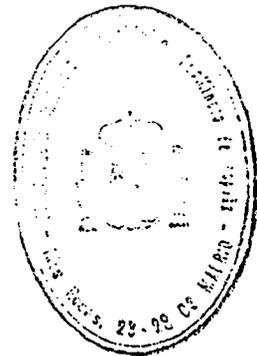


K.-32.648

# GUIA DE RESTAURACION DE GRAVERAS



0/288

ACCN 58037

Esta Guía ha sido realizada por el siguiente equipo técnico:

**INSTITUTO TECNOLOGICO GEOMINERO DE ESPAÑA**

**D. LUCAS VADILLO FERNANDEZ**  
*Director del Proyecto por el ITGE.*

**ESTUDIOS Y PROYECTOS MINEROS, S. A.**

**D. CARLOS LOPEZ JIMENO**  
*Director del Proyecto por EPM, S. A.*

**D.ª M.ª del MILAGRO ESCRIBANO BOMBIN**

**D. SANTIAGO MANGLANO ALONSO**

**D.ª CARMEN MATAIX GONZALEZ**

**D. JOSE M. TOLEDO SANTOS**

## **PRESENTACION**

Las sociedades industrializadas presentan una gran demanda de materias primas, y entre éstas se encuentran los áridos, que constituyen un grupo que representa más del 50 por 100 de todos los minerales consumidos. El uso dado a los áridos es muy variado, y es tan amplia la demanda de arena y grava que el consumo medio nacional supera las 5 toneladas por habitante y año, mientras que en Europa se sitúa entre 7 y 9 toneladas. Estos materiales son básicos para el desarrollo de la economía urbana e industrial (construcción, obras civiles e infraestructura viaria) y se utiliza con asiduidad el nivel de consumo como uno de los índices más representativos de la actividad económica de una región.

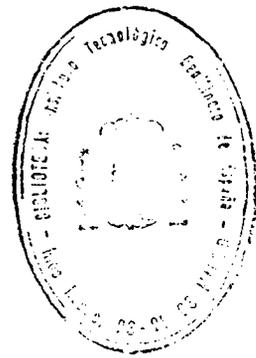
Los principales centros consumidores son las grandes ciudades, por lo que, en general, los yacimientos más intensamente explotados se encuentran muy próximos a ella, en los depósitos aluviales de los ríos. Como consecuencia de esta proximidad, la expansión urbanística está provocando la ocupación de los depósitos de áridos, lo que junto con la existencia de ecosistemas de ribera y la riqueza agrícola de los suelos de la vega limitan la disponibilidad de estos recursos, por lo que podrían empezar a escasear en un futuro próximo.

Por otra parte, la proximidad de las explotaciones incrementa la sensibilidad por los posibles impactos ambientales que comporta y la envergadura de los problemas planteados a la Ingeniería de Restauración. Entre éstos se incluye, por ejemplo, el de la explotación bajo el nivel freático, dejando o no lagunas al final de la explotación.

Por todo ello, el Instituto Tecnológico Geominero de España ha considerado conveniente poner a disposición de los interesados en el tema esta Guía, que ayudará a minimizar los impactos ambientales de las graveras mediante los oportunos Planes de Restauración.

**Camilo Caride de Liñán**  
Director General del ITGE

# INDICE



## CAPÍTULO 1. INTRODUCCION

1. INTRODUCCION.....	1
2. IMPORTANCIA DE LA INDUSTRIA DE LOS ARIDOS NATURALES .....	1
3. ANALISIS Y TENDENCIA DEL SECTOR DE ARIDOS.....	2
4. ESTRUCTURA DE COSTES EN LA EXPLOTACION DE GRAVERAS .....	2
5. LEGISLACION MEDIO AMBIENTAL QUE AFECTA A LAS EXTRACCIONES DE ARIDOS .....	3

## CAPÍTULO 2. GEOLOGIA E INVESTIGACION DE DEPOSITOS NATURALES DE ARIDOS

1. INTRODUCCION.....	5
2. TIPOS DE DEPOSITOS GRANULARES ...	6
2.1. Depósitos fluviales .....	6
2.2. Depósitos marinos .....	7
2.3. Depósitos eólicos .....	7
2.4. Depósitos glaciares .....	7
3. TECNICAS DE PROSPECCION DE YACIMIENTOS GRANULARES.....	7
4. TECNICAS DE INVESTIGACION Y MUESTREO DE YACIMIENTOS GRANULARES...	8
5. CALCULO DE RESERVAS .....	11
6. BIBLIOGRAFIA .....	13

## CAPÍTULO 3. EXPLOTACION DE YACIMIENTOS GRANULARES

1. INTRODUCCION.....	15
2. CRITERIOS DE DISEÑO DE LOS HUECOS DE GRAVERAS .....	16
3. PLANIFICACION DE LAS EXPLOTACIONES .....	17
4. METODOS Y SISTEMAS MINEROS .....	18
5. MAQUINARIA DE EXTRACCION.....	19
6. PREPARACION Y CLASIFICACION DE ARIDOS .....	21
7. BIBLIOGRAFIA .....	24

## CAPÍTULO 4. EL MEDIO FLUVIAL Y RIBEREÑO

1. INTRODUCCION.....	25
2. FACTORES AMBIENTALES.....	25
2.1. Factores ambientales de las riberas ...	25
2.2. Factores ecológicos del río .....	26
3. SUELO .....	27
4. VEGETACION Y FAUNA .....	29
4.1. Vegetación ribereña.....	29
4.2. Vegetación y fauna acuática .....	32
5. PAISAJE .....	35
6. USOS E INFLUENCIAS .....	35
7. DESCRIPCION DEL MEDIO.....	36
7.1. Estudio general (nivel de cuenca) .....	36
7.2. Estudio de detalle .....	36
8. BIBLIOGRAFIA .....	38

**CAPÍTULO 5. ALTERACIONES  
AMBIENTALES  
PRODUCIDAS POR  
LA EXPLOTACION  
DE GRAVAS**

1. INTRODUCCION.....	41
2. IDENTIFICACION DE IMPACTOS .....	41
2.1. Impacto de las operaciones realizadas en las márgenes .....	41
2.2. Impacto de las operaciones realizadas en los cauces y la zona ribereña .....	44
3. RELACIONES CAUSA-EFECTO .....	48
3.1. Efectos físicos e hidráulicos .....	48
3.2. Efectos biológicos.....	50
3.3. Efectos paisajísticos.....	51
4. MEDIDAS CORRECTORAS .....	51
5. BIBLIOGRAFIA .....	55

**CAPÍTULO 6. METODOLOGIA  
PARA LA SELECCION  
DE USOS**

1. INTRODUCCION.....	57
2. USOS POTENCIALES .....	57
2.1. Uso agrícola .....	57
2.2. Uso forestal .....	57
2.3. Uso natural. Recuperación de hábitats .....	57
2.4. Uso recreativo .....	59
2.5. Uso industrial y urbanístico.....	59
3. FACTORES SOCIALES Y NORMATIVA LE- GAL .....	59
4. ESTUDIO DE CAPACIDAD .....	60
5. FACTORES AMBIENTALES.....	63
6. BIBLIOGRAFIA .....	64

**CAPÍTULO 7. PREPARACION DEL  
SUSTRATO**

1. INTRODUCCION.....	65
----------------------	----

2. SUELO Y VEGETACION .....	65
2.1. Características del suelo .....	65
2.2. Textura .....	66
2.3. Estructura .....	68
2.4. Capacidad de retención y disponibilidad de agua .....	68
2.5. Drenaje .....	71
2.6. Disponibilidad de nutrientes y pH .....	71
3. MANEJO Y UTILIZACION DEL SUELO DE COBERTERA .....	71
3.1. Introducción .....	71
3.2. Retirada .....	72
3.3. Almacenamiento .....	73
3.4. Extendido .....	74
4. PREPARACION DEL SUSTRATO .....	75
4.1. Introducción .....	75
4.2. Tratamiento de la compactación. Des- compactación .....	76
4.3. Mejora del drenaje .....	77
4.4. Enmiendas o mejoras edáficas .....	79
4.4.1. Fertilización.....	79
4.4.2. Corrección de pH extremo ...	82
4.4.3. Mejora de la toxicidad .....	83
5. BIBLIOGRAFIA .....	83

**CAPÍTULO 8. ESTABLECIMIENTO  
DE LA VEGETACION**

1. INTRODUCCION.....	85
2. SELECCION DE ESPECIES.....	85
2.1. Introducción .....	85
2.2. Criterios de selección y características de las especies .....	86
2.1.2. Esquema metodológico .....	95
3. METODOS DE IMPLANTACION .....	97
3.1. Introducción .....	97
3.2. Plantación .....	99
3.2.1. Tipo y tamaño de planta .....	100
3.2.2. Técnicas de plantación y pro- cedimiento .....	101
3.2.3. Epoca de plantación .....	105
3.2.4. Densidad de plantación .....	106
3.2.5. Protección de las plantaciones .....	106
3.3. Siembra .....	107
3.3.1. Epoca de siembra .....	109
3.3.2. Dosis de siembra .....	109
4. CUIDADOS POSTERIORES A LA IMPLAN- TACION.....	110
4.1. Riego .....	110

4.2. Fertilización .....	110
4.3. Reposición de marras .....	111
4.4. Colocación de vientos y tutores .....	111
4.5. Control de la calidad del sustrato .....	111
4.6. Aclareo y eliminación de las malas hierbas .....	111
4.7. Siegas.....	112
4.8. Mantenimiento de lagunas y áreas marginales .....	112
5. BIBLIOGRAFIA .....	113

## CAPÍTULO 9. USO AGRICOLA Y FORESTAL

1. INTRODUCCION.....	115
2. CONSIDERACIONES GENERALES PREVIAS AL DISEÑO DE LA RESTAURACION	115
2.1. Factores sociales, económicos y legales .....	115
2.2. Capacidad agrícola .....	116
2.2.1. Tamaño, pendiente y profundidad de la gravera .....	116
2.2.2. Características morfológicas del entorno .....	116
2.2.3. Características del sustrato ...	116
2.3. Capacidad forestal .....	117
3. TECNICAS DE RESTAURACION .....	118
3.1. Remodelado .....	118
3.2. Aporte y extendido de suelos .....	118
3.3. Drenaje .....	119
3.4. Siembra .....	120
3.5. Plantación .....	120
4. BIBLIOGRAFIA .....	120

## CAPÍTULO 10. USO NATURAL: RECUPERACION DE HABITATS

1. INTRODUCCION.....	121
2. FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DESARROLLO DEL USO.....	121
2.1. Uso de los terrenos adyacentes.....	121
2.2. Interés naturalístico del área .....	121
2.3. Tamaño, profundidad y pendiente de la gravera .....	121
2.4. Restauración progresiva y simultánea con la explotación.....	122

3. PREPARACION DEL PLAN DE RESTAURACION .....	122
3.1. Prioridades de conservación .....	122
3.2. Necesidades de la fauna silvestre .....	123
3.2.1. Quironómidos .....	124
3.2.2. Peces .....	125
3.2.3. Anfibios .....	127
3.2.4. Aves .....	127
3.2.5. Mamíferos .....	131
4. TECNICAS DE RESTAURACION .....	132
4.1. Introducción .....	132
4.2. Remodelado .....	132
4.3. Suelo .....	137
4.4. Revegetación .....	137
4.4.1. Plantas acuáticas .....	137
4.4.2. Plantas palustres .....	138
4.5. Islas y otras zonas de anidamiento ...	138
4.5.1. Islas y balsas .....	138
4.5.2. Posaderos .....	140
4.6. Los efectos del viento .....	140
5. RESTAURACION DE GRAVERAS ANTIGUAS.....	142
6. BIBLIOGRAFIA .....	146

## CAPÍTULO 11. USO INDUSTRIAL Y URBANISTICO

1. INTRODUCCION.....	147
2. FACTORES CONDICIONANTES.....	147
3. TECNICAS DE RESTAURACION .....	148
3.1. Relleno .....	148
3.2. Remodelado .....	148
3.3. Drenaje .....	148
4. RESTAURACION COMO VERTEDEROS CONTROLADOS.....	148
4.1. Tipos de material de relleno .....	149
4.2. Tipos de huecos de vertido.....	149
4.3. Materiales de sellos de impermeabilización .....	150
4.4. Maquinaria para el manejo de residuos .....	150
4.5. Operación de relleno .....	151
4.6. Asentamientos .....	152
4.7. Contorno final .....	152
4.8. Medidas correctoras.....	152
4.9. Control del gas y lixiviados en los vertederos .....	153
4.9.1. Generación y control de lixiviados .....	153
4.9.2. Composición de los lixiviados .....	155
4.9.3. Generación y control de biogás .....	155
4.9.4. Medidas preventivas .....	156

4.10. Aprovechamiento energético del biogás .....	157	5. TECNICAS DE RESTAURACION .....	167
5. BIBLIOGRAFIA .....	157	5.1. Nivelado y modelado de formas.....	167
 		5.2. Drenaje .....	167
<b>CAPÍTULO 12. USO RECREATIVO</b>		5.3. Creación de depósitos de agua .....	167
1. INTRODUCCION.....	159	5.4. Protección de las orillas .....	167
2. TIPOS DE USOS RECREATIVOS .....	159	5.5. Plantación de árboles, arbustos y creación de césped .....	169
3. FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA RECUPERACIÓN CON USOS RECREATIVOS	160	5.6. Instalaciones y medios .....	169
3.1. Factores relativos al entorno de la grava	160	6. MEDIDAS DE RESTAURACION PARA DIVERSOS USOS .....	170
3.2. Características de la zona a restaurar	162	6.1. Campos de deporte .....	170
4. ETAPAS DE DISEÑO DE UN AREA RECREATIVA .....	164	6.2. Golf .....	171
4.1. Programacion .....	164	6.3. Actividades recreativas basadas en el agua .....	171
4.2. Planificación .....	164	6.4. Parques rústicos .....	176
4.3. Diseño conceptual .....	164	6.5. Observación de las aves y aulas de la naturaleza .....	177
4.4. Diseño detallado .....	166	7. BIBLIOGRAFIA .....	182
		<b>ANEXO .....</b>	<b>183</b>
		<b>DOSSIER FOTOGRAFICO .....</b>	<b>191</b>



## INTRODUCCION

### 1. INTRODUCCION

Actualmente, las sociedades industrializadas presentan una gran demanda de materias primas. Entre éstas se encuentran los recursos de áridos, que constituyen el grupo que representa más del 50% de todos los minerales consumidos.

Los áridos de origen natural suponen un porcentaje importante, cuyo origen se encuentra en los depósitos de arenas y gravas.

Estos yacimientos se vienen explotando desde tiempo inmemorial, tal como evidencian los vestigios de antiguos asentamientos humanos. Las características ecológicas de la mayor parte de los enclaves donde se realizan las extracciones son de gran valor, pues los depósitos se suelen encontrar asociados a los sistemas fluviales actuales. Los terrenos poseen una alta calidad agrícola y, en ocasiones, una gran belleza natural y diversidad de hábitats de la fauna.

La problemática de las explotaciones de áridos naturales plantea una casuística especial, por el entorno natural donde se llevan a cabo y por la proximidad a los núcleos urbanos que abastecen.

Algunas áreas afectadas por las extracciones han quedado altamente degradadas, con huecos o lagunas en los que se han efectuado vertidos incontrolados de productos o sustancias tóxicas, desechos o escombros. Por otro lado, el embalsamiento de agua sin criterios ecológicos claros está dando lugar en algunas regiones a problemas de salinización y eutrofización del agua.

La preocupación por la conservación del medio ambiente ha calado hondo en amplios sectores de la sociedad, lo que unido a la legislación vigente hacen que las explotaciones mineras se deban realizar con un proyecto racional y una planificación previa, contemplando una recuperación de los terrenos afectados, con usos acordes con los condicionantes derivados de los ecosistemas existentes.

Es objetivo de esta guía recoger fundamentalmente los criterios básicos que se deben seguir en las labores extractivas de áridos naturales por debajo del nivel freático y en las márgenes de cauces naturales, con vistas a mitigar los impactos de las diferentes operaciones típicas del ciclo minero y posibilitar una más fácil recuperación de los terrenos.

### 2. IMPORTANCIA DE LA INDUSTRIA DE LOS ARIDOS NATURALES

En muchas áreas, las arenas y las gravas son el recurso básico para el desarrollo urbano. Constituyen, en diversas regiones, la fuente primaria de áridos para la construcción e infraestructura viaria.

Los principales usos que poseen actualmente se pueden resumir en:

- Áridos para la preparación de hormigones.
- Áridos para la fabricación de aglomerados asfálticos para viales.
- Balastos, sub-balastos y gravillas.
- Escolleras.
- Rellenos y aplicaciones varias.
- Materias primas para la industria.

Tan amplia es la demanda de arenas y gravas que el consumo medio nacional supera las 6 toneladas de áridos por habitante y año. Estos materiales son vitales para la economía urbana en general, y se consideran actualmente como uno de los mejores índices de la actividad económica de una región.

Al contrario que otros minerales —como, por ejemplo, el cobre o el petróleo—, la cantidad total de recursos disponibles no es escasa a nivel global, pero pueden llegar a ser insuficientes en una determinada área por diversas razones. Es cerca de las grandes ciudades donde se necesitan, pudiéndose dar el caso de no existir depósitos con recursos suficientes, por agotamiento progresivo de los originales o por indisponibilidad de los remanentes como consecuencia de una ordenación del territorio deficiente o desarrollo urbano mal planificado.

En algunos lugares, los áridos artificiales de trituración pueden llegar a sustituir parcialmente o a complementar a los materiales granulares de origen natural.

La dispersión de los depósitos de áridos puede llegar a tener un tremendo impacto sobre los costes de construcción, tanto para el sector privado como para el público. El valor in-situ de las arenas y gravas es generalmente bajo, mientras que los gastos de transporte son altos.

Consecuentemente, los yacimientos de estos recursos son tanto más valiosos conforme se encuentran más cerca de los centros de consumo. Por ejemplo, el

valor medio actual de las arenas y gravas se encuentra en torno a las 500 PTA/t. Los gastos de transporte se pueden estimar en unas 11 PTA/t-km, mientras que los de explotación y tratamiento ascienden conjuntamente a unas 180 PTA/t. Con estas cifras se demuestra que no es viable, en las condiciones actuales, explotar yacimientos que se encuentren a distancias superiores a 30 km de los centros de consumo.

### 3. ANALISIS Y TENDENCIA DEL SECTOR DE ARIDOS

Anualmente, España produce unos 260 Mt de áridos, de los que unos 90 Mt aproximadamente son arenas y gravas. La mayor parte de estos materiales se utilizan en la construcción, fundamentalmente como componente estructural del hormigón, como zahorras para la fabricación de aglomerados asfálticos, etc.

El sector de los áridos, dentro del contexto minero nacional, se encuentra muy disperso y atomizado con un número de explotaciones que supera las 2.500, y que en su mayoría se localizan en las proximidades de los principales núcleos de población. Una muestra de esto es la proliferación de graveras en los valles de algunos ríos, como, por ejemplo, la cuenca del Jarama, salpicada por cerca de cuarenta lagunas que cubren una superficie de casi 200 hectáreas en tan sólo cuatro términos municipales.

La plantilla media resultante no supera los 5 empleados, siendo éste uno de los graves problemas del que adolecen estas empresas al ser bajo el grado de tecnificación en muchas de ellas.

En lo referente a la evolución en los últimos años, se ha observado un reagrupamiento de las empresas como consecuencia de la expansión de algunos grupos relacionados con empresas cementeras fabricantes de hormigón.

Paralelamente, debido al gran número de explotaciones existentes, muchas de ellas con unas producciones anuales muy pequeñas, se está observando una tendencia hacia un planteamiento más racional y coherente. Este se concreta en la localización de las explotaciones en áreas de escaso valor ecológico y relativamente cercanas a los centros de consumo, un dimen-

sionamiento y diseño adecuados para aprovechar las economías de escala y facilitar los planes de restauración y, fundamentalmente, una sustitución progresiva de los áridos naturales por áridos de machaqueo, e incluso el aprovechamiento de ciertos estériles mineros e industriales como materiales sustitutivos.

