del estudio del medio ambiente de la zona de la explotación, así como de las áreas próximas son una buena pista para determinar el tipo de especies arbóreas que se puede desarrollar sin problemas. Las series de vegetación que se corresponden con esos entornos también pueden ser tomadas como orientación³.

También se basará en estos principios la selección de especies arbustivas y herbáceas sin olvidar los helechos y los hongos.

En el Anexo I, se recoge el **listado de especies vegetales para la recuperación de zonas degradadas en La Rioja**, elaborado por la Consejería de Turismo, Medio Ambiente y Política Territorial **que puede servir de gran utilidad en la elección de especies vegetales a implantar**. Incluye listados de especies arbóreas, leñosas bajas y herbáceas que se recomiendan emplear en función de la zona, tipos de suelo, ...

- 🌲 Clase de suelo y características (humedad, espesor, textura, estructura, contenido en materia orgánica, acidez, capacidad de retención de agua, ...).
- 🌲 Factores erosivos.
- 🌲 La presencia de depredadores:
 - 🌲 Ganado (vacas, ovejas, cabras, ...).
 - 🌲 Silvestres (liebres, conejos, ...).
- 🌲 Su disponibilidad en el mercado y su coste (semillas, plantas, plantación, cuidados, plazo de crecimiento, ...).
- 🌲 La dificultad de su colocación.



Es obvio que **el fin de la restauración es que la vegetación que se implante pueda sobrevivir tras el abandono y clausura**. Por este motivo, hay que ser muy cuidadosos en el caso de introducir especies no habituales o exóticas no adaptadas o que, incluso, pudieran desequilibrar el ecosistema del entorno.

Por esto, la repoblación mediante plántulas de especies vegetales arbustivas y arbóreas consecuentes con el inventario botánico y la potencialidad de la zona es, normalmente la opción más acertada. Es preciso evitar la introducción de especies invasoras ya que generarán un desequilibrio del ecosistema.

Otro factor clave para el éxito de la revegetación es una **elección cuidadosa de la época de siembra y de plantación**, para asegurar la supervivencia de las especies. En climas mediterráneos, la mejor época es el final del verano y el principio del otoño, justo antes o después de las primeras lluvias otoñales. En zonas frescas o de climas oceánicos, el periodo se puede prolongar hasta finales del invierno y la primavera temprana.

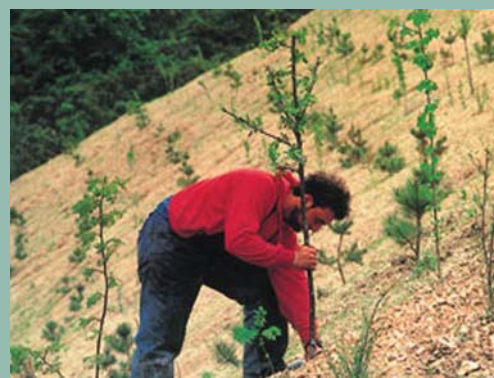
Se considera necesaria la inclusión, en el presupuesto de la Restauración, de partidas para el riego de la plantación durante los dos primeros años y para la reposición de mallas por posibles pérdidas en ese periodo.

La propuesta intencional de dejar áreas desnudas, desprovistas de suelos y vegetación, sólo podrá justificarse por la presencia de afloramientos de interés geológico o por la concordancia con otros roquedos naturales presentes en la zona, aunque en éste último caso podría ser necesaria la aplicación de técnicas especiales de tratamiento de la roca (micromoldeados y envejecimiento artificial de ésta), indicado en el apartado [6.6.4](#)

³ "Memoria del Mapa de Series de Vegetación de España" Salvador Rivas Martínez

Canteras y graveras

Deben estudiarse las **especies naturales** que habitan en la zona donde se ubique la cantera o gravera (ver capítulo 3 y anexo) y escoger aquellas que sean **capaces**, no **sólo de colonizar las zonas alteradas de la forma más efectiva**, sino de **beneficiarse mutuamente creando sinergias entre ellas**. Así por ejemplo, las **heliófilicas** y las **pináceas**, pueden proteger a otras especies delicadas o en etapas juveniles como las **quercíneas**.



Plantación y cuidado de la vegetación

La **siembra de herbáceas** es **necesaria** en todas aquellas **superficies que se estime conveniente con el fin de frenar los procesos erosivos, evitar la proliferación de polvo y aumentar la estabilidad de los suelos**.

La **densidad y distribución de la cubierta vegetal** que se establezca debe **adaptarse a las características del entorno** salvo, evidentemente, que éste se encuentre en una fase de degradación o recuperación post-incendio.