Por otro lado, los áridos marinos están siendo objeto de estudio por diversos países, siendo de destacar Japón y Gran Bretaña, que los explotan desde hace varios años, con unas producciones de 77 y 22 Mt/año, respectivamente.

Los equipos de extracción que se utilizan van desde las dragas mecánicas (de cuchara, de cangilones y de rodete-succionadora) hasta las hidráulicas (cortadoras succionadoras y de succión en marcha). Por la experiencia que se tiene parece que son estas últimas, que efectúan la extracción en marcha a una velocidad de 1 a 3 nudos, las que provocan una menor alteración en el medio, pues dejan un hueco en forma de canal superficial de unos 2,5 m de anchura y sólo 0,25 m de profundidad.

En cuanto a previsiones de producción, no existen datos fiables, pues dependen estrechamente de la actividad económica del país y de sectores tan fluctuantes como el de la construcción, además del sector público de obras de infraestructura. No obstante, haciendo un análisis comparativo con los consumos per cápita de áridos de otros países de la comunidad y de la OCDE, se observa que España se encuentra aún por debajo de otras naciones: Alemania (8 t/hab-año), Suiza (11 t/hab-año), Estados Unidos (8,5 t/hab-año), Canadá (10,8 t/hab-año) y Japón (6,8 t/hab-año).

### 4. ESTRUCTURA DE COSTES EN LA EXPLOTACION DE GRAVERAS

En la explotación de graveras es frecuente, en países desarrollados, tener una estructura de costes similar a la de la Fig. 1.

El mayor coste es el de preparación mecánica o procesamiento de los materiales extraídos, que llega a suponer un 29%. La extracción y carga por medio de paletas de ruedas, excavadoras hidráulicas, dragalinas y dragas suele alcanzar el 21%. Los costes de transporte

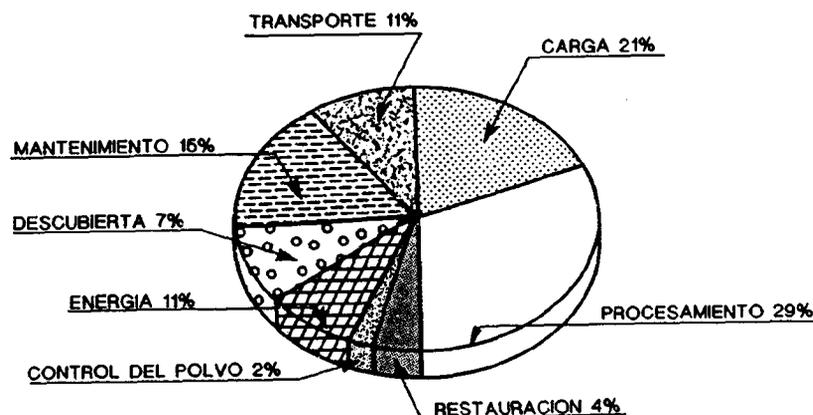


Figura 1.1. Componentes principales de los costes de producción de arenas y gravas.

os materiales, desde el lugar de extracción hasta el área de procesamiento, son del orden del 11%, mientras que los de descubierta y mantenimiento se sitúan en torno al 7 y al 15% respectivamente. La energía, que incluye el gasoil, la gasolina y la electricidad, llega al 1%. Finalmente, los costes de control de polvo y restauración constituyen el 6%.

Teniendo en cuenta los porcentajes medios anteriores, la repercusión de las medidas ambientales sobre la economía de las explotaciones no supera el 2% del precio de venta de los áridos naturales. Así pues, se demuestra no sólo la viabilidad técnica de tales trabajos, sino incluso la económica, ya que no afecta grandemente a la rentabilidad de tales proyectos.

## **5. LEGISLACION MEDIO AMBIENTAL QUE AFECTA A LAS EXTRACCIONES DE ARIDOS**

Las actividades extractivas de áridos naturales están sujetas a una normativa legal sobre la conservación del medio ambiente que puede resumirse a través de las siguientes disposiciones:

- Real Decreto 2994/1982 de 15 de octubre, sobre Restauración del Espacio Natural Afectado por Actividades Mineras.
  - Orden de 20 de noviembre de 1984 por la que se desarrolla el R.D. 15-10-82 sobre Restauración de Espacios Naturales Afectados por Actividades Extractivas.
  - Ley 29/1985 de Aguas, (2 de agosto) y Reglamento del Dominio Público Hidráulico (RD 849/1986, de 30 de abril), que lo desarrolla parcialmente, en cuanto a la regulación del aprovechamiento de áridos en la zona de policía que afecta a los cauces públicos y que la Ley de Aguas determina.
- Por otro lado, las actividades mineras están sometidas a una evaluación del impacto ambiental, de acuerdo con la adaptación a la legislación española de la directiva comunitaria 85/3777/CEE de 27 de junio, en materia de Evaluación de Impacto Ambiental de los Proyectos Públicos o Privados, en:
- Real Decreto Legislativo 1302/1986 de 28 de junio de Evaluación de Impacto Ambiental, y
  - Real Decreto 1131/1988 de 30 de septiembre, por el que se aprueba el R.D. 1302/1986 de 28 de junio de Evaluación de Impacto Ambiental.
- Además, en diversas Comunidades Autónomas existen disposiciones particulares para la minería que deben tenerse en cuenta cuando las explotaciones se encuentran en dichas comunidades.

## GEOLOGIA E INVESTIGACION DE DEPOSITOS NATURALES DE ARIDOS

### 1. INTRODUCCION

Como otros materiales sedimentarios, las arenas y gravas son el resultado de la meteorización del material rocoso preexistente. Los depósitos de arenas y gravas están constituidos por materiales que han sido separados más o menos completamente de otros. La diferencia básica entre las arenas y las gravas, de acuerdo a una clasificación geológica comúnmente aceptada, es el tamaño de grano. Generalmente, las fracciones entre 1/16 y 5 mm se denominan arenas y el material mayor de 5 mm se llama grava.

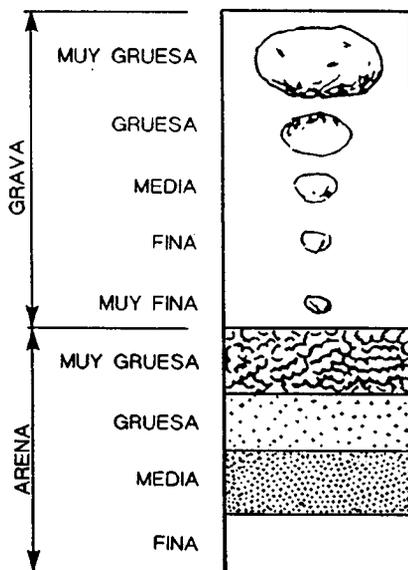


Figura 2.1. Gradación de los tamaños relativos de las arenas y gravas. Dibujo no a escala.

Las arenas pueden aparecer sin gravas, como sucede en las dunas o en las playas, pero la grava es difícil encontrarla sin arena. Las arenas y gravas se encuentran muchas veces mezcladas con grandes cantidades de bolos o bloques y arcillas. Tales mezclas carecen en muchos casos de valor comercial.

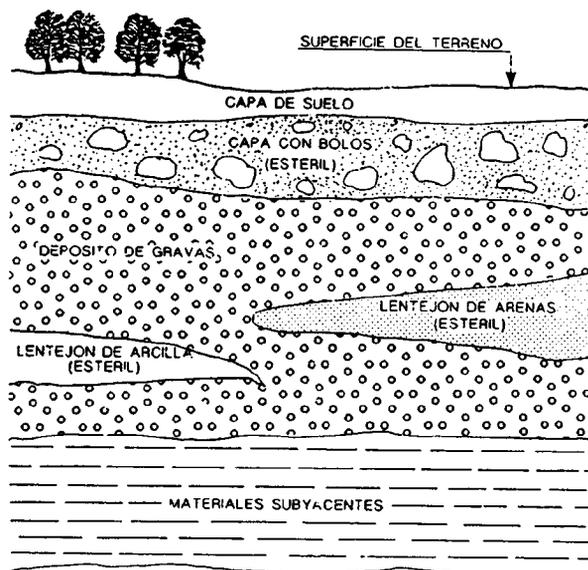


Figura 2.2. Materiales estériles asociados a depósitos de arenas y gravas.

El reconocimiento detallado de un yacimiento granular es indispensable para un buen diseño de la gravera y planificación de la explotación. Para ello, es preciso valorar las cantidades de áridos y sus límites en extensión, anchura y longitud, y profundidad, determinar las calidades de los componentes granulares para compararlas con las exigidas en los diferentes tipos de obras, cuantificar los productos estériles, contribuir a la adecuada situación de las instalaciones de preparación mecánica, etc.

La prospección e investigación geológicas se configuran pues como una etapa imprescindible, base del conocimiento del depósito, para la ejecución no sólo del proyecto de explotación, sino incluso del proyecto de restauración y planificación de las labores que la integran.

En este capítulo se van a describir someramente los principales tipos de yacimientos de áridos naturales, las técnicas de prospección e investigación utilizadas y los procedimientos de estimación de las reservas.

## 2. TIPOS DE DEPOSITOS GRANULARES

Los yacimientos de áridos naturales con potencial comercial se encuentran en un amplio espectro de medios de sedimentación. Los sedimentos se acumulan en depresiones de dimensiones variables cuyo relleno registra la evolución paleogeográfica de la cuenca receptora. Este relleno está formado no sólo por sedimentos, sino por superficies de omisión, reflejo de etapas de ausencia de deposición y por discordancias, que pueden registrar etapas de erosión.

Existen numerosas clasificaciones, más o menos complejas, de los medios sedimentarios. Tabla 2.1.

TABLA 2.1

CONTINENTAL	Subaéreo Subacuático	Desértico Glacial Fluvial Lacustre
DE TRANSICION		Deltaico Playero Estuarino Isla barrera lagoon
MARINO		Plataforma Talud Borde precontinental

Fuente: A. ARCHE (1989).

Los tipos de yacimientos de arenas y gravas de mayor interés se encuentran en las proximidades de antiguos cauces y ríos existentes, en las terrazas, en los valles y en los deltas; en las plataformas costeras y lacustres; y en formaciones donde fueron depositados al retroceder los glaciares.

A continuación se indican los parámetros fundamentales de los tipos de yacimientos más comunes y las características principales de los materiales que contienen.

### 2.1. Depósitos fluviales

Cualquier río que haya establecido su curso en el correspondiente valle deposita sedimentos en el cauce propiamente dicho y en la llanura de inundación. La velocidad varía a lo largo del curso del río, depositándose constantemente fracciones de la carga del mismo, aunque dichas deposiciones pueden ser temporales.

Los depósitos de cauce son lentejones irregulares de gravas, arenas, limos y arcillas. Entre ellos destacan los bancos de grava que se forman en las aguas muertas o en la margen interna de las curvas, Fig. 2.3.

Cuando se producen las avenidas, las aguas se salen de su cauce, depositándose la carga como un manto por toda la llanura de inundación. Los materiales más gruesos se depositan cerca del cauce formando una especie de diques de contención, por detrás de los cuales se encuentran las zonas pantanosas en las que se depositan las fracciones finas de la carga. Las sucesivas avenidas conducen a la formación de depósitos aluviales de considerable espesor.

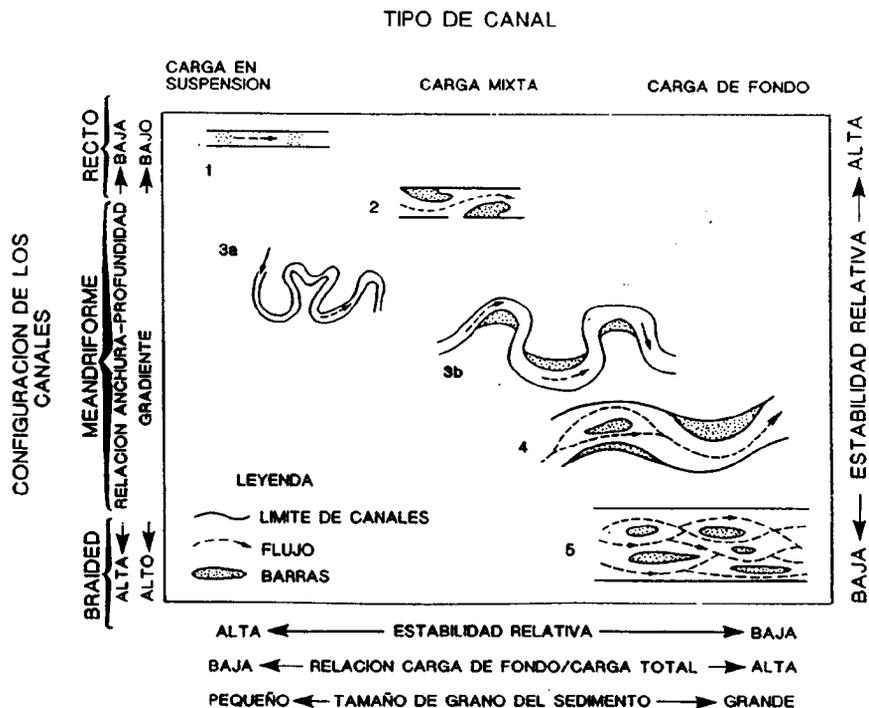


Figura 2.3. Clasificación de los canales fluviales basada en su configuración y en el tipo de carga (SCHUMM, 1981).

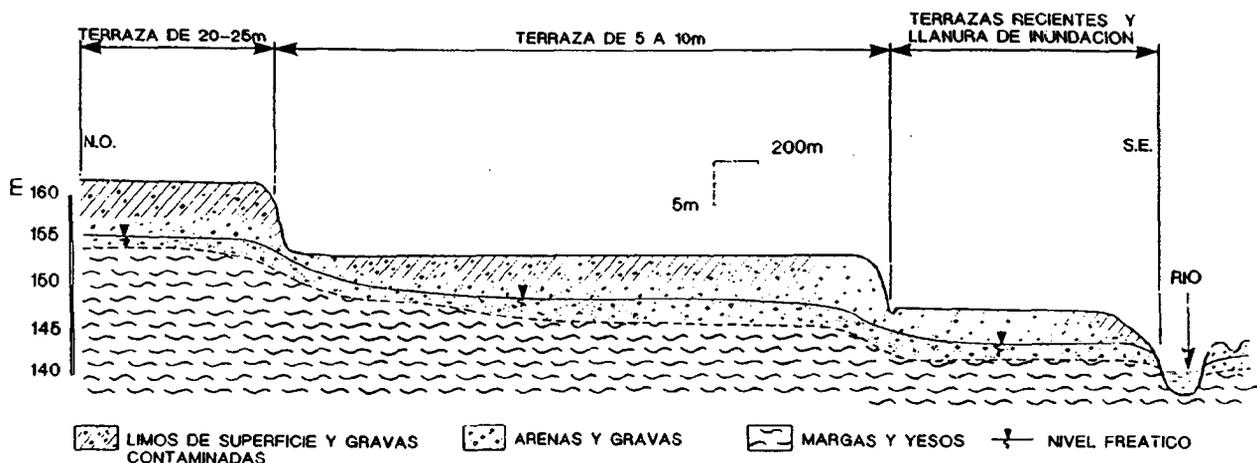


Figura 2.4. Disposición típica de terrazas en una sección transversal.

En muchos ríos se identifica el aluvión en ambos lados del valle, formando una serie de terrazas escalonadas. Las terrazas más antiguas son las más altas, que se formaron cuando el río transcurría a mayor altitud; las terrazas inferiores o llanuras de inundación se están formando en nuestros días.

La falta de homogeneidad del aluvión puede originar desviaciones suaves en el río. Cualquier curva tiende a aumentar su amplitud por deposición en la margen interna y erosión en la externa. Estas curvas y lazos se denominan meandros.

Cuanto mayor es una corriente de agua, mayores son sus meandros, tendiendo lentamente a moverse cada uno de ellos río abajo.

Las condiciones que imperan en un río en su llanura de inundación varían de manera continua con el espacio y con el tiempo, por lo que los depósitos fluviales son muy variables y adoptan disposiciones de sedimentos alternados de grava, arenas, limos y arcillas.

Los depósitos aluviales pueden estar combinados por hileras de materiales gruesos que corresponden a los depósitos del cauce. Son los denominados depósitos de ríos "braided", en los que existe una escasa presencia de finos. Normalmente, la madurez litológica de los elementos es elevada, estando sólo presentes las litologías más estables, función de la naturaleza del área de origen. Los elementos suelen presentar índices de redondez altos.

Los depósitos de ríos meandriformes representan una evolución del sistema fluvial anterior, en el que existen amplias llanuras de inundación de tipo limoso. Puntualmente, se desarrollan barras arenosas, que constituyen buenos yacimientos para áridos de esa clase.

## 2.2. Depósitos marinos

Los depósitos marinos están formados por antiguas playas y plataformas costeras, cordones litorales, deltas, etc. Pueden haber quedado bajo el mar como consecuencia de las oscilaciones del nivel del mar, explotándose en estos casos mediante dragas, o por el contrario haber quedado en un nivel superior, y extraerse entonces con medios convencionales.

Los depósitos playeros, tanto de arenas como de gravas, presentan un grado de selección granulométrico muy elevado. Las gravas presentan unos índices de aplastamiento y redondez altos.

## 2.3. Depósitos eólicos

Los depósitos de dunas y otras formas de acumulación constituyen ejemplos de yacimientos granulares muy bien seleccionados, con una granulometría próxima a la que se denomina finos.

Generalmente, estos áridos se utilizan como una de las fracciones empleadas dentro de una composición granulométrica más amplia. Los granos presentan unos índices de redondez elevados y un ángulo de rozamiento muy bajo.

## 2.4. Depósitos glaciares

En la zona de ablución de los glaciares se producen grandes acumulaciones de depósitos de material detrítico escasamente seleccionados, con granulometrías que van desde décimas de milímetro hasta bloques de más de un metro cúbico.

El material que se encuentra en los depósitos morrénicos presenta una madurez litológica baja, debido a la escasa capacidad de alteración química del sistema glaciar, también la madurez textural es muy baja.

En general, estos materiales no son utilizables como áridos de calidad, pero sí como material de préstamo.

## 3. TECNICAS DE PROSPECCION DE YACIMIENTOS GRANULARES

La prospección de yacimientos granulares se hace habitualmente siguiendo un conjunto de fases. La primera, o fase preliminar, consiste en el estudio bibliográfico y en la recopilación de datos o informes relacionados con la extracción y utilización de áridos en un área circundante a la posible zona de trabajo.

A continuación de esta fase se seleccionan las fotografías aéreas más recientes a escalas próximas a 1:25.000. No debe olvidarse que algunos yacimientos aluviales han podido modificarse por causas naturales o por explotaciones realizadas con anterioridad.

La fotointerpretación proporciona datos de interés. Tanto es así, que un geólogo experto puede llegar a localizar, mediante el estudio de las fotografías aéreas, los depósitos de arenas y gravas, pues generalmente éstos se manifiestan con figuras del terreno características.

Un aspecto muy importante de los depósitos granulares es el constituido por la gradación de las arenas y las gravas, que está íntimamente ligada a la forma de deposición y al tipo de yacimiento en cuestión.

Una vez localizada un área con potencial minero, se pueden iniciar otros trabajos complementarios como son los constituidos por la geofísica superficial. Estas técnicas permiten dar una visión de conjunto de la estructura del yacimiento y deducir las zonas más favorables para la explotación, orientar sobre el emplazamiento y número de sondeos mecánicos necesarios, y extrapolar los resultados de los sondeos puntuales a zonas no investigadas con detalle. Entre los métodos más utilizados se encuentran los siguientes:

- **Método eléctrico de corriente continua.** Da indicación de la sucesión vertical de materiales y su resistividad. Con él se pueden detectar las variaciones de espesor de los materiales granulares sobre el lecho rocoso, o cambios acusados en la granulometría entre dos capas, sobre todo en el caso de existencia de elementos finos contaminantes en zonas húmedas. La resistividad es muy sensible a la variación de la cantidad de agua del subsuelo y a la naturaleza química de la misma, por lo que con estos métodos es fácil detectar las capas freáticas.
- **Método magnetoteléurico artificial.** Se basa en la medida continua en superficie de las componentes horizontales de los campos magnético y eléctrico, creados por emisores de ondas de radio. Con este método se obtienen las resistividades aparentes del subsuelo y la profundidad de penetración de las ondas electromagnéticas.
- **Método de sismica de refracción.** Se obtienen las velocidades de propagación de las ondas y espesores de las diferentes capas, según su compacidad.

Después de las campañas de prospección se pasa a la fase de investigación y toma de muestras para su análisis y ensayos de caracterización.

#### 4. TÉCNICAS DE INVESTIGACION Y MUESTREO DE YACIMIENTOS GRANULARES

La etapa previa a la evaluación y diseño de una grava la constituyen las labores de investigación, dirigidas a la definición morfológica y la calidad de los materiales albergados por los depósitos.

Cuando se procede al muestreo de un depósito, las capas de áridos deben ser intersectadas en todo su es-

pesor por las perforaciones, calicatas, zanjas u otros métodos usados. Se deben tomar muestras representativas, en número y cantidad suficientes para identificar las propiedades básicas y las características críticas de los materiales.

Comúnmente, las muestras se obtienen por alguno de los siguientes procedimientos.

##### A. Sondeos

En la perforación de depósitos de arenas y gravas se utilizan diferentes métodos de ejecución de sondeos.

El procedimiento auger, o a rotación con barra helicoidal, con diámetros superiores a los 150 mm, proporciona buenas muestras, Fig. 2.5.

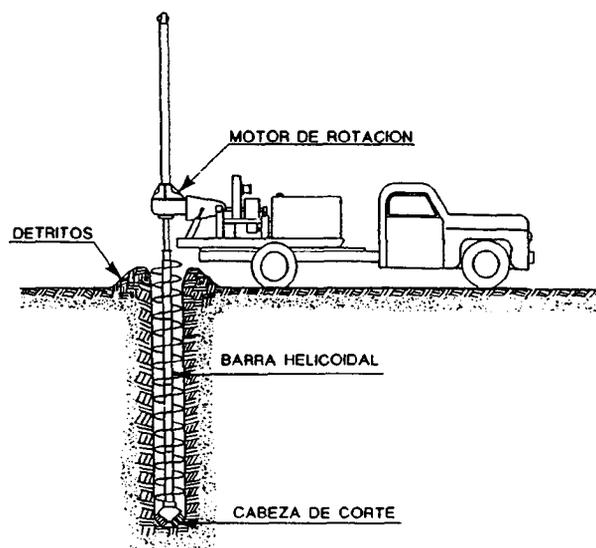


Figura 2.5. Perforación auger convencional.

Esta técnica es efectiva incluso cuando se atraviesan capas de arcillas y limos, pudiendo incluso el perforista saber con su experiencia qué tipo de terrenos se están atravesando. Las muestras obtenidas con la perforación auger convencional se encuentran mezcladas, sin poderse determinar con exactitud a qué nivel pertenecen.

Para obviar este problema se han desarrollado diferentes variantes de la perforación auger, disponiéndose de tomamuestras que se hacen pasar por el interior de las barrenas helicoidales, cuando éstas llegan a determinadas profundidades, Fig. 2.6.

Otra posibilidad consiste en el empleo de un cazo helicoidal —“Bucket augering”— que se introduce en el interior de una tubería de gran diámetro —300 a 600 mm— que se va hincando en el terreno y dentro de la cual se introduce el cazo sucesivas veces para ir obteniendo las muestras. Este método se utiliza en aquellos casos donde es necesario obtener muestras representativas de gran tamaño.

En determinadas ocasiones, también pueden efectuarse los sondeos por el método de perfora-

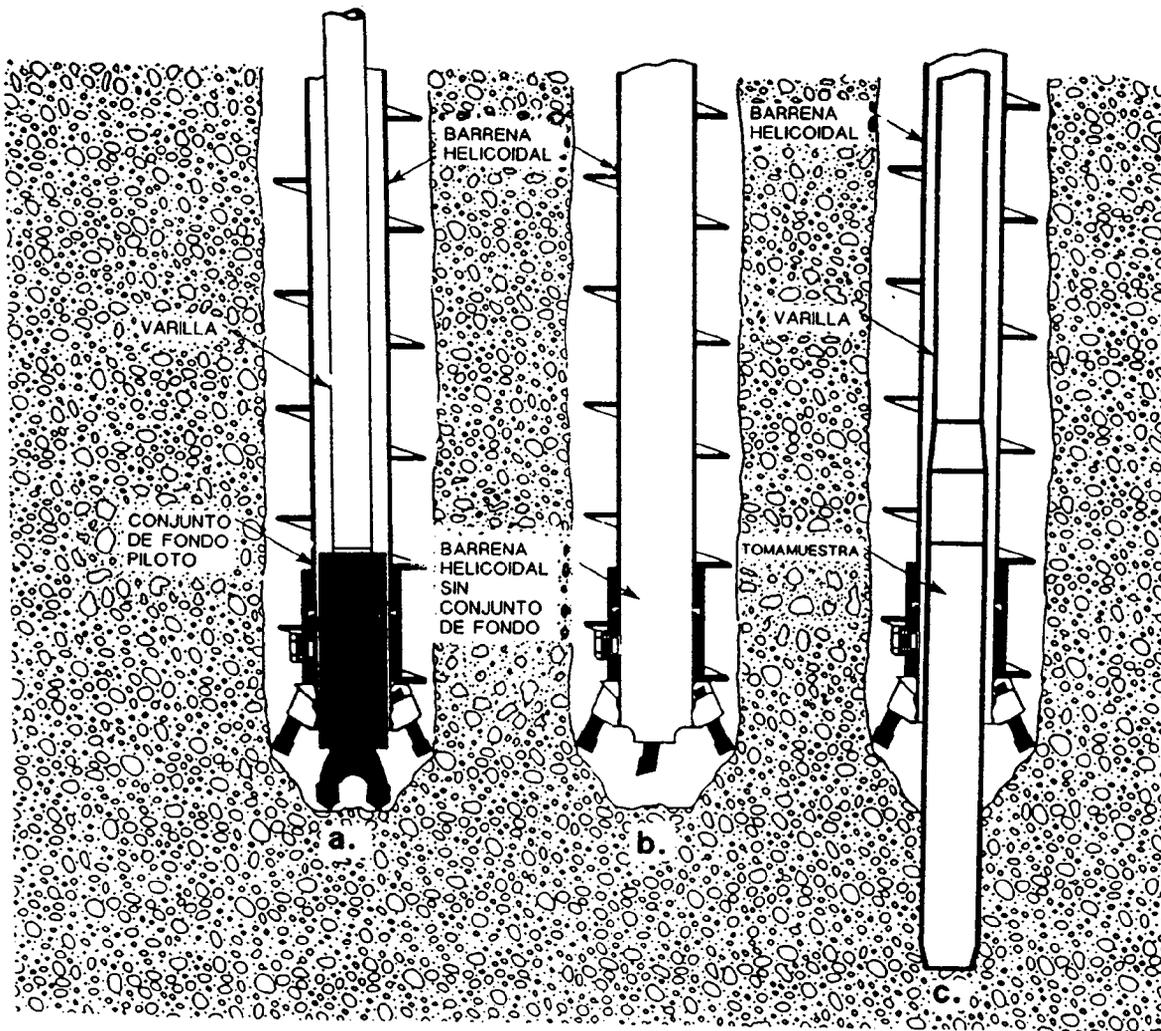


Figura 2.6. Fase de la ejecución de un sondeo con la técnica auger y toma de una muestra de la formación.

ción con cable, aunque los resultados de la investigación tienen un carácter más impreciso, por cuanto las muestras obtenidas se encuentran muy alteradas.

## B. Calicatas

Las zanjas o calicatas de investigación son excavaciones fáciles de hacer con equipos mecánicos, generalmente retroexcavadoras hidráulicas, cuyos alcances por debajo de la plataforma de trabajo pueden llegar a superar los 6 m de profundidad.

Las calicatas pueden abrirse tanto en yacimientos secos como húmedos.

## C. Pozos

Esta técnica de investigación es relativamente simple y barata, pues consiste en la ejecución de pocillos verticales excavados manualmente. Co-

múnmente, sólo se utiliza en depósitos secos, pues de lo contrario el pozo se inundaría rápidamente siendo necesario disponer de una bomba de achique y reforzar el sostenimiento de las paredes.

Las muestras obtenidas de pozos, hacia los que fluye una cierta cantidad de agua, estarán generalmente lixiviadas de los minerales carbonatados cementantes y, por esto, no representan fielmente la calidad de los recursos en profundidad.

El muestreo de un yacimiento de arenas y gravas se debe hacer en cada labor de investigación y a lo largo de toda la potencia de la unidad o capa de material intersectada.

El tamaño de una muestra individual es función de la naturaleza y número de ensayos, las condiciones del testigo, incluyendo la inclinación del lecho o planos de discontinuidad, y la gradación de los materiales cuando el depósito es de arenas y gravas.

El tamaño adecuado de las muestras, cuando los áridos naturales están formados por arenas y gravas, con una proporción menor de estas últi-

mas, oscilará entre los 70 y los 100 kg. En la Tabla 2.2 se dan unos valores más ajustados conociendo el tamaño máximo de los áridos.

TABLA 2.2. TAMAÑO DE LAS MUESTRAS

TAMAÑO NORMAL MAXIMO DE LOS ARIDOS (mm)	CANTIDAD MINIMA DE MUESTRA (kg)
<b>ARIDOS FINOS</b>	
2,5 mm	10
5,0 mm	10
<b>ARIDOS GRUESOS</b>	
10,0 mm	10
12,5 mm	15
20,0 mm	25
25,0 mm	50
37,5 mm	75
50,0 mm	100
65,0 mm	125
75,0 mm	150
90,0 mm	175

Con el fin de homogeneizar las muestras obtenidas se debe proceder a un cuarteo de éstas, tal como se muestra en la Fig. 2.7.

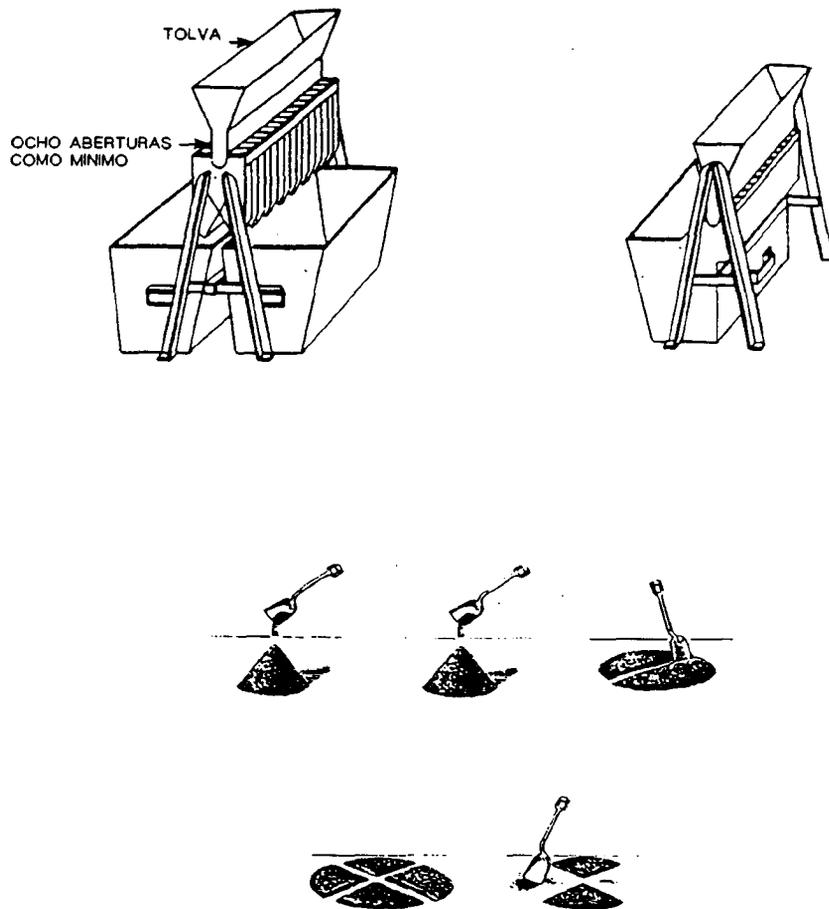


Figura 2.7. Operaciones de cuarteo de muestras.

Los materiales de un yacimiento granular, una vez muestreados, deben ser identificados y ensayados para comprobar su calidad y adecuación a los usos previstos por los potenciales consumidores.

La identificación de las muestras se lleva a cabo efectuando los siguientes trabajos:

- Ensayos petrográficos.
- Medición de la densidad real y aparente.
- Porosidad y absorción de agua.
- Análisis químico.

Las características físico-mecánicas se determinan a partir de los siguientes ensayos de laboratorio:

- Ensayo de desgaste de Los Angeles.
- Resistencia al desgaste por rozamiento.
- Coeficiente de pulimento acelerado.
- Coeficientes de friabilidad.
- Curva granulométrica.
- Límites de Atterberg de los finos.
- Pérdida de sulfatos.
- Lajosidad y coeficiente de forma.
- Peso específico real.
- Índice CBR.

Finalmente, y dentro del propio depósito de áridos, cuando se prevea la explotación por debajo del nivel freático es conveniente efectuar ensayos de permeabi-

lidad in-situ (p.e., Ensayo Lefranc), para averiguar la capacidad de oscilación del nivel freático en la gravera, la capacidad de bombeo necesaria y el cálculo aproximado del porcentaje de finos.

## 5. CALCULO DE RESERVAS

Una vez determinada la naturaleza y distribución de los áridos existentes en un yacimiento, se debe pasar a la etapa de cálculo del volumen y tonelaje de las reservas existentes.

Para determinar el volumen de áridos que se encuentra en una zona es suficiente con multiplicar el espesor medio de la capa de áridos por el área ocupada por ésta. Cuando el espesor es variable, se puede recurrir a algunas técnicas de evaluación como las siguientes:

1. **Secciones transversales adyacentes.** Se dibujan secciones geológicas verticales en las que a intervalos regulares se representa la forma del depósito y el área ocupada por el mismo en cada sección. Las reservas se pueden calcular multiplicando el área en cada sección por la equidistancia entre estas y sumando a continuación los volúmenes obtenidos:

$$V_T = \sum A_i \times L_i$$

donde:

$V_T$  = Volumen total de áridos (m<sup>3</sup>).

$A_i$  = Área del depósito en la sección  $S_i$  (m<sup>2</sup>).

$L_i$  = Espesor del bloque representado por la sección  $S_i$  (m).

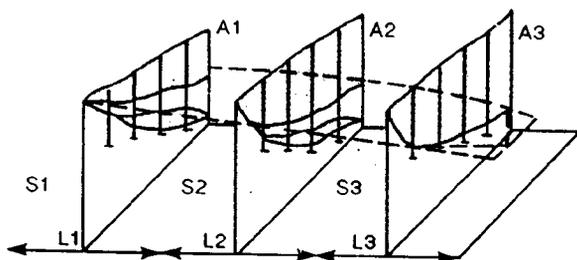


Figura 2.8. Cálculo de reservas con secciones verticales.

Otras variantes del método anterior, aplicadas al ejemplo representado en la Fig. 2.9, suponen utilizar diferentes fórmulas, como son las siguientes:

$$V_{1,2} = \frac{A_1 + A_2}{2} \cdot L_{1,2}$$

$$V_{1,2} = \frac{A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 \cdot A_2}}{3} \cdot L_{1,2}$$

$$V_{1,2} = \frac{L_{1,2}}{2} \cdot (A_1 + A_2 + \frac{a_1 \cdot b_2 + a_2 \cdot b_1}{2})$$

siendo:

$V_{1,2}$  = Volumen del bloque entre las secciones  $S_1$  y  $S_2$  (m<sup>3</sup>).

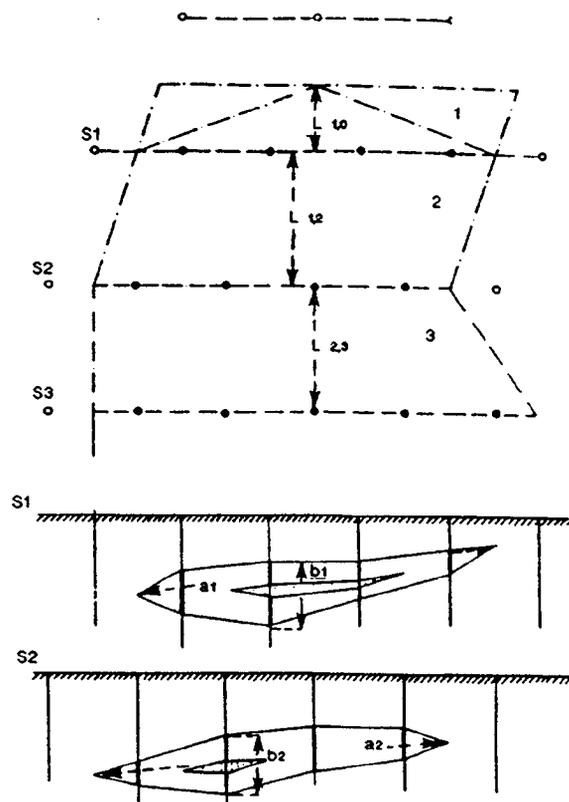


Figura 2.9. Depósito de áridos investigado por sondeos y modelizado con secciones verticales.

$A_1, A_2$  = Áreas del depósito granular en las secciones  $S_1$  y  $S_2$  (m<sup>2</sup>).

$L_{1,2}$  = Distancia entre secciones (m).

$a_1, a_2$  = Longitud de las masas de material granular (m).

$b_1, b_2$  = Espesores de las masas de material granular (m).

2. **Método de las isolíneas.** El depósito se transforma en un cuerpo de volumen similar, apoyado sobre un plano horizontal, Fig. 2.10.

El número de isolíneas se elige de acuerdo con el grado de complejidad del depósito. Se pueden utilizar dos fórmulas para el cálculo del volumen del yacimiento. En el primer caso el volumen parcial entre dos isolíneas se calcula como un cilindro, en el segundo como un tronco de pirámide. El volumen total del depósito vendrá dado por:

$$V = h \left( \frac{A_0}{2} + A_1 + A_2 + \dots + A_{n-1} + \frac{A_n}{2} \right) \pm \frac{1}{3} \cdot A_n \cdot h_x$$

$$V = h/3 (A_0 + \sqrt{A_0 \cdot A_1} + 2 \cdot A_1 + \sqrt{A_1 \cdot A_2} + 2 \cdot A_2 + \dots + 2 \cdot A_{n-1} + \sqrt{A_{n-1} \cdot A_n} + A_n) \pm \frac{1}{3} \cdot A_n \cdot h_x$$

siendo:

$A_i$  = Área del depósito entre isolíneas (m<sup>2</sup>).

$h$  = Distancia entre isolíneas (m).

$\pm h_x$  = Pico (+) o depresión (-) sobre o bajo la última isolínea,  $h_x$  ó  $h/2$ .