Conservación de la vegetación



Área revegetada

Deben evitarse las formaciones monoespecíficas ya que:

- 🌲 Disminuyen la resistencia al fuego, enfermedades y parásitos.
- 🌲 El efecto estético es **de menor valor que en las formaciones pluriespecíficas**.
- 🌲 Disminuye la biodiversidad.

🌲 La colonización de animales es menor.

🌲 Su utilización recreativa es menor.

Es recomendable la alternancia de especies de características complementarias: especies de hoja caduca con otras de hoja perenne, de crecimiento lento y de crecimiento rápido, rastreras, gramíneas y leguminosas, etc.

En un terreno fuertemente empobrecido, una de las primeras labores a realizar podría ser la de inocular hongos que favorezcan la formación de micorrizas. Las micorrizas son asociaciones entre un hongo y la raíz de una planta. Esta asociación aumenta considerablemente las posibilidades de supervivencia de las plantas en un medio pobre en nutrientes.

Lo más adecuado es comenzar la **siembra en primavera y otoño**, utilizando una mezcla de gramíneas y leguminosas ya que ofrecen buenos resultados a corto plazo y enriquecen el suelo con nitrógeno.

Evidentemente, en el caso de restauraciones para uso agrícola, la selección de especies a plantar dependerá, en su caso, de lo acordado con el propietario del terreno.

La mayoría de las semillas herbáceas utilizadas en España en revegetación de zonas degradadas son producidas por empresas extranjeras e importadas por las empresas de semillas españolas o con sede en nuestro país. Por tanto, habrá que tener cuidado **exigir en los proyectos que el material vegetal sea autóctono** para tener éxito en las siembras.

Como ya se ha indicado anteriormente, en el Anexo I se halla un **listado de especies vegetales para la recuperación de zonas degradadas en La Rioja**.

La legislación de esta Comunidad regula la certificación de las especies que se establecen en el listado y en la siguiente tabla. La Resolución 411/2004, de 13 de enero, de la Consejería de Turismo, Medio Ambiente y Política Territorial de La Rioja, regula los materiales de base para la producción de materiales forestales de reproducción identificados, en desarrollo del Real Decreto 289/2003, de 7 de marzo, sobre comercialización de materiales forestales de reproducción, en orden a garantizar su valor genético e identidad.

TABLA 20	ESPECIES A UTILIZAR EN HIDROSIEMBRAS SOMETIDAS AL REGLAMENTO TÉCNICO DE CONTROL Y CERTIFICACIÓN DE SEMILLAS Y PLANTAS FORRAJERAS	
	GRAMÍNEAS	LEGUMINOSAS
	<i>Agrostis capillaris</i> L.	<i>Hedysarum coronarium</i> L.
	<i>Agrostis stolonifera</i> L.	<i>Lotus corniculatus</i> L.
	<i>Alopecurus pratensis</i> L.	<i>Lupinus angustifolius</i> L.
	<i>Arrhenatherum eliatum</i> (L.)	<i>Medicago lupulina</i> L.
	<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	<i>Medicago sativa</i> L.
	<i>Dactylis glomerata</i> L. Beauv. Ex J. & C. Presl.	<i>Onobrychis viciifolia</i> Scop.
	<i>Festuca arundinacea</i> Schreber	<i>Trifolium alexandrinum</i> L.
	<i>Festuca ovina</i> L.	<i>Trifolium hybridum</i> L.
	<i>Festuca pratensis</i> Huds.	<i>Trifolium pratense</i> L.
	<i>Festuca rubra</i>	<i>Trifolium repens</i> L.
	<i>Lolium multiflorum</i> Lam	<i>Trifolium resupinatum</i> L.
	<i>Lolium perenne</i> L.	<i>Vicia villosa</i> Roth
	<i>Phleum pratense</i> L.	

Fuente: Catálogo de especies herbáceas y leñosas bajas autóctonas para la revegetación de zonas degradadas de La Rioja - Consejería de Turismo, Medio Ambiente y Política Territorial

Lagunas y humedales

Cuando la restauración busque la creación de lagunas y humedales, éstos deben revegetarse con plantas propias de la zona, incluidas plantas acuáticas, emergentes y flotantes, árboles y arbustos de ribera y pastos.

🌲 Las plantas acuáticas deben disponerse en zonas marginales, hasta alcanzar los 2 metros de profundidad.