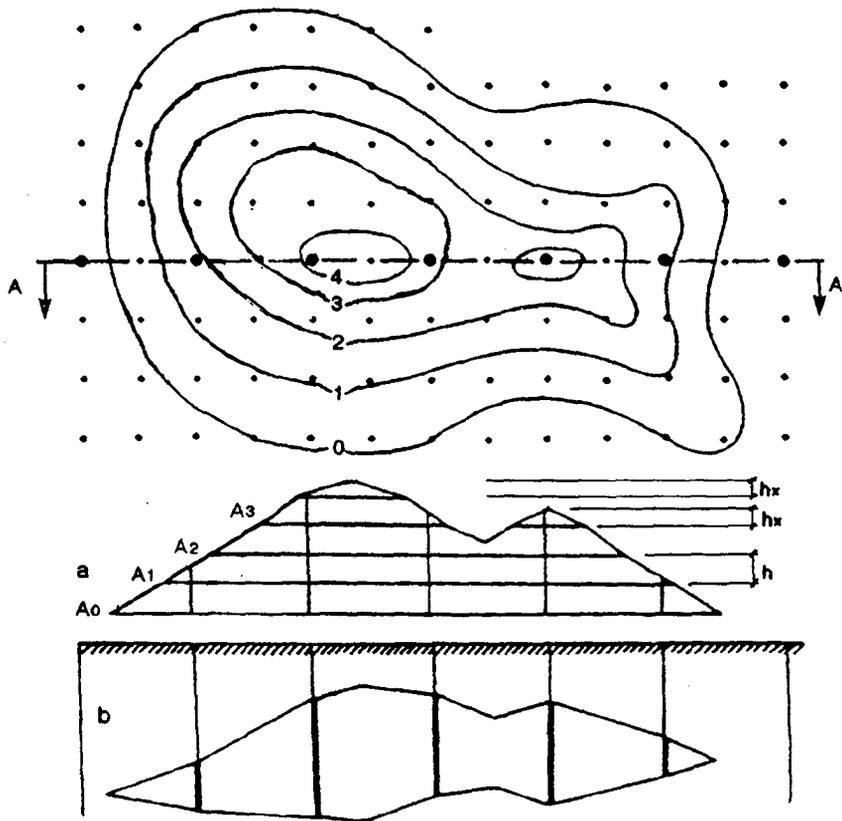


Figura 2.10. Cálculo del volumen de un yacimiento por el método de las isofleas.

3. **Método de triangulación.** Se basa en unir los sondeos o datos puntuales mediante rectas, formando un mallado triangular. Cada triángulo es la base de un prisma imaginario con una potencia determinada. Los datos de calidad del prisma se obtienen como media aritmética o media ponderada para las potencias de cada uno de los tres sondeos.

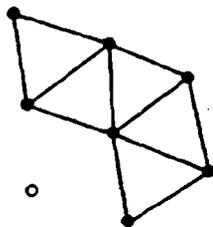


Figura 2.11. Método de triangulación.

4. **Método de polígonos.** Se divide el yacimiento en polígonos determinados por las mediatrices de los segmentos que unen los sondeos. Dentro de cada polígono se supone que se mantiene constante la potencia dada por cada sondeo, por lo que el volumen correspondiente a cada dato se calcula multiplicando el área del polígono por el espesor intersectado por el sondeo.

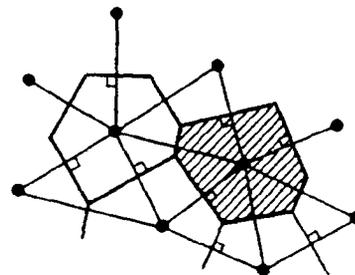


Figura 2.12. Método de los polígonos.

5. **Método de los prismas regulares.** El depósito se divide en planta según una malla regular, de forma que pasa a estar constituido por prismas rectos de sección regular cuyo volumen viene dado al multiplicar la altura de cada uno de ellos por el área de la sección.

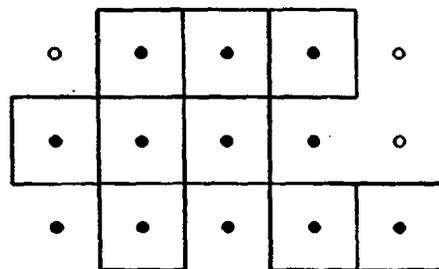


Figura 2.13. Método de los prismas regulares.

En todos los métodos el tonelaje de reservas se estima multiplicando el volumen de reservas cubicado por la densidad media del material. En los depósitos de arenas y gravas el cálculo es más complejo, ya que pueden existir variaciones en función del grado de consolidación y saturación en agua de dichos materiales. En la Tabla 2.3 se recogen algunos valores medios para las arenas y gravas.

TABLA 2.3

TIPO DE ARIDO	DENSIDAD (t/m <sup>3</sup> )
<b>Arenas y gravas</b>	
Secas	1,7
Húmedas	2,0
Compactadas (con arcilla)	2,2 - 2,4
In situ (seco)	1,8 - 2,2
<b>Arena</b>	
Seca suelta	1,6
Ligeramente húmeda	1,9
Húmeda	2,1

Debido a la gran variación de la densidad media de los depósitos de arenas y gravas, para facilitar los cálculos se suele tomar un valor medio de 1,8 t/m<sup>3</sup>. Si

se necesitara una estimación más detallada se debería efectuar un pequeño barreno en el terreno atravesando los materiales a extraer, y determinar a continuación el peso del material extraído y el volumen del hueco del que proceden. Este último dato se suele averiguar introduciendo una bolsa o vaina de plástico flexible en el barreno y de mayor diámetro que éste, y a continuación contabilizar los litros de agua vertidos hasta que llegue a la superficie.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- KUZVART, B. (1979): "Prospecting and exploration of mineral deposits". Elsevier.
- MINISTERE DE L'EQUIPEMENT ET DE L'AMÉ-  
NAGEMENT DU TERRITOIRE (1977): "Granulats.  
Ressources et prospection de gisements". Bulletin de  
Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées.
- ORDOÑEZ, S. (1978): "Aprovechamiento de ári-  
dos". Curso sobre Aridos para la Obra Pública. CEDEX.
- ORDOÑEZ, S. (1988): "La geología en la explo-  
ración de áridos". Curso sobre Aridos para la Obra Pú-  
blica. CEDEX.
- PRENTICE, J. E. (1990): "Geology of Construc-  
tion Materials". Chapman and Hall.

## EXPLOTACION DE YACIMIENTOS GRANULARES

### 1. INTRODUCCION

La puesta en producción de una gravera requiere previamente la realización del proyecto de explotación de la misma. Una vez modelizado el yacimiento se pasa a la etapa de diseño del hueco final y evaluación de las reservas recuperables.

El potencial minero de un depósito de arenas y gravas depende básicamente de los siguientes factores:

1. Espesor y variabilidad del recubrimiento.
2. Potencia y extensión del depósito.
3. Propiedades físicas del yacimiento, incluyendo distribución granulométrica, mineralogía, durabilidad, etc.
4. Accesibilidad al depósito.
5. Distancia a los centros de consumo.
6. Disponibilidad de suficiente cantidad de agua.
7. Profundidad del nivel freático.

8. Restricciones oficiales frente a la operación extractiva.

La situación final suele corresponder a una proyección de futuro, con un alcance temporal amplio, función de los ritmos de extracción y reservas explotables.

El escenario final previsto constituye la base de partida, tanto de la planificación como del proyecto de restauración. Según el uso previsto para los terrenos afectados, como forma de recuperación de los mismos, se contemplan unos criterios básicos, fundamentalmente morfológicos y de ordenación espacial, que deben integrarse y coordinarse con los propios criterios de diseño de las explotaciones. De no procederse así, las actuaciones a posteriori del abandono de los huecos darán lugar a una elevación de los costes de restauración e incluso a la imposibilidad de planteamiento de otras alternativas más acordes con las características ambientales del área.

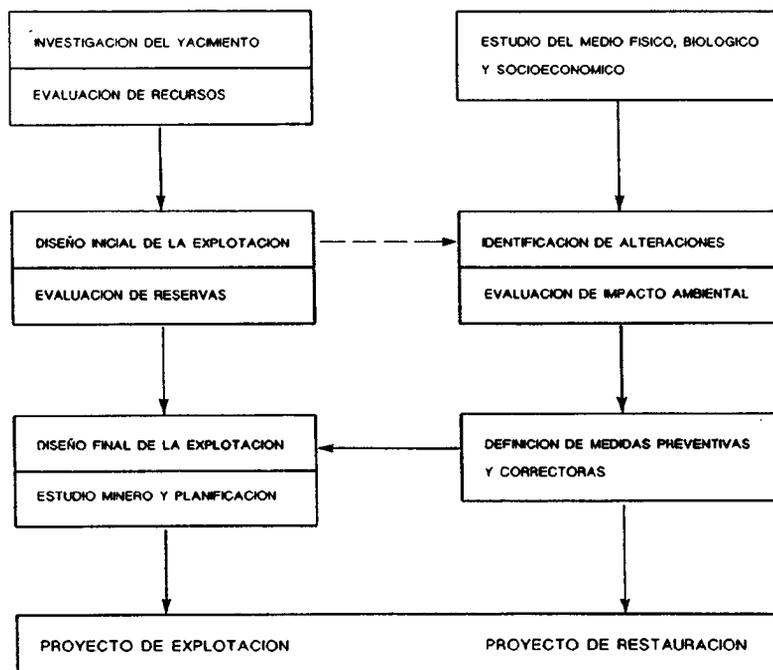


Figura 3.1. Sistema ideal de ejecución de un proyecto de explotación coordinado con el de restauración.

Una parte fundamental del proyecto minero es la constituida por la definición del método y sistema de explotación, que condicionan tanto el tipo de maquinaria a emplear como la secuencia espacial y condiciones en las que se realiza la extracción de los áridos.

En este capítulo se dan algunas pautas a seguir para la ejecución de los proyectos, así como un conjunto de criterios básicos para la planificación de las labores.

## 2. CRITERIOS DE DISEÑO DE LOS HUECOS DE GRAVERAS

A partir de la morfología del depósito de material granular, y teniendo en cuenta las calidades del mismo, se procede a diseñar el hueco final previsto. De acuerdo con la Instrucción Técnica Complementaria ITC 07.1.02, dicho diseño debe plasmarse en un plano taquimétrico a escala 1:500 y corresponder a un período mínimo de cinco años. Además, es necesario disponer de, al menos, un corte longitudinal y otro transversal de la gravera y de la situación prevista de pistas y escombreras.

Los tipos de criterios que se aplican a la hora de diseñar una gravera pueden agruparse en los siguientes:

- Criterios operativos.
- Criterios geotécnicos y de delimitación geométrica.
- Criterios de selectividad y recuperación.

Dentro del primer grupo, se deben contemplar los que se indican a continuación:

- Altura de banco.
- Anchura de tajo.
- Bermas.
- Pistas y rampas.
- Radios y sobreebanco en curvas.

El parámetro más crítico es la altura de banco, que se recomienda que sea igual aproximadamente al alcance del equipo mecánico utilizado en la excavación. Esta dimensión varía en función del tipo de gravera, seca o húmeda, y maquinaria empleada, que trabaje por encima o por debajo de la plataforma de apoyo. En la mayoría de los casos se recomienda una altura máxima de banco de unos 10 m.

En cuanto a los criterios geotécnicos, éstos se refieren al ángulo del talud de los bancos y el talud general del frente de la explotación. Durante la fase de operación los taludes de banco pueden llegar a ser verticales, aunque es conveniente que no se llegue a tal extremo.

Geotécnicamente, los materiales de terrazas aluviales no son fáciles de caracterizar, sobre todo cuando están presentes tamaños gruesos.

No obstante, a efectos prácticos pueden considerarse los ángulos de rozamiento interno indicados en la Tabla 3.1.

La compactación suele ser de media a alta, debida en muchos casos a la compactación procedente de los sucesivos depósitos y a las fuerzas de filtración.

Desde el punto de vista de estabilidad de los taludes, los ángulos más altos se tienen durante la fase de ope-

TABLA 3.1

TIPO DE MATERIAL	ANGULO DE ROZAMIENTO INTERNO (°)
Gravas y bolos silíceos con matriz arenosa	40 — 45
Gravas y bolos con matriz limoarcillosa	36 — 40
Gravas y bolos con trama abierta	35 — 38
Gravas y bolos calcáreos con matriz arenosa	38 — 42
Gravas y bolos con matriz limoarcillosa	35 — 38
Arenas con grava	34 — 38
Arenas finas	32 — 35
Limos arcillosos con grava	30 — 32

Fuente: ITGE.

ración, como ya se ha indicado, pues posteriormente se remodelan antes de proceder a la restauración. En general, se encuentran taludes estables en las graveras secas desde los 40° a los 90°. Si éstas se encuentran recientemente abandonadas o en operación, los taludes pueden ser prácticamente estables, debido a fenómenos de encaje estructural, cohesión capilar, cementación, uniones diagenéticas, etc.

No obstante, los taludes excavados muestran una evolución a lo largo del tiempo tendente a alcanzar el talud de equilibrio, determinado por el ángulo de rozamiento interno del material flojo.

A efectos de diseño, y como una primera aproximación, puede emplearse el ábaco de la Fig. 3.2, en el que se dan los ángulos de talud estables para diferentes alturas y tipos de materiales.

En lo referente a la delimitación geométrica de la gravera, ésta vendrá generalmente impuesta por la extensión del yacimiento y la propiedad de los terrenos. No obstante, cuando exista un curso de agua en las proximidades, se aconseja como criterio básico respetar las riberas, dejando una franja de seguridad de unos 20 m.

Esta norma se sigue en algunos países europeos, y

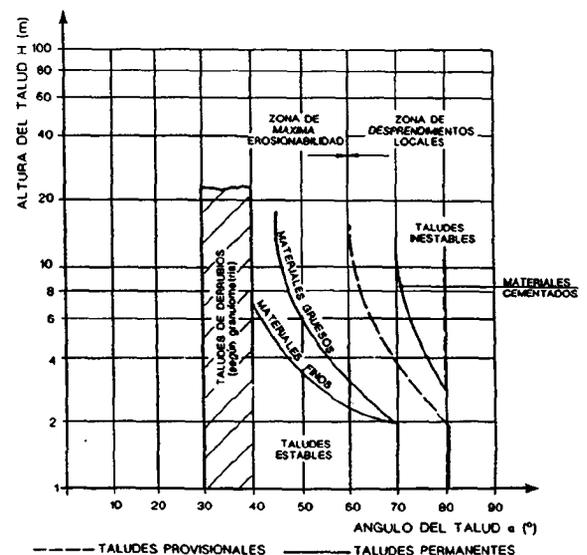


Figura 3.2. Ángulos de talud recomendados para materiales de terraza (ITGE, 1986).

lo que se persigue con ella es evitar alterar el frágil equilibrio ecológico de los sistemas fluviales.

Finalmente, los criterios de selectividad se refieren a la necesidad de extraer de forma cuidadosa determinadas partes del yacimiento, con el fin de no producir una contaminación de los materiales comerciales, a las pérdidas ocasionadas por extracción o manipulación y al abandono de zonas del depósito por mala calidad.

### 3. PLANIFICACION DE LAS EXPLOTACIONES

Una vez efectuado el diseño del hueco final de la gravera y fijados los ritmos de extracción anuales, se pasa a la etapa de planificación de la explotación. Esta planificación es, generalmente, de dos clases: planificación a corto plazo, que se suele llamar planificación operativa, y que cubre un período de tiempo que puede ir desde 3 meses a un año, y planificación a largo plazo, que abarca un período de tiempo mayor, por ejemplo, 3 ó 5 años.

La planificación de la producción depende, como es lógico, de la previsión de la demanda o producción vendible, por lo que periódicamente se deberá actualizar, corrigiéndose las desviaciones que se hubieran presentado en el transcurso del tiempo.

El proceso de planificación debe materializarse en un conjunto de planos en los que se representará la variación espacial del hueco de la gravera, con los diferentes tajos de extracción, profundidades alcanzadas, avances anuales, zonas de desbroce y retirada de suelo, localización de acopios de tierra vegetal, etc.

Asimismo, en función de los ritmos de extracción previstos y condiciones de operación, se definirán para diferentes etapas de la gravera los medios de producción necesarios, fundamentalmente de carga y transporte.

Un aspecto importante que debe tenerse en cuenta en la etapa inicial del proyecto minero es la localización de las instalaciones de preparación de áridos. Esta podrá ser la misma durante toda la vida de la gravera, o por el contrario cambiar en un momento dado con el fin de reducir las posibles alteraciones ambientales que producen —impacto visual, ruido, polvo, etc.— o por cuestiones puramente técnicas o económicas —proximidad a la zona de extracción o vías de salida y acceso a la gravera, etc.

Paralelamente con la planificación de la explotación se debe realizar la planificación de la restauración de las áreas degradadas. Según el uso previsto para los terrenos y condiciones del lugar, se podrán simultanear los trabajos de extracción y restauración, reduciéndose los costes de esta última operación y evitando, en la medida de lo posible, aumentar el grado de afectación o impacto sobre el medio natural, Fig. 3.3.

Siempre es mucho más económico adelantar los trabajos de recuperación que retrasarlos al final de la vida de la gravera, máxime cuando se corre el riesgo de modificación de las propiedades de los materiales o pérdida de parte de éstos. Los distintos horizontes que constituyen los suelos tienen un incalculable valor.

Considérese, por ejemplo, el caso de una gravera que se pretende recuperar como reserva natural creando un lago, con islas y penínsulas artificiales. La planificación del movimiento de estériles puede reducir nota-

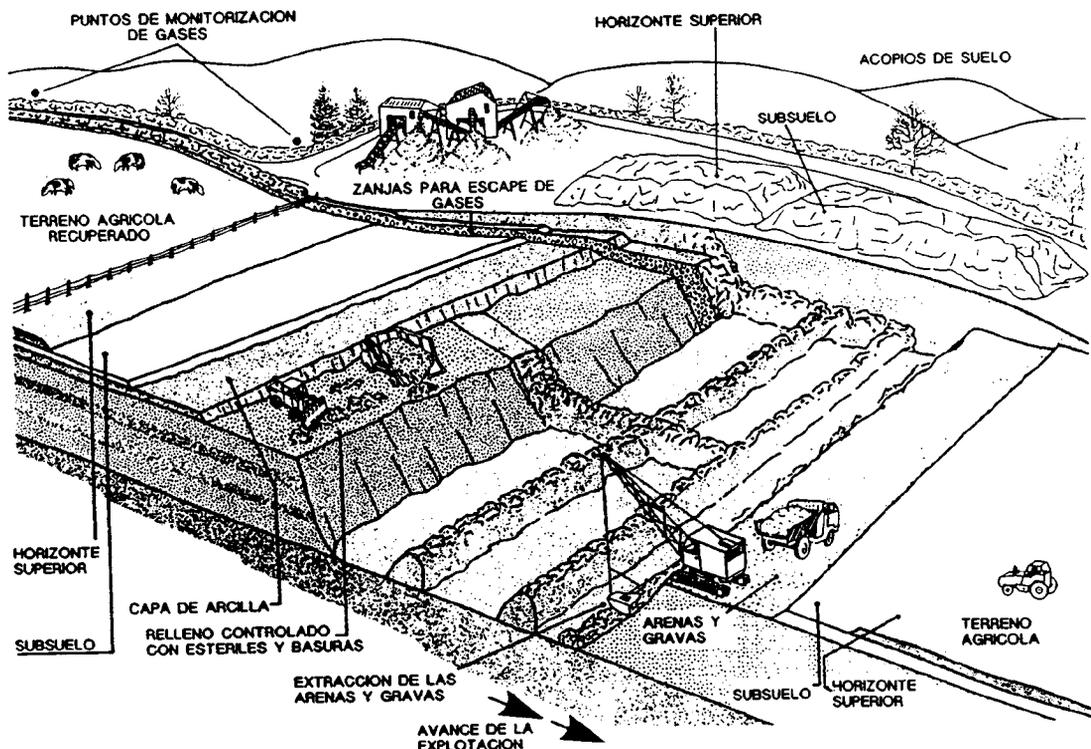


Figura 3.3. Ejemplo de gravera en condiciones secas y con restauración simultánea.

blemente los costes de modelado del hueco, así como de construcción de las citadas islas o penínsulas.

En cualquier proyecto de restauración minera una de las partidas más importantes es la debida al movimiento de materiales o modelado, por lo que ésta deberá contemplarse en el proyecto general de explotación.

#### 4. METODOS Y SISTEMAS MINEROS

Se entiende por método minero el procedimiento utilizado y el orden con que se lleva a cabo la extracción de los materiales granulares, dependiendo de las características morfológicas e hidrogeológicas del depósito y del terreno bajo el que se encuentra.

En el caso de las graveras se puede hablar genéricamente de una explotación a cielo abierto por banco. Las profundidades que se alcanzan suelen ser inferiores a los 20-30 m, por lo que el número de bancos es reducido, y en muchas ocasiones se limita a uno solo.

Desde el punto de vista metodológico, las graveras se pueden clasificar en tres grandes grupos:

- Explotaciones secas.
- Explotaciones bajo lámina de agua.
- Explotaciones con rebajamiento de nivel freático.

Los sistemas de explotación están configurados por los diferentes equipos de arranque, carga y transporte. Según la continuidad del ciclo básico, se diferencian los siguientes sistemas:

- Totalmente discontinuos.
- Mixtos.
- Totalmente continuos.

A su vez, en cada uno de estos sistemas la maquinaria empleada puede ser distinta.

A continuación se hace una breve descripción de cada uno de estos métodos:

##### A. Explotaciones secas

Consisten en excavaciones tridimensionales hasta alcanzar el fondo previsto o lecho del depósito de arenas y gravas.

Dependiendo de la profundidad, el avance se realiza con un frente único o escalonado, constituido en este caso por varios bancos.

La maquinaria que se emplea es la típica de cualquier explotación a cielo abierto.

Generalmente, este tipo de explotaciones se localizan en las terrazas altas de los depósitos fluviales, presentando la ventaja de una mayor accesibilidad visual de los materiales que se extraen y unas mejores condiciones de trabajo de los equipos mineros.

##### B. Explotaciones bajo lámina de agua

Las graveras en las que el nivel freático se encuentra muy próximo a la superficie, o a una cierta profundidad cuando el paquete productivo es de gran potencia, suelen explotarse total o parcialmente bajo una lámina de agua.

El método aplicado es similar al del grupo anterior, con la diferencia de que en la mayoría de los casos se lleva un solo banco, con una altura igual a la de la profundidad del hueco inundado. Sólo cuando la parte alta del depósito se encuentra seca la extracción se hace con un método mixto, pudiendo emplearse equipos diferentes en cada zona.

Habitualmente, se precisan equipos distintos a cuando se opera en condiciones secas, siendo los más comunes: dragalinas, cucharas de arrastre y retroexcavadoras.

El principal inconveniente estriba en la falta de visión sobre los materiales que se extraen, y consecuentemente las pérdidas o contaminación de dichos materiales.

Con este método se presupone que prácticamente todos los terrenos afectados van a abandonarse como lagunas, llegándose a rellenar parcialmente algunas zonas.

##### C. Explotaciones con rebajamiento del nivel freático

Este método se basa en la depresión del nivel freático mediante una de las siguientes variantes, conjunto de pozos de bombeo perimetrales al área de explotación, red de zanjas excavadas por debajo del nivel de extracción o pantallas de impermeabilización.

En cualquiera de las alternativas es preciso disponer de un equipo de bombas para mantener el nivel del agua a la altura deseada.

El sistema más empleado, concretamente en algunas de las graveras próximas a Madrid, consiste en la excavación de una red de zanjas rodeando la explotación. En una primera etapa se profundiza hasta el alcance máximo del equipo utilizado, comúnmente una retroexcavadora. A continuación, desde el punto más bajo de la red de zanjas perimetrales, se bombea el agua recogida, extrayéndose en seco el material granular drenado hasta alcanzar el nivel de la zanja.

En fases posteriores se efectúa una nueva profundización de las zanjas y la consiguiente extracción, hasta llegar al lecho en el que se apoyan las gravas, que en la mayoría de los casos es impermeable, Fig. 3.4.

La cantidad de agua que es preciso bombear puede llegar a ser notable, ya que la conductividad hidráulica suele oscilar entre los 10 y 10.000 m<sup>2</sup>/día y radios de influencia de varios cientos de metros e incluso miles de metros. En la práctica se ha comprobado la variabilidad de permeabilidades, dentro de una misma terraza, pues en su formación se identifican antiguos cauces mezclados y superpuestos que hacen que se modifiquen las condiciones de transmisión del agua en el terreno, surgiendo veneros localizados dentro del área de explotación.

En la zona del río Jarama se han registrado en bancos de gravas de 4 a 8 m de potencia coeficientes de transmisividad entre 1.000 y 5.500 m<sup>2</sup>/día, con zonas de trabajo de 2 a 4 ha.

Las principales ventajas que presenta este método son:

- Mejores condiciones de trabajo de los equipos convencionales de extracción al estar el material drenado.

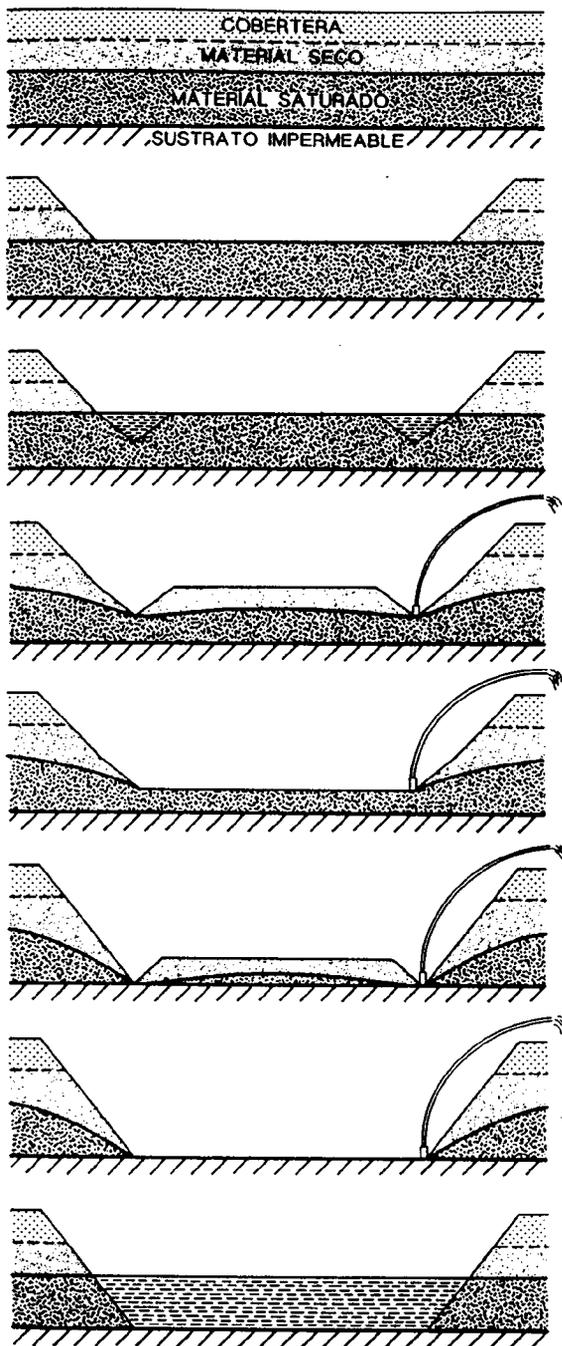


Figura 3.4. Fases del método de explotación con rebajamiento del nivel freático (MARTINEZ ARGANDOÑA, 1992).

- Mayor precisión en la extracción al poderse ver el contacto entre materiales de diferentes características.
- Mejor aprovechamiento del depósito al poderse observar el fondo del yacimiento.

Por el contrario, los inconvenientes más destacables que conlleva son:

- Inversión en equipos de bombeo y red de captación del agua, zanjas o pozos.

- Coste de extracción del agua durante la operación.
- Problemas de vertido y control de un gran caudal de agua a un cauce próximo o a huecos excavados anteriormente, con el riesgo de retorno del agua hacia el área de trabajo por filtración a través del propio acuífero.

## 5. MAQUINARIA DE EXTRACCION

Entre las diversas operaciones que constituyen el ciclo básico de las explotaciones a cielo abierto, el arranque es la primera que se lleva a cabo, seguida de la carga y el transporte hasta la planta de tratamiento y/o escombrera.

En la explotación de graveras, la propia máquina de arranque efectúa la carga del material, pues éste suele estar poco cohesionado y las granulometrías son adecuadas para su manipulación directa.

Parte de la maquinaria de producción podrá también emplearse en la retirada selectiva de los suelos, para su posterior acopio y aprovechamiento en los trabajos de restauración.

A continuación se describen, de forma muy somera, los equipos mineros que se utilizan con más frecuencia:

### A. Palas cargadoras

Son unidades de ruedas o cadenas dotadas de un cucharón en su parte delantera. Son equipos muy versátiles, utilizados en funciones de carga y transporte fundamentalmente, en condiciones secas.

Las características generales de diseño son:

- Chasis articulado en los modelos de ruedas.
- Accionamiento diesel, o diesel eléctrico en las unidades mayores.
- Capacidad de arranque en función de la inercia con que se desplaza la máquina y la propia cinemática del equipo.

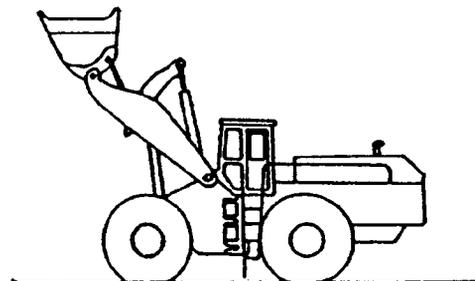


Figura 3.5. Pala de ruedas.

### B. Excavadoras hidráulicas

Son unidades que han alcanzado su madurez en la última década. Se utilizan en dos versiones, frontal y retro.

La primera se emplea en condiciones secas, mientras que la versión retro puede usarse tanto en graveras secas como húmedas, con extracción bajo lámina de agua.

Generalmente van montadas sobre orugas, si bien las unidades más pequeñas pueden estar construidas con un chasis de ruedas. El accionamiento es comúnmente diesel y la superestructura puede efectuar un giro completo, con lo que los ciclos de carga son inferiores a los de otras unidades que precisan desplazarse en su trabajo.

Son máquinas muy versátiles, que se utilizan tanto en producción como para la ejecución de otras labores: obras de drenaje, zanjas, cunetas, balsas de decantación, etc.

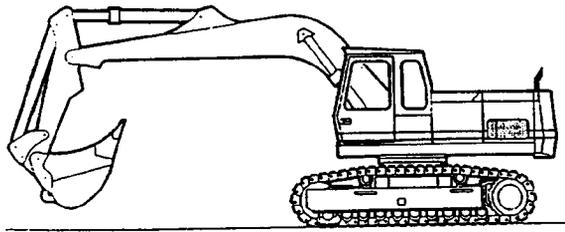


Figura 3.6. Retroexcavadora hidráulica.

### C. Dragalinas

La característica básica de estos equipos es su gran alcance y la posibilidad de excavar bajo la plataforma de apoyo.

La operación de arranque se realiza con un cazo suspendido de un cable, que, una vez sobre el material a extraer, se arrastra con otro cable tirando hacia la propia máquina. Pueden trabajar en todo tipo de condiciones, si bien en el caso de las graveras es frecuente verlas operando extrayendo el material bajo una lámina de agua.

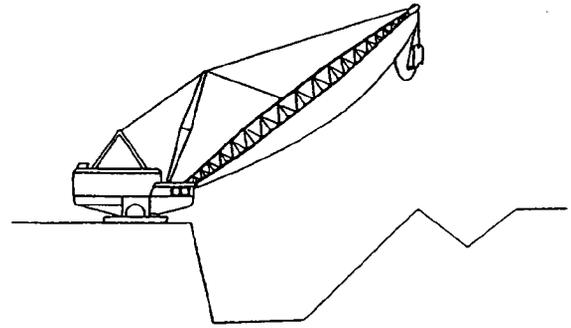


Figura 3.7. Dragalina.

El movimiento de traslación se consigue por medio de orugas, o en los modelos más grandes con un sistema de patines.

El accionamiento puede ser tanto diesel como eléctrico.

### D. Cucharas de arrastre

Los "scraper" o cucharas de arrastre están constituidos, básicamente, por una cuchara y un carro de traslación que son accionados por un sistema de cables. Generalmente se dispone de un mástil o torre de cabeza con sus poleas, cuya altura es función de la distancia de trabajo, con el objeto de obtener un regreso de la cuchara por gravedad hasta el punto de excavación. Los mástiles más altos pueden llegar a tener hasta 40 m de altura, estando firmes con diversos vientos anclados al terreno.

Los cables operantes son los de arrastre, tensión y carril. Los dos primeros se enrollan sobre los tambores de un cabrestante. El tambor de arrastre es de dos velocidades: una lenta de excavación y otra rápida de transporte. El accionamiento puede ser eléctrico o por motor diesel.

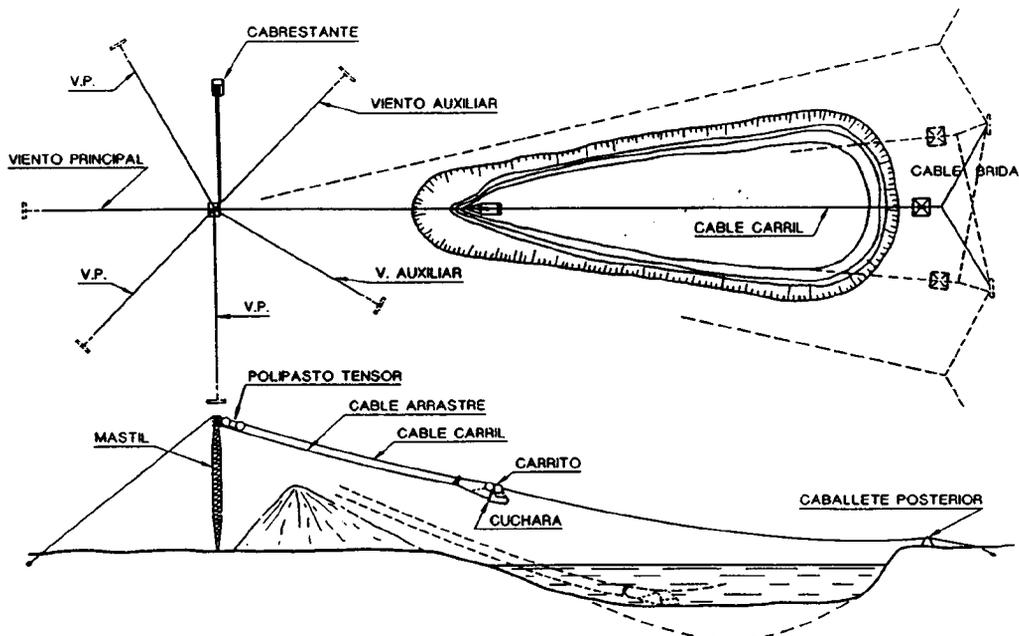


Figura 3.8. Instalación típica de una cuchara de arrastre.

## E. Dragas

Las dragas son máquinas clásicas de excavación de materiales sueltos pocos consolidados. Actualmente existen diferentes tipos: mecánicos, como los de cuchara, de cangilones o de rodete, e hidráulicos, como las cortadoras succionadoras y las de succión en marcha. De todas éstas, las más adecuadas para depósitos en los que las granulometrías gruesas son abundantes son las de cangilones.

Generalmente están constituidas por un casco formado por pontones flotantes, en algunos modelos desmontables, y el equipo de extracción.

Como es obvio, se requiere que el hueco de la grava esté inundado de agua, bien de forma natural o artificialmente, y que las reservas explotables sean suficientes para justificar la inversión en tales máquinas.

Las profundidades máximas de dragado pueden llegar hasta los 50 m, aunque en este tipo de trabajos rara vez superan los 20-30 m.

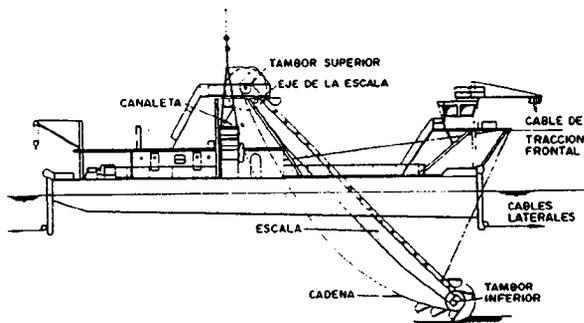


Figura 3.9. Draga flotante.

## F. Mototraillas

Son equipos de movimientos de tierras con capacidad para arrancar materiales en capas horizontales, cargarlo, transportarlo y verterlo.

Son articuladas, compuestas por un elemento tractor y una caja. Los modelos existentes se caracterizan por poseer uno o dos motores acoplados a cada eje, y una caja de carga directa o con mecanismo autocargable.

Estas máquinas son muy adecuadas para la retirada selectiva de suelos, antes de proceder a la extracción del material beneficiable.

En lo que respecta al transporte, se utilizan dos tipos de sistemas: uno discontinuo, constituido por volquetes, y otro continuo, por medio de bandas transportadoras.

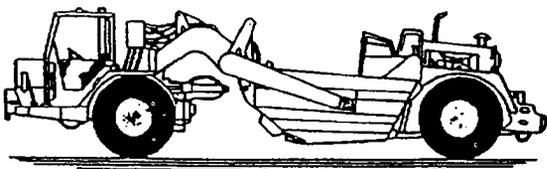


Figura 3.10. Mototrailla.

En las pequeñas graveras las máquinas más utilizadas son los volquetes, mientras que en las grandes explotaciones con reservas y ritmos elevados puede emplearse un sistema de cintas con carros tolva en los que se vierte el material por la unidad de extracción. Dichas cintas pueden ser móviles o ripables, sobre todo las de tajo, y fijas o estacionarias, las que conducen el material hasta las plantas de tratamiento.

En aquellas graveras en las que las distancias de transporte son pequeñas y se trabaja en condiciones secas, las propias máquinas de carga, como son las palas de ruedas, pueden efectuar directamente el transporte.

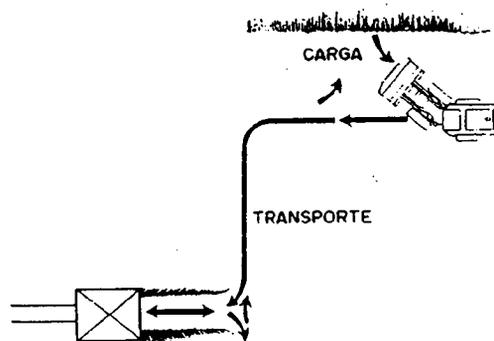
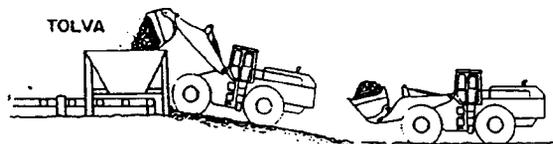


Figura 3.11. Pala de ruedas realizando la operación de transporte.

## 6. PREPARACION Y CLASIFICACION DE ARIDOS

Los materiales procedentes de las graveras no suelen encontrarse en condiciones de utilización directa, salvo algunos casos de zahorras para subbases, materiales para ciertos pedraplenes, etc. En general, los materiales presentan piezas de mayor tamaño que el especificado, granulometría que no cumple con los usos especificados, impurezas indeseables, falta de caras partidas, exceso de materiales finos, etc.

Para su utilización es preciso someterlos a diversos procesos que corrigen los índices que miden sus cualidades, hasta llevarlos dentro de los intervalos de valores admitidos en los pliegos de prescripciones de las obras y fabricación de hormigones.