🌲 Las plantas palustres (carrizos, juncos, eneas, lirios de agua, etc.) pueden desarrollarse en zonas sumergidas hasta 1 ó 2 metros bajo el agua. Protegen las orillas contra la erosión y generan materia orgánica y detritos, proporcionando un hábitat ideal para el desarrollo de peces, renacuajos y otros invertebrados.



Trabajos de plantación



Plantas en vivero

En la siguiente tabla se indican las necesidades de varios grupos de fauna.

TABLA 21 NECESIDADES DE VARIOS GRUPOS FAUNÍSTICOS

	REFUGIOS CONTRA EL VIENTO	SOL	AGUAS SOMERAS	ZONAS RIBERENAS	MARJALES	CHARCAS	PLANTAS SUMERGIDAS	VEGETACIÓN EMERGENTE	HERBAZALES	ÁRBOLES Y ARBUSTOS	ISLAS Y BALSAS	TRANQUILIDAD
Libélulas	x	x	x			x	x	x	x	x		
Mariposas	x	x						x	x	x		
Peces			x				x					
Anfibios		x	x	x	x	x	x	x	x			
Zampullín y Somormujo			x				x	x				x
Garza real			x		x							x
Cisne			x				x				x	x
Anatidas	x		x	x	x		x	x	x		x	x
Aves Migratorias			x	x	x						x	x
Martín Pescador	x		x									x
Nutria			x	x	x		x	x	x			x

Fuente: IGME

6.12.2 Métodos de revegetación

Los métodos tradicionales de revegetación son los siguientes:

Siembra

Consiste en la **aportación de semillas a un terreno que ha sido previamente preparado**, esparciéndolas de forma aérea, a voleo, en hilera, etc, ... Como dosificación, en general, se emplean de 5 a 15 gramos de semillas por metro cuadrado para las especies arbustivas y leñosas bajas y de entre 30 a 40 gramos por metro cuadrado para las especies herbáceas.

Tiene como objetivo prioritario establecer una **cobertura vegetal** baja y densa que sea **capaz de proteger al suelo de la erosión, los deslizamientos, las temperaturas extremas, etc.** o la plantación de especies útiles para cultivos agrícolas.

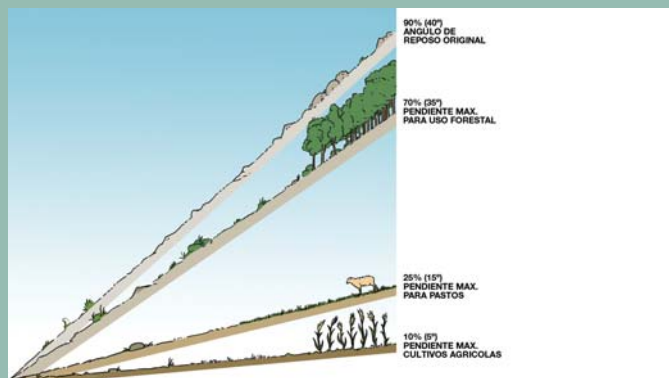
La **siembra en hileras** se realiza, en terrenos de relieve suave donde pueda trabajar un tractor, mediante una única pasada en la que se depositan las semillas en surcos previamente abiertos con un arado de discos, que se cierran con el propio apero y se compactan con un rodillo.

La **siembra a voleo, manual o neumática**, es un método sencillo y económico que consiste en depositar las semillas sobre el terreno. Se puede emplear en terrenos más escarpados, pero tiene el inconveniente de dejar expuestas a la desecación y al arrastre a las semillas, distribuyéndose de forma irregular. Conviene realizar dos aplicaciones trabajando en sentidos perpendiculares para mejorar la distribución espacial.

TABLA 22 SIEMBRA		
PROCEDIMIENTO	VENTAJAS	INCONVENIENTES
<ul style="list-style-type: none"> · Preparación del suelo · Aportación manual o mecanizada · Cubrición de la semilla (tierra, mantillo, etc.) · Riego (cuando proceda) 	<ul style="list-style-type: none"> · Sistema económico · Rapidez y sencillez · Actuación sobre grandes extensiones · Poca mano de obra · Desarrollo inicial de las raíces más importante 	<ul style="list-style-type: none"> · Semillas y plántulas vulnerables · Grandes cantidades de semillas · Evitar mezclas comerciales de semillas (riesgo de especies no aptas o invasoras). Seleccionar mezclas realizadas específicamente para el caso · Cuidadosa preparación del terreno · Dificultades en casos de ausencia de precipitaciones · Heterogeneidad de la distribución espacial



Hydroseembra



Pendientes máximas para distintos usos del terreno



Cultivos agrícolas



Árboles preparados para ser plantados

Hidrosiembra

La hidrosiembra con especies herbáceas permite la creación, en un periodo más corto de tiempo, de una cubierta vegetal de protección con el fin de evitar la aparición de fenómenos erosivos, sobre todo en los taludes, acompañada de la realización de plantaciones de especies leñosas mediante ahoyados. La densidad mínima de plantación de estas especies leñosas será de 1660 plantas / ha (marco: 3*2).

La hidrosiembra es la proyección a gran presión sobre la superficie del terreno de una mezcla de agua y semillas con otros aditivos opcionales como fijadores, fertilizantes y mulches o acolchados.

Está especialmente indicada para superficies de gran pendiente, terrenos poco consolidados y espacios inaccesibles a la maquinaria convencional.

Las mezclas incluirán semillas del tipo "estarter", que favorecen el progreso inicial, y se evitarán plantas de gran desarrollo en altura.

Es más eficaz efectuar dos o más pasadas de hidrosiembra con una dosificación más ligera que realizar una sola con fuerte carga.

En esta técnica se emplea un camión cisterna con un cañón hidráulico que proyecta, a una presión de 5 a 10 atmósferas, una dosis de entre 2 y 5 litros por metro cuadrado. La mezcla es, normalmente de entre el 10 y el 15 %, aumentándose la dosis de fijador y mulch en zonas de mayor pendiente.

Aunque las dosificaciones varían en función de las circunstancias particulares, un caso tipo es el siguiente:

- 🌲 Semillas: 200-300 kg / ha.
- 🌲 Agua: Muy variable 25 m³ / ha.
- 🌲 Fertilizante: 300 kg / ha.
- 🌲 Mulch: 500 kg / ha.
- 🌲 Estabilizante: 100 kg / ha.

TABLA 23 LIMITACIONES PARA LA SIEMBRA EN HILERAS, A VOLEO E HIDROSIEMBRA			
	SIEMBRA EN HILERAS	SIEMBRA A VOLEO	HIDROSIEMBRA
PENDIENTE	<15°	No se puede efectuar en pendientes superiores a 20°	Independientemente de la pendiente, con manguera se pueden alcanzar 50 m y con brazo extensible mecánico hasta 500 m
ESTACIÓN	Suelos bastante húmedos	Estación templada con suficientes lluvias; extendido del mulch en el periodo de crecimiento	
PLUVIOMETRÍA	Importante	Crítica	Crítica
PEDREGOSIDAD Y AFLORAMIENTOS ROCOSOS	Libre de rocas y piedras	Crítica: fisuras y grietas en las rocas y piedras permiten que las semillas se introduzcan y puedan encontrar mejores condiciones microclimáticas para germinar	
COMPACTACIÓN	Ligeramente aceptable	Inaceptable	Inaceptable
NIVEL DE SEMILLAS	Son suficientes niveles bajos	Niveles altos	Niveles altos para compensar las pérdidas
DISTRIBUCIÓN DE SEMILLAS	Uniforme; en hileras	Aleatoria	Aleatoria
FERTILIZACIÓN	Operación separada de la siembra	Operación separada de la siembra	Se puede efectuar en la misma operación, pero no se realiza a profundidad
MULCH	No es necesario	Necesario (operación diferente)	Necesario, se puede efectuar en una misma operación
EQUIPAMIENTO	Tradicional	Método manual o mecánico	Equipamiento especial
COSTE	En general es bajo	Muy barato. La adición de mulch puede encarecer la técnica	Caro

Fuente: Coppin, N.J. and Bradshaw, A.D.

Siembra con mulch en seco

Procedimiento similar a la hidrosiembra pero en el que, **tras la hidrosiembra** de las semillas, **el mulch se extiende en seco por aire comprimido**, con una densidad de entre 4 y 6 toneladas por hectárea. **Se emplea cuando las semillas puedan estar excesivamente expuestas al riesgo de desecamiento o cuando el riesgo de erosión sea elevado**, ya que la capa que se crea ofrece mayor protección al ser más espesa.

Colocación de rollos biodegradables

La colocación manual de **rollos de telas de fibras naturales biodegradables presembradas** protege el suelo de la erosión y restablece la cubierta vegetal. La posterior descomposición de la tela permite, además, la fertilización del suelo.