Las etapas de procesamiento de los áridos son, por lo general, las siguientes: trituración, clasificación y lavado.

La necesidad del machaqueo o trituración es debida a tres razones:

- Por tener que reducir el tamaño de los fragmentos que sobrepasan la dimensión máxima especificada.
- Para conseguir un huso granulométrico especificado. Se triturarán ciertas fracciones de material con

tamaños gruesos para aumentar las fracciones más finas.

- Para aumentar el número de piezas que presentan caras fracturadas, cuando éstas escasean en el conjunto.

Según el tamaño máximo de admisión, las machacadoras se clasifican en primarias (> 0,3 m), secundarias y terciarias (< 0,05 m). La forma en la que trabaja cada tipo de machacadora puede ser distinta: presión, percusión o atrición.

En la Tabla 3.2 se recogen las características básicas de los diferentes tipos de trituradoras.

En lo referente a su montaje, existe una tendencia general hacia las instalaciones móviles o semimóviles, debido a las ventajas técnicas y económicas que presentan.

La clasificación es una operación básica que se precisa en los siguientes casos:

- Cuando se desea separar una fracción de material cuyos granos sean mayores o menores que uno determinado. Esto es común cuando no se quiere procesar los sobretamaños o para eliminar impurezas que acompañan a las fracciones más finas.
- Cuando se desea separar una fracción de material cuyos granos tengan dimensiones comprendidas entre ciertos valores, para tratar por separado esta fracción.
- Para dividir el conjunto en fracciones comprendidas en diversos intervalos de tamaño, con el fin de aprovecharlas en porcentajes determinados para componer husos granulométricos estipulados.

Para realizar estas operaciones existen diversos equipos: cribas, separadores de barras, espirales, ciclones, etc.

El lavado propiamente dicho consiste en separar las fracciones finas, en general arcillosas, de otros materiales a los que se encuentran adheridas.

En ocasiones la clasificación también requiere el aporte de grandes cantidades de agua, ya que el cribado normal se realiza con un rendimiento muy bajo debido a la humedad que presentan los materiales.

De una manera esquemática, dentro de un circuito clásico de lavado o de clasificación por vía húmeda, se distinguen tres etapas:

1. Aporte de la cantidad de agua adecuada a los materiales brutos para poner en suspensión los elementos finos contaminantes o en exceso.
2. Separación de los productos comerciales, gravas y arenas, de las aguas cargadas.
3. Decantación de las aguas de rechazo para proceder a su clarificación. En esta etapa se produce una elevada cantidad de lodos, Fig. 3.12.

El lavado de los áridos es, en general, necesario en el sector de la construcción, donde los materiales deben poseer la calidad y limpieza requeridas. Los materiales destinados a la obra pública se suelen comercializar en la mayoría de los casos sin lavado.

El proceso de lavado de los áridos es más enérgico cuanto mayor es el grado de suciedad con que aparecen en su estado natural.

La fracción eliminada por lavado (partículas inferiores a 50 y 10<sup>o</sup> µm) varía desde el 0,5% hasta el 10% de

TABLA 3.2

TIPOS	CARACTERISTICAS DEL MATERIAL			RELACION DE REDUCCION	CAPACIDAD DE PRODUCCION
	DUREZA	ABRASIVIDAD	HUMEDAD		
Mandíbulas (doble efecto)	Semiduro a extraduro	Abrasivos	Ligera, no pegajosas	8/1 a 10/1	Grande
Mandíbulas (simple efecto)	Semiduro a extraduro	Poco o medianamente abrasivos	Ligera, poco pegajosas	8/1 a 10/1	Grande
Giratorias	Semiduro a extraduro	Abrasivos	Ligera, no pegajosas	6/1 a 8/1	Muy grande
Doble cilindro dentado	Semiduro	Poco abrasivos	Húmedos, muy pegajosos	4/1 a 5/1	Muy grande
Cilindromandíbula	Friable o semiduro	No abrasivos	Húmedos medianamente pegajosos	5/1 a 6/1	Muy grande
Martillos o percusión simples	Friable o semiduro	No abrasivos	Húmedos, ligeramente pegajosos	10/1 a 20/1	Mediana
Martillos o percusión dobles	Friable o semiduro	No abrasivos	Húmedos, medianamente pegajosos	20/1 a 30/1	Mediana

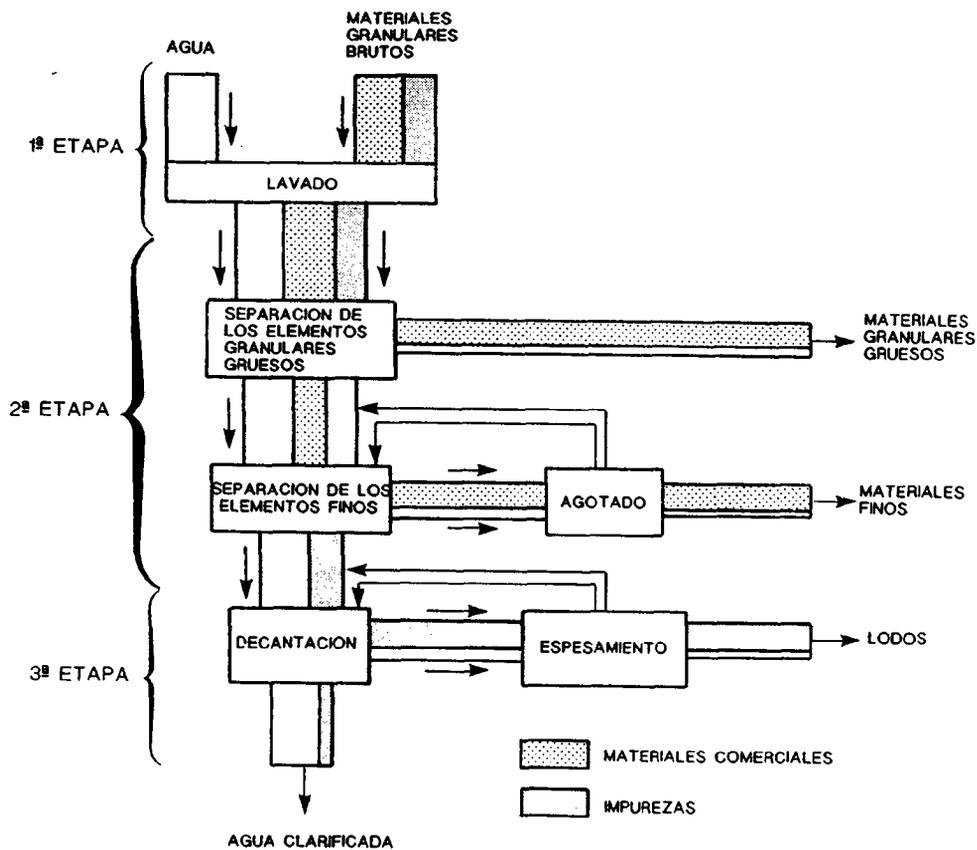


Figura 3.12. Esquema básico de tratamiento de los áridos naturales y producción de lodos.

la cantidad total del material tratado. Por encima del 10%, el yacimiento debe considerarse como contaminado y poco apto para su aprovechamiento. Como regla general, puede fijarse una cifra media de producción de lodos del orden del 5% en peso.

Como ya se dijo anteriormente, en el material granular extraído se distinguen las gravas (> 5 mm) y las arenas (< 5 mm). El proceso de lavado de estas dos fracciones se suele realizar por separado.

Los áridos gruesos se lavan, normalmente, en la operación de cribado, instalando unos chorros de agua a presión en la parte superior de los paños de las cribas. Las aguas cargadas de las partículas finas son recogidas en la parte inferior.

También se utilizan rampas de lavado especiales, trómeles, lavadores de paletas y tornillos sin fin, fundamentalmente para aquellos casos en los que el lavado debe ser más eficiente.

Las arenas pueden someterse a procesos similares a los de las gravas, pero generalmente después de la operación de cribado de éstas la pulpa que arrastra las propias arenas junto a los limos y arcillas suele tratarse con ruedas decantadoras o norias.

Con estos equipos se efectúa un batido de la pulpa dentro de una cubeta, de manera que se logran separar los finos contaminantes de los granos de arena. Estos al ser más pesados se van depositando en el fondo de la cubeta, desde donde los cangilones de la rueda los

van progresivamente recogiendo, escurriendo el agua a través de unos orificios que lleva cada cangilón.

El agua, con las partículas finas en suspensión, sale de la cubeta a través de un rebosadero que se encuentra en la parte superior.

El principio básico consiste pues en mantener la turbulencia adecuada dentro de la cubeta para evitar, por un lado, la decantación de las partículas más finas y, por otro lado, el arrastre hacia el rebosadero de los granos finos de arena.

El lavado que se consigue con estos equipos no es muy intenso, por lo que a veces se utilizan otros tipos de separadores. Los tornillos sin fin tienen un principio de funcionamiento semejante al anterior, pero en el que las arenas son extraídas por medio de los álabes del tornillo. El lavado que se consigue es mejor, pero también más caro.

Finalmente, el ciclonado es el proceso más eficaz, basado en la separación de las arenas y el agua con los finos de rechazo mediante la fuerza centrífuga. El inconveniente que presenta es de tipo económico, pues tanto la inversión como los costes de mantenimiento son más elevados que en el resto. Sólo se utiliza en casos de materiales muy especiales en cuanto a sus especificaciones o con una gran suciedad.

En lo referente a los lodos procedentes del lavado de áridos, la característica principal es su heterogeneidad, debida al origen de los materiales, sus cualidades geotécnicas y su composición final.

En la Tabla 3.3 se indica, de manera cualitativa, la variabilidad de algunas características físico-químicas.

**TABLA 3.3. VARIABILIDAD DE LAS CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LOS LODOS PRODUCIDOS EN GRAVERAS**

CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS	VARIACIONES OBSERVADAS
Naturaleza mineralógica de la roca explotada	Aluviones silíceos, calcáreos o sílico-calcáreos, arenas arcillosas, calcáreas cuarcíticas, graníticas y similares, diorita, etc.
Naturaleza mineralógica de las arcillas	Illita, moscovita, caolinita, montmorillonita, clorita.
Plasticidad	Ip de 7 a 70
Granulometría	Diámetros variables entre 40 y 500 $\mu\text{m}$ y el pasante a 1 $\mu$ de 1 a 12%.
Presencia de floculantes	Sin floculantes. Con floculantes básicos, ácidos o neutros.
Concentración	150 a 1.200 g/l.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- BANKS, P. T., et al. (1981): "Reclamation and Pollution Control: Planning Guide for Small Sand and Gravel Mines". Bureau of Mines. United States Department of the Interior.
- I.T.G.E. (1986): "Estabilidad de taludes en las formaciones blandas de la Comunidad de Madrid".
- MARTINEZ ARGANDOÑA, M. (1992): "El agua y las explotaciones en terrazas fluviales. Caso de las graveras. Gestión del Agua en el proceso productivo de una gravera". Jornadas sobre Tecnología del Agua en la Minería. Asociación Nacional de Ingenieros de Minas.
- McELWEE, C. D. et al. (1991): "A New Sampling System for Obtaining Relatively Indisturbed Samples of un Consolidated Coarse Sand and Gravel". Ground Water Monitoring Review.
- NATIONAL STONE ASSOCIATION (1991): "The Aggregate Handbook". Washington, D. C.
- ROJO J. (1988): "Maquinaria y preparación de áridos". Jornadas Técnicas sobre Áridos en la Construcción de Firmes Flexibles".
- SHELLIE, K. L., Ed. (1977): "Sand & Gravel Operations. A Transitional Land Use". National Sand & Gravel Association.
- WERTH, J. T. (1980): "Sand and Gravel Resources: Protection, Regulation, and Reclamation". American Planning Association.

## EL MEDIO FLUVIAL Y RIBEREÑO

### 1. INTRODUCCION

El estudio detallado del medio natural es un punto de partida básico a la hora de preparar el diseño de cualquier proyecto de restauración, pero es aún más crítico en el caso de las graveras, ya que esta actividad incide sobre un medio muy particular, no sólo por la singularidad de algunos de sus biotopos asociados —por ejemplo las riberas—, sino fundamentalmente por la complejidad de los procesos que rigen su funcionamiento.

Las graveras, generalmente, afectan de forma directa a los ríos y/o a espacios muy cercanos a ellos, ocupados por ecosistemas particulares cuyo funcionamiento está ligado estrechamente a la presencia y la dinámica de un curso de agua.

Dos son, pues, los tipos genéricos de medio que pueden verse alterados por estas explotaciones y, por tanto, sobre los cuales va a centrarse la restauración de graveras:

- El **medio fluvial**, entendiéndose por tal el cuerpo de agua libre de ríos y arroyos.
- El **medio ribereño**, que es un territorio frontera entre el medio netamente fluvial y el terrestre.

Entre los numerosos elementos y factores que están implicados en ambos ecosistemas existe un complejo entramado de relaciones, con numerosos mecanismos de retroalimentación e interdependencia. La alteración de uno de ellos puede provocar el desencadenamiento de un mecanismo de ajuste a las nuevas condiciones, que modifique su modelo de funcionamiento y afecte a los elementos, procesos y demás características que los definen.

Se trata, por tanto, de un sistema muy lábil y delicado, en el que es preciso conocer perfectamente y desde un principio cuáles son los factores implicados, la relación que existe entre ellos y la importancia relativa de cada uno.

El diseño de un proyecto de restauración debe hacerse de forma integral, y desde un perfecto conocimiento de los mecanismos funcionales que rigen el sistema. Sin este conocimiento puede suceder que el proyecto resulte incompleto e incluso que las acciones de restauración tengan un efecto negativo.

### 2. FACTORES AMBIENTALES

#### 2.1. Factores ambientales de las riberas

Se define como medio ribereño aquel inmediatamente adyacente a las vías naturales de drenaje y que, además, está caracterizado por especies y formas biológicas diferentes de las colindantes y pertenecientes al clima no edáfico (climácico). Es imposible disociar el biotopo ribera/río, ambos forman un sistema global e integrado.

Sus factores ambientales más característicos son:

- La existencia de una capa freática superficial permanente, aunque con fuertes oscilaciones estacionales, originada por la presencia del río, que asegura un suministro constante de agua independiente de las precipitaciones. Esta circunstancia es la que permite el desarrollo en las riberas de un tipo de vegetación peculiar denominada riparia, ribereña o en galería (aludiendo a su estructura espacial). Ante esto, factores ambientales como climatología, suelos o relieve, que en otros biotopos juegan un papel fundamental con respecto a la vegetación, aquí quedan en segundo plano.
- Un microclima particular, más fresco y húmedo y con un rango de oscilación diaria de las temperaturas menor que en su entorno macroclimático.
- Una gran producción de biomasa en condiciones normales, y una alta productividad, mayores que las de los medios adyacentes, Tabla 4.1.
- Una mayor diversidad biológica de los ecosistemas con un mayor número de especies y de individuos, que los medios adyacentes.

A la vista de todas estas condiciones particulares, el medio ribereño puede ser considerado como una "isla"

TABLA 4.1

	FITOMASA (t/ha)	PRODUCCION ANUAL (t/ha)
Bosques de ribera	80	12
Región suboreal semiárida (incluye la región mediterránea)	11,7	2,8

biogeográfica", por su divergencia ecológica y funcional respecto de los ambientes que lo rodean.

## 2.2. Factores ecológicos del río

En la regulación del ecosistema fluvial y su funcionamiento intervienen un gran número de factores, Tabla 4.2, que actúan en dos ámbitos fundamentales:

- Como **factores limitantes**, que regulan la composición específica del ecosistema (flora y fauna) y el desarrollo de las poblaciones. Los factores que mayor incidencia tienen en este aspecto son los físico-químicos, Tabla 4.3, y los bióticos.
- Como **creadores de diversidad**. La multiplicidad de factores y sus combinaciones posibles, tanto a lo largo del perfil longitudinal del río como en su sección transversal, generan una amplia gama de hábitats que se traducen en la diversificación específica y de tipos biológicos de la biocenosis fluvial.

En este sentido, los factores que mayor peso tienen son los hidráulicos y los morfológicos (sustratos,

morfología del cauce, estacionalidad, velocidad de la corriente, etc.).

Todos los factores están íntimamente relacionados entre sí y son mutuamente interdependientes. Estas relaciones unas veces son directas y bastante evidentes. Es el caso de profundidad e intensidad de luz, un aumento de la profundidad va acompañado de una disminución progresiva de la luminosidad. La mayoría de las veces se trata de relaciones complejas, en las que el valor de un factor determinado depende de la situación combinada de otros varios, Fig. 4.1.

Muchos de estos factores ecológicos muestran un gradiente de variación progresivo a lo largo del perfil longitudinal de río. Tradicionalmente se diferencian tres partes:

- **Crenon**, curso alto o cabecera, caracterizado por fuertes corrientes, lechos rocosos con depósitos de guijarros, gravas y otros materiales de granulometría gruesa, y dominio de la erosión y el transporte sobre la sedimentación.
- **Rithon** o curso medio, donde la anchura del cauce es mayor, la velocidad de la corriente disminuye, los sustratos tienen una granulometría menor (arena) y domina el transporte sobre la erosión y la sedimentación.

TABLA 4.2. FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA REGULACION Y EL FUNCIONAMIENTO DEL ECOSISTEMA FLUVIAL

<b>FACTORES HIDRAULICOS Y MORFOLOGICOS</b>
INTENSIDAD DEL CAUDAL VELOCIDAD DE LA CORRIENTE ESTACIONALIDAD PROFUNDIDAD/CALADO PROCESO DOMINANTE (EROSION, TRANSPORTE O SEDIMENTACION) SUSTRATO DEL LECHO MORFOLOGIA DEL CAUCE ESTABILIDAD DE LECHO Y ORILLAS
<b>FACTORES FISICOQUIMICOS</b>
COMPOSICION QUIMICA DEL AGUA (CONTENIDO EN FOSFATOS Y NITRATOS, etc.) pH/DUREZA CONCENTRACION DE OXIGENO DISUELTO (DBO Y DQO) CONCENTRACION DE NUTRIENTES (TROFIA) TEMPERATURA LUMINOSIDAD/TURBIDEZ SOLIDOS EN SUSPENSION ESTRATIFICACION DEL CUERPO DE AGUA
<b>FACTORES BIOTICOS</b>
BALANCE TROFICO PRODUCTIVIDAD COMPETENCIA INTER E INTRAESPECIFICA DIVERSIDAD RELACIONES TROFICAS NUMEROS DE POBLACION COMPOSICION ESPECIFICA

TABLA 4.3. TOLERANCIA TÉRMICA DE LA FAUNA PISCICOLA EN LAS REGIONES TEMPLADAS (WHITTON, 1975)

	LIMITE LETAL SUPERIOR (°C)	OPTIMA PARA EL CRECIMIENTO (°C)	TÍPICA PARA LA FREZA (°C)
Estenotermos de aguas frías (trucha, salmón)	28	7 - 17	< 10
Categoría intermedia (perca, barbo, etc.)	24 - 34	14 - 23	> 10
Euritermos (carpa, tenca, etc.)	> 34	20 - 28	> 15

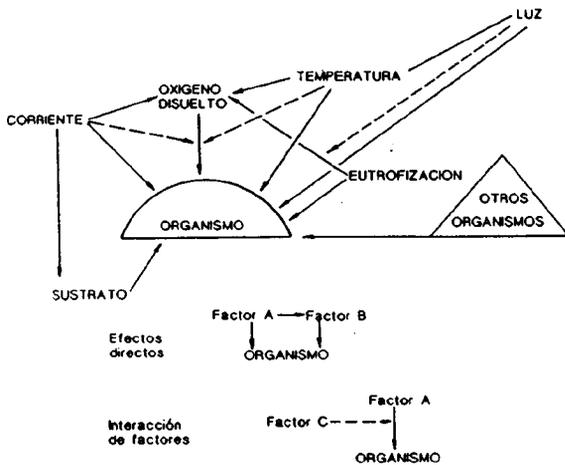


Figura 4.1. Factores que condicionan la distribución de los organismos del bentos (WHITTON, 1975).