Los **tepes** -láminas de tierra recubierta de césped que se recortan para trasplantarlas en otro lugar- con especies resistentes que requieran poca cantidad de agua y poco mantenimiento son una forma rápida de recuperar taludes de poca pendiente, aunque tienen un coste más elevado y requieren una descompactación previa del suelo. Existen tres tipos de tepes:

- 🌲 Cultivados en vivero.
- 🌲 Cultivados sobre geotextil, más baratos y fáciles de manipular.
- 🌲 Naturales, creados al retirar con precaución el césped de las zonas en las que se va a modificar el terreno que, aunque menos consistentes, están formados por plantas adaptadas a las condiciones del lugar.

Siembra en hoyo

Tras excavar unos hoyos de pequeñas dimensiones, se realiza la **introducción manual de las semillas**. Es un método poco empleado por sus resultados a largo plazo.

Plantación

La plantación es el método más habitual de establecimiento de vegetación cuando las condiciones de la zona de tratamiento no son adecuadas para que las semillas germinen y las plántulas se desarrollen.

Consiste en la colocación manual o mecánica de plantas en hoyos preparados al efecto. Permite disponer, desde el principio, de plantas desarrolladas, lo que proporciona una mayor supervivencia de las plantas ya que han superado las fases críticas de su crecimiento. Además, su ubicación es más precisa y proporciona un mejor y más rápido efecto estético. Puede combinarse con la hidrosiembra con especies herbáceas que permitan la aparición, en un periodo más breve de tiempo, de una cubierta vegetal que evite los fenómenos erosivos en los taludes.

TABLA 24 PLANTACIÓN			
REQUISITOS	PROCEDIMIENTO	VENTAJAS	INCONVENIENTES
<ul style="list-style-type: none"> · Plantas en buen estado · Tamaño de la planta adecuado a las condiciones · Raíces siempre húmedas · Espaciamiento suficiente para evitar la competencia entre plantas · Hoyos de profundidad acorde con el sistema radicular · Raíces siempre dispuestas hacia abajo · Evitar las bolsas de aire · Elección de la época adecuada 	<ul style="list-style-type: none"> · Distribución espacial de las plantas (replanteo) · Excavación manual o mecanizada de los hoyos · Fertilización de la tierra excavada · Plantación, propiamente dicha, manual o mecanizada (retroexcavadora, etc.) · Instalación de tutores (si fuera preciso) · Cierre del hoyo · Riego de arraigo · Colocación de sistemas de protección cuando se requieran 	<ul style="list-style-type: none"> · Control del proceso (respecto a la siembra) · Efecto visual más inmediato · Ubicación sobre el terreno más exacta · Mayor índice de supervivencia 	<ul style="list-style-type: none"> · Coste de los plantones elevado (crece con el grado de desarrollo) · Selección de plantas en viveros de condiciones similares al área a repoblar · Necesidad de mano de obra · Cuidados intensivos en transporte, plantación y etapas inmediatamente posteriores · Reposición de mallas

6.12.3 Reintroducción de fauna autóctona

Las propias modificaciones del terreno originadas propician, cuando la gestión es adecuada, la aparición de hábitats donde las especies animales encuentran refugio.

Por ejemplo, en un simple frente de arranque, con sus bermas y taludes, pueden encontrarse biótopos diferentes donde pueden convivir reptiles, insectos, pájaros, etc.

Es muy frecuente encontrar numerosas especies que permanecen desde el inicio de la explotación o que la han colonizado y que han convivido habitualmente con los equipos de trabajo y con los trabajadores.

Una vez recuperada la cubierta vegetal hay que **comprobar el estado de la fauna en la zona**, que puede ser capaz de instalarse por sí sola o bien puede ser **necesaria la reintroducción de especies autóctonas**.

Selección de especies

En el caso de que no sea necesaria la introducción de ninguna especie animal, han de **eliminarse** todos aquellos **impactos que impidan su desarrollo espontáneo y natural**.

Por el contrario, **si se reintroducen especies**, éstas **deben ser autóctonas** ya que las alóctonas pueden causar daños a las primeras o a la vegetación como es el caso del cangrejo americano, de la suelta de conejos, etc.

Medidas para conservar las especies introducidas

Una vez introducidas las especies, se requiere la aplicación de prácticas encaminadas a compatibilizar las actividades productivas, en su caso, con la protección de los biótopos.

Las técnicas empleadas para proteger la biodiversidad deben estar adaptadas a cada situación y al tipo de hábitat existente. Es tarea de la empresa, determinar los procedimientos a aplicar en cada caso:

- 🌿 Estudio de la cadena alimenticia, buscando evitar desequilibrios potenciales.
- 🌿 Estudio de áreas de descanso, dormideros, etc.



En las restauraciones bien realizadas, la presencia de la fauna es un valor añadido



Observatorio de aves

- 🌲 Establecimiento de elementos divisorios entre las áreas restauradas y las que no están afectadas.
- 🌲 Realización de censos de poblaciones, etc.



Reintroducción de la fauna autóctona (fotos central y derecha: F. Guerra)

6.13 Señalización y cerramiento

Otro de los aspectos a tener en cuenta, **durante la restauración**, es la **señalización** y la **protección de zonas**, como huecos, frentes, etc. **que presenten peligro de caída por talud o de caída de bloques desprendidos**, para **impedir el acceso a personas o animales que accedan inadvertidamente**.

Se aplicarán las siguientes medidas donde procedan:

- 🌲 **Señalizaciones** clásicas (propiedad privada, prohibido el paso, prohibido caza y pesca, etc.).
- 🌲 **Pictogramas** (peligro de caída, prohibido el baño, etc.).
- 🌲 **Cercado del perímetro de la explotación**, empleando algunos tipos de vallas como las siguientes:
 - 🌲 Eléctricas, consistentes en uno o dos cables conductores, unos soportes y unos aislantes, además de una fuente de alimentación.
 - 🌲 De postes de madera anclados en el suelo y travesaños del mismo material clavados sobre éstos.
 - 🌲 De malla metálica, con postes metálicos o de madera. El tamaño de los huecos de la malla ha de ser tenido en cuenta para prevenir barreras para la fauna.
 - 🌲 De alambre de espino, también con postes metálicos o de madera.
 - 🌲 De piedra.
- 🌲 **Dispositivos que retengan la caída de piedras o bloques** (mallas, perfiles metálicos anclados al terreno, etc.), si las medidas de estabilización del frente no permitieran evitar este problema.



Cerramiento ecológico



Medidas para la protección de terceros

6.14 Mantenimiento y control

6.14.1 Protección de la vegetación. Cuidados posteriores

Hoy en día, la **vegetación** cumple una **función esencial** en la mayoría de **proyectos de restauración** que pueden desarrollarse. Es necesario crear unas condiciones favorables para el desarrollo y mantenimiento de la vegetación implantada ya que la vegetación espontánea supone una importante competencia para su supervivencia.

Las plantas invasoras pueden llegar a extenderse tanto que desplacen a la vegetación implantada. Se requiere de una vigilancia regular para comprobar la efectividad de las medidas empleadas y prevenir su reaparición.

Entre las tareas que pueden precisarse para conservar la vegetación y potenciar su desarrollo, cabe destacar las siguientes:

- 🌲 **Desbrozado o escardado:** para eliminar toda la vegetación no deseada (hierbas, arbustos, brotes de árboles) por razones de uso del terreno, de seguridad (visibilidad) o para propiciar el crecimiento de una vegetación más interesante.

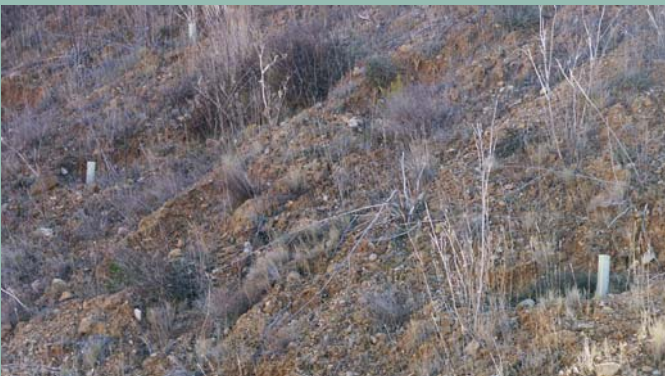


Plantación en hileras



Primer plano de plantaciones. Estacas guía

- 🌲 **Segado:** operación habitual y de periodicidad, al menos anual, que se realiza antes de la floración para mantener un buen aspecto de las praderas o de los sembrados, o incluso para sanear las zonas donde se hayan plantado árboles jóvenes. Este tipo de mantenimiento se emplea igualmente en taludes, cordones de tierra, perímetros de protección, fosos, áreas de tránsito y entre los diferentes equipos e instalaciones fijas de las zonas de la explotación todavía sin restaurar. Esta operación puede realizarse de forma:
 - 🌲 Selectiva, cuando el objetivo sea promover el crecimiento de determinadas especies frente a otras.
 - 🌲 No selectiva, cuando se realiza mecánicamente, para promover el crecimiento de las especies plantadas frente a la vegetación espontánea.
- 🌲 **Desherbado:** acción destinada a eliminar de forma más duradera la vegetación de manera que las plantas que permanezcan puedan desarrollarse más rápidamente sin competencia de otros elementos vegetales para el agua y los nutrientes. Un sistema de gran utilidad consiste en cubrir con plástico el entorno inmediato de las plantas que se quieren potenciar, ya que se evita tener que realizar la operación con frecuencia y se reduce la evaporación del suelo. Antes de optar por una determinada técnica, química (herbicidas) o térmica (quema de rastrojos), es necesario considerar su impacto ambiental inmediato.