- **Potamon** o curso bajo, donde los caudales son muy considerables, la velocidad de la corriente es mucho menor, los cauces suelen tener un trazado sinuoso, el sustrato es de granulometría fina (arcilla y limo) y domina la sedimentación.

Esta clasificación está pensada para cursos de agua de gran recorrido. En ríos más pequeños, afluentes y subafluentes, la parte inferior puede presentar características de la parte media, Rhiton, o superior, Crenon, y viceversa, o presentar durante todo su recorrido las características de una de las zonas, si la fisiografía del terreno que recorre es muy homogénea, o su recorrido muy corto.

### 3. SUELO

En el lecho principal de los ríos se diferencian dos tipos de suelo:

#### Suelos aluviales

Son suelos poco evolucionados que con frecuencia son rejuvenecidos por depósitos de materiales nuevos

durante los períodos de inundación. Están caracterizados por la presencia de una capa freática circulante y, por lo tanto, no reductora, que sufre fuertes oscilaciones, Fig. 4.2.

El perfil tipo de los suelos aluviales —suelo gris aluvial— responde a las siguientes características:

- El **humus** es un mull, con frecuencia hidromull, de espesor muy variable según el desarrollo de la vegetación.
- El **horizonte mineral**, poco alterado, escasamente coloreado debido a la débil cantidad de hierro libre, y sin estructura firme, presenta una granulometría muy variable, ligada a la fuerza de las corrientes de depósito: arenosa, limosa y, más raramente, arcillo-limosa. Esta textura, generalmente heterogénea, presenta a menudo fuertes variaciones en profundidad; es frecuente, por ejemplo, que un suelo aluvial limoso descansa, sin transición, sobre un lecho arenopedregoso, que tiene el doble inconveniente de obstaculizar la penetración de las raíces y de impedir el ascenso capilar.
- El agua de la **capa freática** contiene oxígeno disuelto y, por lo tanto, los procesos de oxidación-reducción son débiles; a veces se manifiestan, de una forma atenuada, por la aparición de un tono beige-oliva y por la presencia de pequeñas manchas de herrumbre; las oscilaciones que sufre la capa freática a lo largo de las estaciones del año son considerables, desde la superficie hasta varios metros en profundidad.

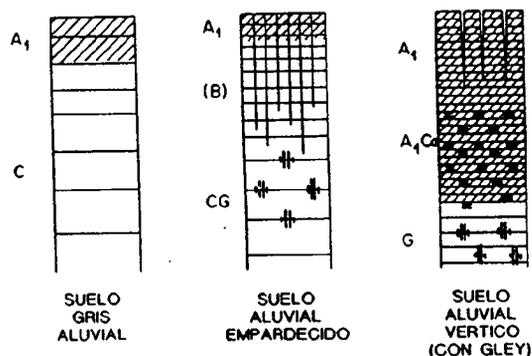


Figura 4.2. Esquema de los perfiles de suelos aluviales (DUCHAUFOR, 1987).

Muchos suelos aluviales muestran un comienzo de evolución hacia otra clase: empardecimiento, hidromorfía —con o sin evolución turberiforme— o incorporación profunda de humus muy activo, Fig. 4.3.

Este tipo de suelo tiene una gran importancia económica y agrícola. Son suelos profundos y muy fértiles generalmente dedicados a la agricultura intensiva.

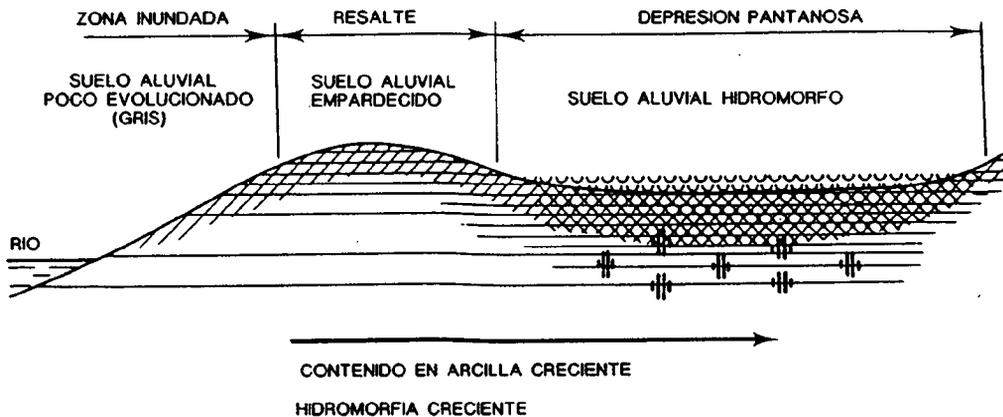


Figura 4.3. Evolución de los suelos aluviales en la margen de un río (DUCHAUFOR, 1987).

### Suelos de gley

Se forman en la zona del lecho mayor de los ríos, donde la oscilación de la capa freática es menor y su circulación más lenta. En estas condiciones la capacidad de aireación del suelo es muy baja y el ambiente edáfico fuertemente reductor.

Su vegetación asociada es de tipo hidrófilo, especialmente adaptada a los suelos encharcados: alisos, cárcices, juncos, etc.

Los horizontes profundos ( $G_r$ ; gley reducido) están ocupados permanentemente por una capa de agua, y se caracterizan por la reducción casi total del hierro libre, esta reacción se produce incluso en medios calizos o poco ácidos. A estos pH elevados, el hierro ferroso se insolubiliza y se acumula en estos horizontes en forma de  $FeCO_3$  o de sales complejas, que les confiere un tinte verdoso.

Cuando el humus es un hidromull, aireado y biológicamente muy activo —en la zona de superficie, fuera del alcance de la capa de agua—, la fuerte producción de  $CO_2$  que emana de este horizonte moviliza parte del hierro ferroso de  $G_r$ , que sufre una emigración ascendente, y reprecipita en el horizonte  $G_o$  (gley oxidado), formando manchas ocre o herrumbrosas, Fig. 4.4.

El perfil tipo de gley corresponde a oscilaciones medias de la capa de agua (—10 cm a —80 cm) que dejan libre la parte superior del horizonte humífero. El perfil presenta tres horizontes característicos:

- El horizonte  $A_1$ , un hidromull de bastante espesor y muy activo, al menos en superficie, adquiere los caracteres de un anmoor en la parte inferior, peor estructurada, más hidromorfía y a menudo salpicada de manchas de herrumbre.
- El horizonte  $G_o$ , con manchas grises y de herrumbre, es la zona de reprecipitación del hierro férrico.
- El horizonte  $G_r$  está coloreado de gris verdoso por las sales de hierro ferroso.

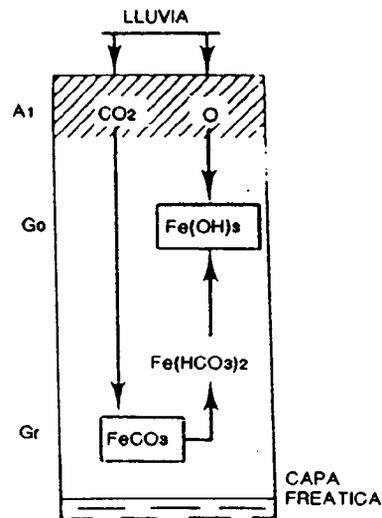


Figura 4.4. Gley: mecanismo de formación del horizonte  $G_o$ . (DUCHAUFOR, 1987).

Los gley nunca están secos. El nivel más bajo que alcanza la capa de agua constituye la profundidad útil límite del suelo.

La práctica del drenaje, que rebaja el nivel de la capa freática, permite aumentar la profundidad útil del suelo, y transforma el ambiente reductor en oxidante, favoreciendo la formación de horizontes humíferos.

Sin embargo, no se debe rebajar exageradamente el nivel más bajo de la capa de agua, con el fin de no perjudicar el ascenso capilar que suministra a las plantas una pequeña cantidad de agua útil. Los gley así mejorados suelen estar dedicados a un cultivo intensivo: pradera, cultivos hortícolas, cultivo de chopos, etc.

## 4. VEGETACION Y FAUNA

### 4.1. Vegetación ribereña

Los bosques ribereños o bosques en galería son formaciones de carácter edafohigrófilo; precisamente la característica más globalizadora que define a las especies vegetales de ribera es la capacidad de acceso y permanencia de su sistema radicular a la zona saturada de agua subterránea.

Otra condición de este tipo de vegetación es su carácter netamente colonizador y su perfecta adaptación a los rigores de un medio sumamente inestable y agresivo.

Esta inestabilidad proviene, por un lado, de las peculiares condiciones de los procesos asociados al sistema fluvial. La intensidad y el tipo de proceso dominante en cada tramo del río varían en el tiempo como consecuencia de fluctuaciones en la dinámica fluvial: la disminución del caudal o de la velocidad de la corriente, o un aumento en la cantidad de sólidos transportados por el río, hacen que el proceso de sedimentación se haga dominante y se formen nuevos depósitos de materiales, que son ocupados rápidamente por la vegetación, o que los depósitos ocupen zonas en las que existe vegetación. Al contrario, un aumento del caudal o de la velocidad de la corriente tiene como consecuencia la intensificación de la erosión del cauce y las orillas, mo-

dificando rápidamente la morfología del terreno ocupado por la vegetación ribereña. Además, el río transporta constantemente materiales, y la vegetación tiene que soportar la abrasión que este tipo de arrastres implica.

Por otro lado, son normales las fluctuaciones periódicas del régimen fluvial, pudiendo llegarse a dos extremos: quedar seco el cauce durante períodos prolongados de tiempo, o, al producirse grandes crecidas, cubrir por completo la vegetación, arrasándola en muchas ocasiones, y dejando sobre ella, cuando las aguas vuelven a su cauce, los materiales y desperdicios que arrastraba el río. Estas fluctuaciones extremas son muy frecuentes en la región mediterránea.

Los bosques mejor desarrollados corresponden a ríos de régimen constante, en los que las oscilaciones anuales e interanuales del caudal son pequeñas, y dentro de un mismo río a los tramos medios y bajos, donde los procesos de erosión pierden importancia frente al transporte y la sedimentación.

Estos bosques bien desarrollados y con una cierta madurez tienen una completa organización estructural. Horizontal, desde el borde del cauce hacia las zonas más alejadas, cuyos factores de control son el grado de encharcamiento del suelo y la anchura del lecho de inundación. Vertical, determinada por factores físico-químicos y de competencia.

Respecto de la estructura horizontal, existe un gradiente de profundidad del nivel freático representado en la Fig. 4.5; en él se diferencian tres zonas:

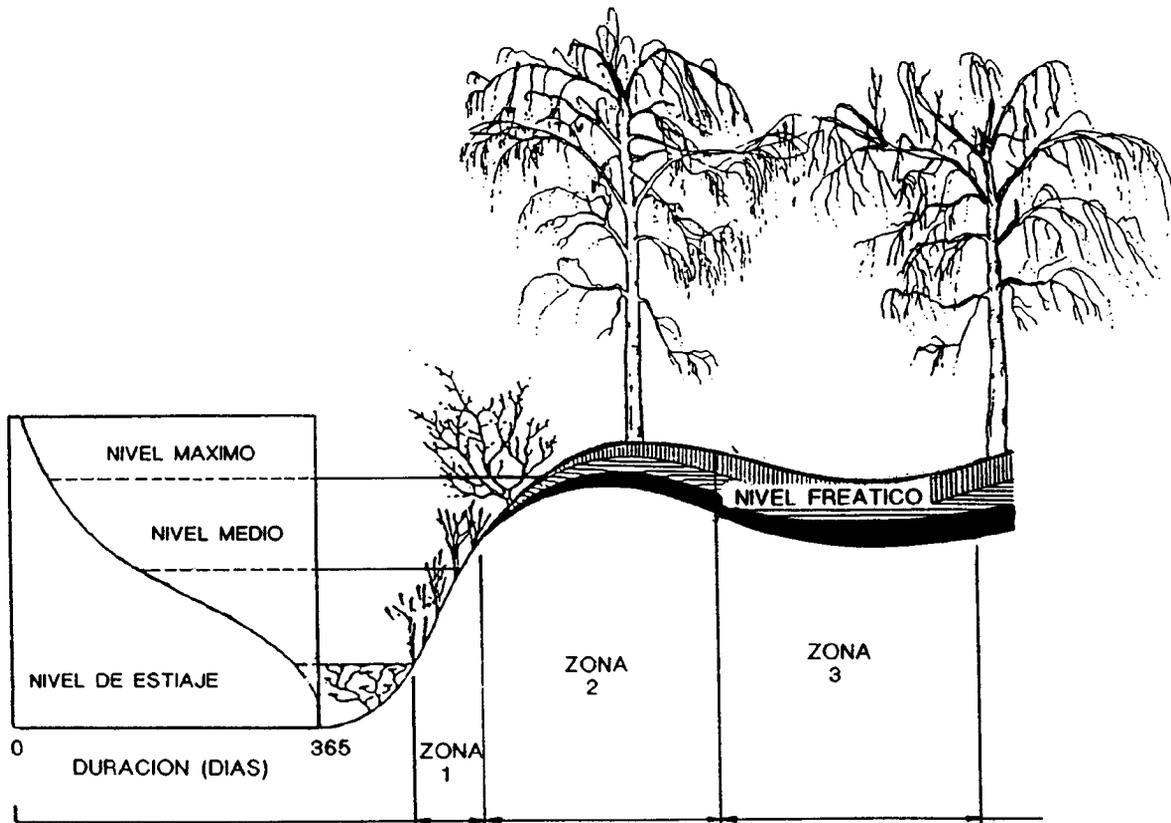


Figura 4.5. Gradiente de profundidad del nivel freático de acuerdo a variaciones estacionales del caudal (modificado de BACHE y MACASKILL, 1981).

- **Zona 1:** Suelo permanentemente encharcado. Es una zona incluida dentro del cauce que sufre remociones periódicas durante las avenidas impetuosas.
- **Zona 2:** Suelo periódicamente inundado por avenidas, que se conserva saturado o húmedo incluso durante el estiaje.
- **Zona 3:** Nivel freático próximo a la superficie, pero situado a mayor profundidad que en la Zona 2. En los períodos de estiaje se produce una desecación parcial de los horizontes superficiales.

Las especies ripícolas se disponen a través de este gradiente de acuerdo a su capacidad para soportar el encharcamiento, sus requerimientos en humedad edáfica y su carácter pionero, dando como resultado una estructura horizontal compleja, caracterizada por la existencia de una serie de bandas de vegetación bien diferenciadas entre sí, que se relevan en el perfil transversal de la ribera. En cada una de estas bandas domina una especie y tiene una fisonomía y una estructura interna particular que las diferencia del resto de las bandas de vegetación, por lo que puede dárseles categoría de formación independiente a cada una de ellas.

Cuanto más ancho sea el lecho de inundación, ma-

yor complejidad tendrá la vegetación de ribera, ya que el gradiente de variación del nivel freático será más amplio y dará lugar a una mayor diversidad de condiciones, además de que el espacio físico disponible para la instalación de la vegetación de ribera será, evidentemente, mayor, Fig. 4.6.

Así pues, puede decirse que un bosque de ribera maduro y bien desarrollado está constituido por un conjunto de formaciones que se relacionan dinámicamente, distribuyéndose en el espacio según sus requerimientos ecológicos, de acuerdo a un gradiente transversal de humedad edáfica.

La estructura vertical está determinada por factores fisiquímicos, como pH del suelo y luminosidad, y por fenómenos de competencia intra e interespecíficos complejos. Esta organización estructural se evidencia por una variación espacial en la composición florística y en la disposición y dominancia de los diferentes estratos que componen el bosque.

Respecto de su flora, los bosques de ribera se caracterizan por estar formados por especies planocaducifolias de distribución relativamente más septentrional que las de su entorno (Atlántica y Centroeuropea), entre las que se cuenta un gran número de especies au-

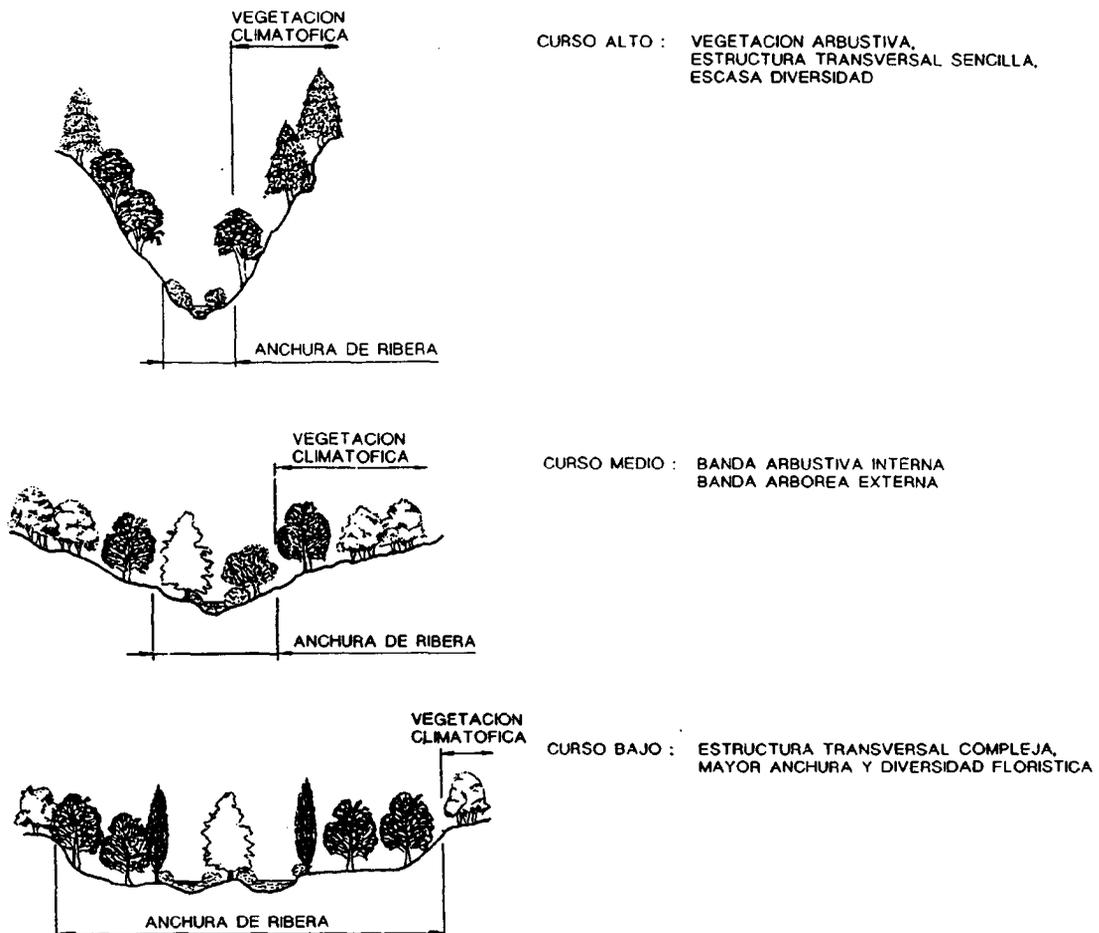


Figura 4.6. Influencia de la anchura del lecho de inundación en el desarrollo y complejidad del bosque ribereño (modificado de SANCHEZ-MATA y DE LA FUENTE, 1985).

sentos o de difícil localización fuera de la ribera. Todo esto es consecuencia, como ya se ha resaltado, de su independencia de la climatología general. A pesar de ello, la composición florística de las riberas no es siempre la misma en cualquier zona, sino que existen diferencias entre las especies riparias del mundo eurosibe-

riano y las del mediterráneo. En muchas ocasiones se trata de especies vicariantes, es decir, con un parentesco muy estrecho que ocupan medios análogos, pero que están separadas geográficamente, Fig. 4.7 y Tabla 4.4.