Plantones con protecciones

- 🌲 **Poda de árboles y arbustos:** para eliminar los brotes que parten de la base de los troncos, las ramas muertas o enfermas y, en definitiva, sanear las plantaciones existentes. Además permite dar forma al árbol facilitando su cultivo y mejorando, en su caso, la calidad de los frutos. Tiene que hacerse periódicamente y en la época adecuada dependiendo de la especie.
- 🌲 **Riego:** es preciso proporcionar agua abundante a las plantas y a las semillas sembradas desde los momentos iniciales hasta que se haya asegurado el arraigo. El riego de las superficies hidrosebradas deberá realizarse con máximo cuidado para evitar el arrastre de tierras o semillas. No es recomendable efectuar el riego durante periodos de fuertes vientos. Los riegos deben ser frecuentes durante los meses de sequía.
 - 🌲 Puede emplearse agua reciclada del proceso.
 - 🌲 En temporadas cálidas, es preferible regar al anochecer ya que la humedad se conserva por más tiempo.
- 🌲 **Resiembr:** en las zonas más ralas donde se haya producido un déficit en el crecimiento de las especies implantadas, empleando las mismas semillas y dosis que originalmente.
- 🌲 **Reposición de marras:** hasta que se logre la adaptación y el adecuado desarrollo vegetativo de todas las especies introducidas.
- 🌲 **Aporte de nutrientes:** en los estadios iniciales de desarrollo para equilibrar el crecimiento de las plantas.

🌲 **Protección de los árboles y las plantas:** frente a los efectos del polvo, los golpes, la acción del viento, la compactación del suelo producida por el paso de vehículos en su proximidad, la cercanía de los apilamientos de áridos e incluso la acción de los roedores. Han de adoptarse una serie de precauciones relativas a:

- 🌲 Distanciamiento suficiente de pistas, vías de circulación y apilamientos.
- 🌲 Protección de los troncos cuando sea necesario (alcorques en el suelo, vallado).
- 🌲 Colocación de vientos, tutores o estacas-guías, para orientar el crecimiento de las plantas y evitar la acción de los vientos dominantes, tomando medidas para proteger la planta en los puntos de unión.
- 🌲 Empleo de protectores contra roedores (conejos, etc.) e insectos.
- 🌲 Aplicación, cuando se precise, de productos para combatir las plagas (insecticidas, etc.) considerando sus efectos sobre el medio ambiente
 - Es necesario controlar periódicamente su estado para que continúen siendo eficaces y para que no produzcan lesiones a las plantas cuando éstas se desarrollen.

FUNCIONES DE LAS PARTES DE UN ÁRBOL

Las **hojas** cumplen una triple función: captan la radiación solar, permiten la respiración de la planta (intercambio $O_2 - CO_2$) y la transpiración (agua). El **tronco** (o el tallo) transporta la savia y está protegido por la corteza. Las **raíces**, que sustentan y anclan las plantas al terreno, extraen los nutrientes del suelo (sales minerales) y requieren agua y oxígeno.



Plantación manual de pinos en berma



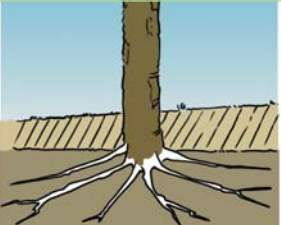
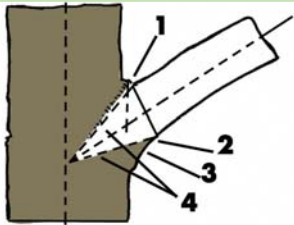
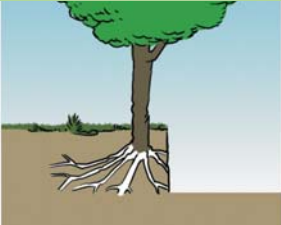
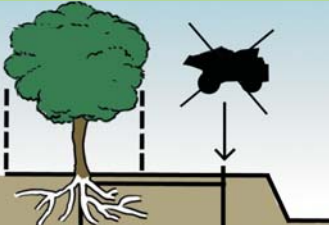


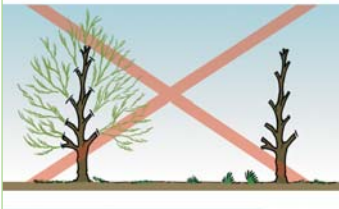
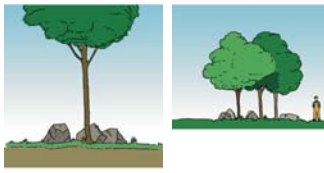
Riego por goteo

TABLA 25		SIEMBRA EN HOYOS
Hoyo de plantación		Marco de plantación
Subarbustos	30x30x30 cm	50-100 cm (2 a 6 plantas / m ²)
Arbustos	40x40x40 cm	100-200 cm (1 - 2 plantas / m ²)
Árboles	>50x50x50 cm	Distancias de 5 a 10 m, según el tamaño del árbol

Fuente: Catálogo de especies herbáceas y leñosas autóctonas para la revegetación de zonas degradadas de La Rioja - Dirección General del Medio Natural - Gobierno de La Rioja

TABLA 26

MEDIDAS DE PROTECCIÓN PARA LOS ÁRBOLES

ACCIONES A EVITAR		ACCIONES A ADOPTAR	
	Depositar materiales de relleno en las proximidades produce enfermedades e incluso asfixia		Quando se produzca el deterioro de una rama, es necesario cortarla para prevenir fenómenos de putrefacción. 1: Arruga de la corteza 2: Corte correcto 3: Cuello de la rama 4: Límite entre los tejidos de la rama y del tronco
	Seccionado de las raíces		Separación de las vías de circulación para evitar la compactación del suelo en las proximidades de los árboles
	Decapado del suelo al pie de los árboles		Protección del tronco cuando exista el riesgo de golpes y erosiones por movimiento de equipos con planchas de madera (temporalmente), con bloques de escollera o creando un ligero relieve del terreno
	Evitar plantar árboles excesivamente próximos		



Ejemplar en desarrollo avanzado



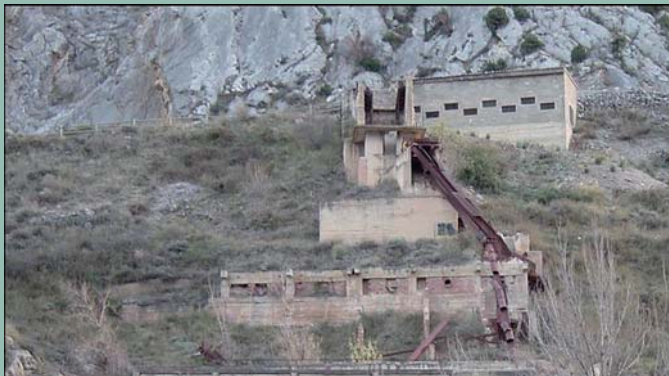
Trabajos de plantación en día del árbol (foto: D. G. de Medio Natural)

6.15 Equipamientos

En las últimas fases de la restauración, en función de su uso previsto, puede ser necesario dotar de equipamientos al área:

- 🌲 Accesos.
- 🌲 Aparcamientos.
- 🌲 Caminos.
- 🌲 Carteles y paneles para la interpretación.
- 🌲 Observatorios de la naturaleza.
- 🌲 Miradores.
- 🌲 Papeleras.
- 🌲 Sanitarios.
- 🌲 Edificios de acogida.

En restauraciones para usos urbanos, industriales o recreativos, puede ser preciso acometer las instalaciones e infraestructuras que correspondan (alcantarillado, viales, red de agua, red eléctrica, etc.)



Mirador para la observación de buitres



Explotación en fase de restauración. Acondicionamiento de una balsa



Carteles informativos



Explotación restaurada tras la clausura



Área de esparcimiento y juegos



Caminos (foto: D. G. de Medio Natural)

6.16 Abandono y clausura: Sostenibilidad de la restauración

Pasado el tiempo de garantía establecido en la autorización correspondiente, **se recuperarán los avales anteriormente depositados si todo ha ido conforme a lo previsto**. En ese momento, si es el caso, se pueden devolver los terrenos a la(s) persona(s) propietaria(s) de los mismos.

Cuando el uso que se le haya dado a los terrenos sea como medio de conservación de la naturaleza éstos deberán evolucionar de forma natural de manera que las actividades de mantenimiento de la zona sean las mínimas indispensables.



Cultivo agrícola



Repoblación forestal



Plantación de cepas Graciano (foto: D. G. de Medio Natural)



Talud colonizado



Zona revegetada



Vivero