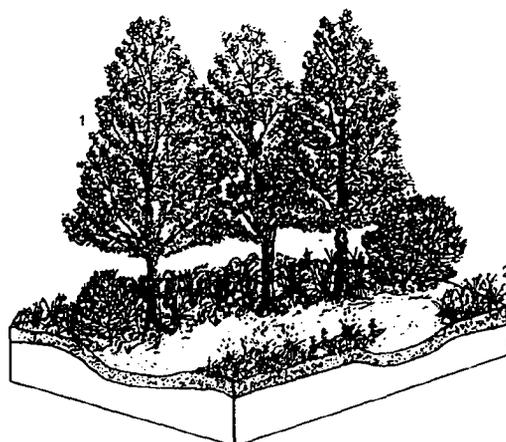
DISPOSICION CATENAL DE DIVERSOS BOSQUES RIBEREÑOS



BOSQUE SOBRE SUELOS ARCILLOSOS RICOS EN BASES:  
1 OLMEDAS; 2 CHOPERAS; 3 SAUCEDAS; 4 VEGETACION POTENCIAL CLIMATOFILA (ENCINAR)



BOSQUE SOBRE SUELOS SILICEOS ARENOSOS EN EL PISO SUPRAMEDITERRANEO DEL SISTEMA CENTRAL:  
1 FRESNEDAS; 2 ALISEDAS; 3 SAUCEDAS Y COMUNIDADES PERMANENTES DE GRANDES CARICES; 4 VEGETACION POTENCIAL CLIMATOFILA (REBOLLARES).



ALISEDA MESOMEDITERRANEA LUSO-EXTREMADURENSE:  
1 BOSQUE; 2 COMUNIDAD PERMANENTE DE GRANDES CARICES.

Figura 4.7. Disposición catenal de diversos bosques ribereños. (SANCHEZ-MATA y DE LA FUENTE, 1985)

TABLA 4.4 FLORA DE LAS FORMACIONES RIBEREÑAS

TIPO DE FORMACION	REGION	POSICION Y SUSTRATO	ESPECIE DOMINANTE	ESPECIES ACOMPAÑANTES
SAUCEDA ARBUSTIVA	EUROSIBERIANA Y MEDITERRANEA	ZONA 1: Cascajeras. Zonas inestables	SALIX PURPUREA	Salix triandra S. eleagnos S. salvifolius, etc.
SAUCEDA ARBOREA	EUROSIBERIANA Y MEDITERRANEA	ZONA 2: Suelos de pseudogley	SALIX ATROCINEREA	Salix purpurea Salix alba Alnus glutinosa
ALISEDA	MEDITERRANEA	ZONA 2: Suelos ácidos arenosos y bien drenados	ALNUS GLUTINOSA	Fraxinus angustifolia Celtis australis Populus nigra Corylus avellana Frangula alnus, S. atrocinerea
ABEDULAR	MEDITERRANEA	ZONA 2: Exigentes en agua	BETULA PARBIBRACTEA	Salix atrocinerea Frangula alnus Myrtus communis
FRESNEDAS	(1) MEDITERRANEA (2) EUROSIBERIANA	ZONA 3: Suelos de pseudogley	(1) FRAXINUS ANGUSTIFOLIA (2) F. EXCELSIOR	Acer monspesulanum Populus alba P. nigra Frangula alnus Sorbus aucuparia Prunus spinosa Crataegus monogyna Rosa sp.
CHOPERAS	MEDITERRANEA	ZONA 2: Suelos limo-arenosos, ricos en bases	POPULUS ALBA	Fraxinus angustifolia Ulmus minor Populus nigra Salix neotrica S. atrocinerea Prunus spinosa
OLMEDAS	MEDITERRANEA	ZONA 3: Suelos no encharcados	ULMUS MINOR	Fraxinus angustifolia Acer monspesulanum
TARAYAL	MEDITERRANEA	ZONA 1: Ramblas arenosas, arcillosas y yesíferas	TAMARIX SP.	Tamarix gallica T. africana T. canadiensis T. boleana
ADEFAR	MEDITERRANEA	ZONA 1: Ramblas pedregosas	NERIUM OLEANDER	Lonicera sp. Arbutus unedo

Por último, hay que reseñar la importancia que la acción humana ha tenido, y está teniendo, en el desarrollo y las características estructurales y florísticas de los bosques de ribera.

La actividad humana incide de forma directa (eliminación de bosques, cambios florísticos por introducción de cultivos forestales, como las choperas, o por degradación de la vegetación original, simplificación de la estructura vertical, por talas o usos intensivos, y/o de la horizontal como producto de la dedicación de la vega fluvial a cultivos o pastos, etc.), e indirecta (modificación de la dinámica fluvial por la regulación de los caudales, encauzamientos, deforestación de la cuenca vertiente, etc.).

En la Fig. 4.8 se representa un esquema genérico de la evolución histórica de un valle fluvial que ilustra, a modo de ejemplo, el resultado que la actividad humana ha tenido en la vegetación de ribera.

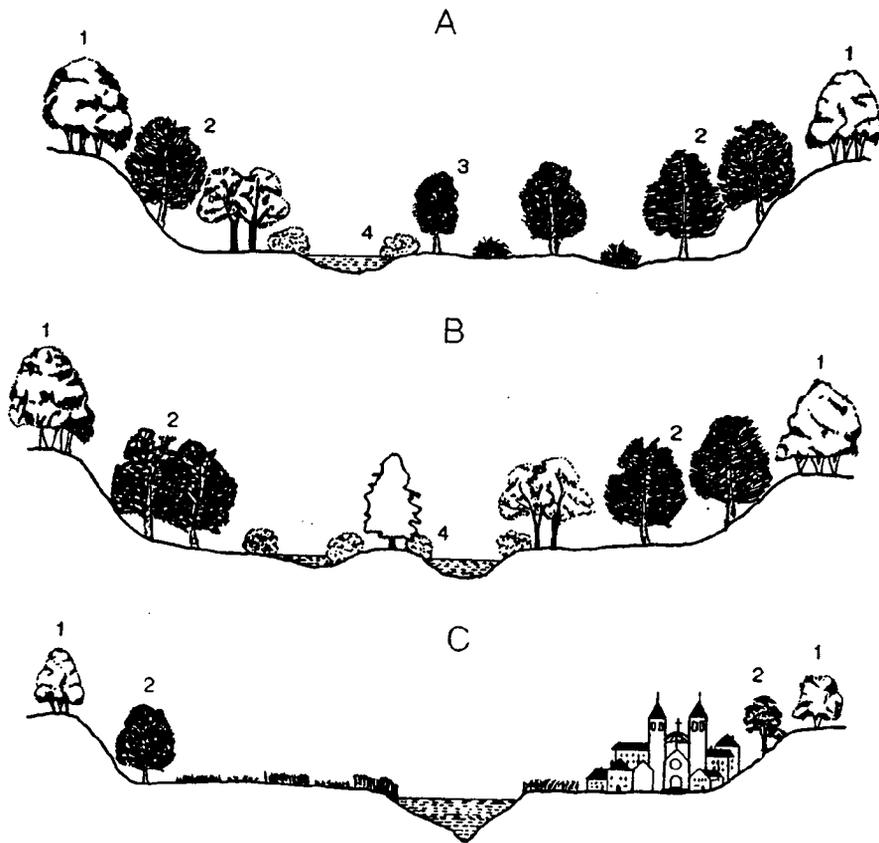
## 4.2. Vegetación y fauna acuática

Dentro del cuerpo de agua de ríos y arroyos existe una serie de zonas o bandas de vegetación, bien diferenciadas entre sí fisionómica y florísticamente.

Cada una de estas bandas de vegetación responde a la existencia de condiciones ambientales específicas, cuyos parámetros de control principales son la profundidad del agua, el sustrato, la velocidad de la corriente y la luminosidad.

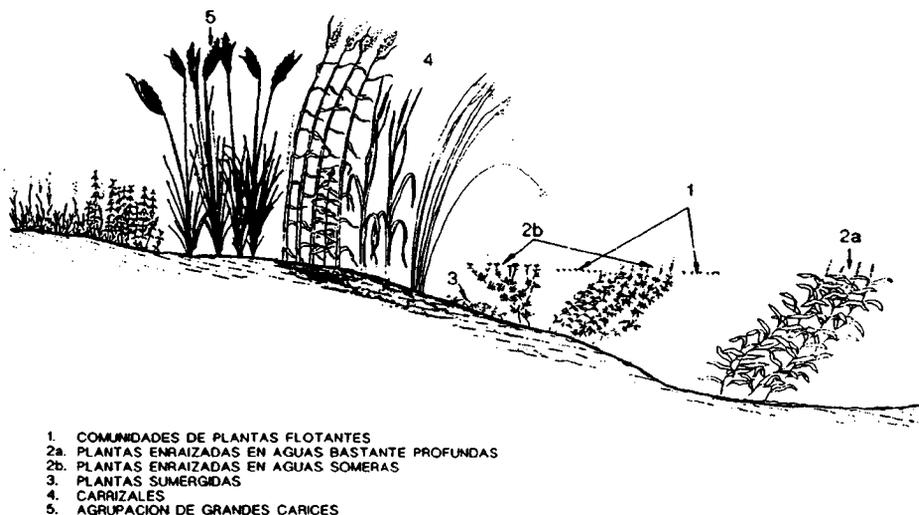
Las agrupaciones de vegetación acuática más característica son las siguientes, Fig. 4.9:

- **Comunidades de plantas errantes.** Forman parte de esta comunidad las plantas flotantes, no enraizadas en el fondo y que flotan libremente en la superficie del agua. Generalmente se localizan en zonas



- A) Situación original de partida.
- B) Deforestación y erosión del cauce progresivos. Introducción de cultivos.
- C) Instalación de núcleos urbanos y extensión de los cultivos en la vega fluvial, erosión profunda del cauce.
- 1. Bosques caducifolios climácicos.
  - 2. Bosques mixtos (caducifolios) mesofíticos.
  - 3. Alisedas.
  - 4. Saucedas.

Figura 4.8 Evolución histórica esquematizada del paisaje en un valle fluvial (curso medio) en la región Eurosiberiana Ibérica (modificado de SANCHEZ-MATA y DE LA FUENTE, 1985).



- 1. COMUNIDADES DE PLANTAS FLOTANTES
- 2a. PLANTAS ENRAIZADAS EN AGUAS BASTANTE PROFUNDAS
- 2b. PLANTAS ENRAIZADAS EN AGUAS SOMERAS
- 3. PLANTAS SUMERGIDAS
- 4. CARRIZALES
- 5. AGRUPACION DE GRANDES CARICES

Figura 4.9. Bandas de vegetación acuática.

de agua tranquila y poco profunda, bastante iluminadas.

- **Comunidades de plantas sumergidas.** La componen agrupaciones de plantas que viven totalmente sumergidas. Prefieren los sustratos cenagosos y las aguas calmas.
- **Herbáceas con órganos emergidos o flotantes.** Son plantas que arraigan en el fondo por medio de rizomas, pero cuyas hojas y órganos florales flotan en la superficie del agua. Según la diversidad de condiciones ecológicas en cuanto a velocidad de la corriente, profundidad y tipo de sustrato, la composición florística de esta banda de vegetación varía.
- **Cañaverales o carrizales.** Son formaciones de gramíneas, ciperáceas y tifáceas de gran talla que enraízan en las orillas del curso de agua, y tienen las raíces y parte de sus tallos sumergidos.

Prefieren los sustratos arcillo-limosos o finamente arenosos, de moderado a muy eutróficos. Dentro de la zona de cañaveral, el carrizo (*Phragmites australis*) suele ocupar la banda más alejada del centro del cauce, donde el agua es menos profunda —0,3-1,5 m—, la espadaña (*Thypha sp.*) tiende a enraizar más hacia el interior y forma una banda intermedia, y los juncos (*Scirpus sp.*) se ubican donde la profundidad del agua crece —2 m o más.

- **Agrupaciones de grandes cárices.** Forman una banda externa al carrizal, donde el encharcamiento

es menor, aunque el nivel freático es prácticamente superficial. Prefieren los sustratos limosos.

- **Agrupaciones de helófitos.** Esta agrupación la componen plantas de talla pequeña o mediana de carácter anfibio, que arraigan en las orillas y cuyos tallos y hojas se extienden por el cauce, suelen acompañar a los carrizos. Prefieren las aguas tranquilas, limpias o algo nitrogenadas.

La composición específica, abundancia y diversidad de la **fauna acuática** depende de factores tan diversos como: temperatura del agua, pH, composición química, materiales del lecho (lodo, fango, grava y roca), profundidad del agua, caudal, velocidad de la corriente, tipo y variedad de las vegetaciones acuáticas y de ribera, Fig. 4.10.

Casi todos los grupos zoológicos tienen representantes en las aguas dulces. Algunas especies desarrollan todo su ciclo biológico en el medio acuático y otros sólo son acuícolas durante una parte de su vida (desarrollo larvario, metamorfosis) o dependen del agua para funciones muy concretas (alimentación, desove, etc.).

Se pueden diferenciar tres zonas faunísticas en función de los hábitats que ofrecen y los tipos biológicos que las ocupan.

**Zona Litoral.** Es la franja más cercana a la orilla, donde la profundidad es escasa.

**Zona Pelágica.** Es la zona de aguas libres. En ella habitan plancton, organismos flotadores —larvas de in-

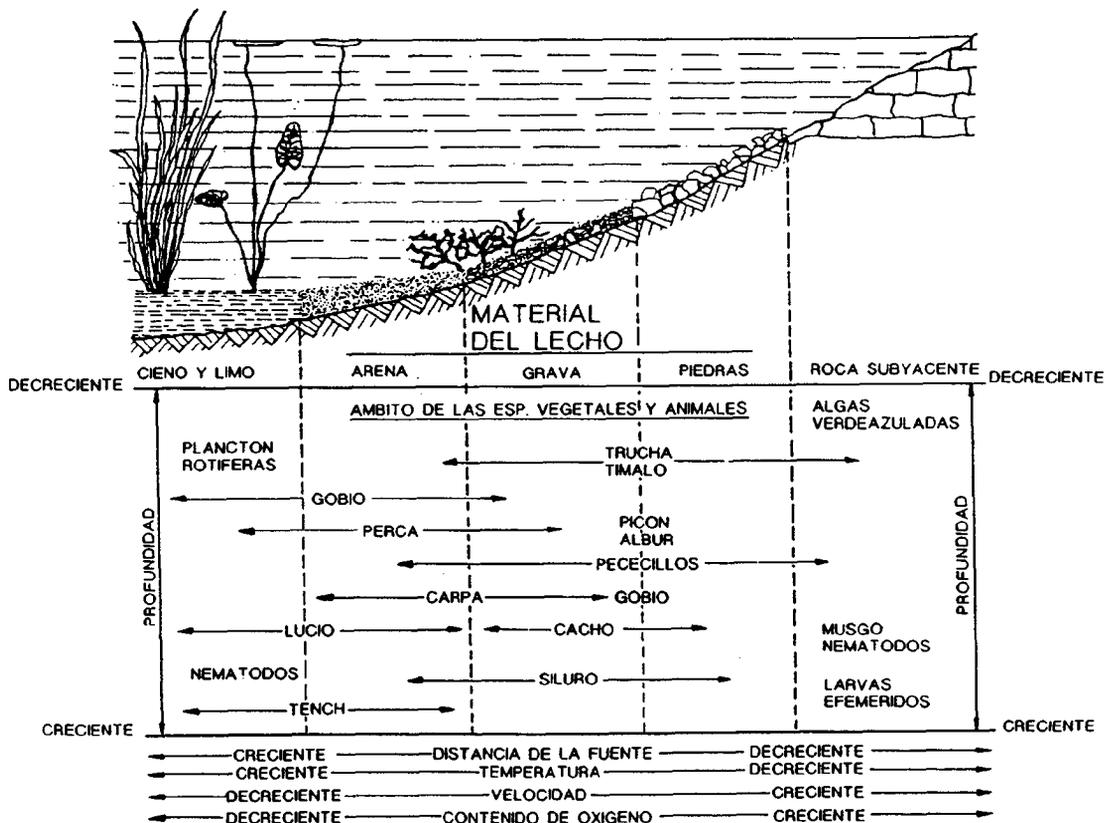


Figura 4.10. Relación entre las características del curso fluvial y la flora y fauna.

sectos, arañas de agua, chinches acuáticas, etc.— y los nadadores libres —peces—. Otras especies superiores —mamíferos y aves— utilizan esta zona exclusivamente para la obtención de alimento.

**Zona Bentónica.** Corresponde al sustrato del fondo. En la superficie viven organismos inferiores fijos —mejillones de agua dulce, larvas de algunos insectos, etc.— y errantes —nemátodos, turbelarios, oligoquetos, etc.

## 5. PAISAJE

Las riberas fluviales se perciben como unidades visuales perfectamente definidas y diferenciadas en el contexto paisajístico general de un territorio.

Aparecen como corredores visuales que atraviesan el territorio y producen, generalmente, un fuerte contraste de color, línea y textura con el entorno, incrementando, además, la diversidad del paisaje general.

En la Tabla 4.5 se relacionan algunas de las variables que definen estos dos atributos y se aportan algunos parámetros que los determinan.

Otra característica definitoria del paisaje ribereño, y que constituye una de sus cualidades estéticas más interesantes, es su dinamismo estacional. Dos de sus componentes fundamentales, vegetación y agua, varían estacionalmente (caudal, cambios morfológicos en la vegetación, —como pérdida de la hoja—, floración, etc.), lo cual se traduce en cambios periódicos muy llamativos de sus elementos visuales básicos (textura y color, fundamentalmente).

Estos tres atributos, contraste, diversidad y dinamismo estacional, caracterizan el paisaje ribereño a nivel global o macropaisaje, es decir, señalan la relación visual existente entre las riberas y su entorno.

A nivel de micropaisaje, las cualidades visuales in-

trínsecas de las riberas residen en tres componentes fundamentales: la fisiografía, la vegetación y el agua.

Genéricamente, todas ellas tienen una importancia relativa similar, aunque en casos particulares puedan ser una o dos de ellas las que impriman carácter al conjunto de la escena.

Los elementos y atributos visuales que mejor caracterizan el paisaje ribereño a esta escala son:

- **Diversidad:** variedad en tipos de vegetación.
- **Complejidad:** en la superficie del agua (superficies lisas/aguas bravas), en la línea del horizonte referida a la unión entre tierra y/o vegetación y cielo, y en la orilla referida a la irregularidad en la unión entre tierra y/o vegetación y agua.
- **Configuración espacial,** que es el grado de cerramiento o el espacio definido por agua, vegetación y tierra según su orientación y sus relaciones en escala.
- **Contraste de color, línea y textura** entre vegetación, agua y tierra.

## 6. USOS E INFLUENCIAS

La conjunción de vegetación y agua, pilares básicos del entorno ribereño, definen el marco ambiental preferido por el público para la contemplación y el desarrollo de toda una serie de actividades recreativas. Además, *“los paisajes con agua y vegetación poseen un importante efecto psicofísico que induce en el observador un desestresamiento y un estado de relajación notable”* (GONZÁLEZ BERNALDEZ, 1985).

Como contrapunto a todos estos valores, actualmente las riberas fluviales son una de las áreas más amenazadas y más deterioradas de toda la biosfera, por su gran vulnerabilidad frente a factores de orden antrópico.

TABLA 4.5. ATRIBUTOS GENERALES DEL PAISAJE RIBEREÑO. (NIVEL MACROPAISAJE)

VARIABLE RECURSO	DEFINICION
Contraste fisiográfico	Importancia visual de la ribera en el conjunto de la escena manifestado a través de su dominancia en escala o como factor determinante de la composición espacial, en referencia a la fisiografía circundante.
Diversidad fisiográfica	Variedad en elementos topográficos en la fisiografía circundante o adyacente a la ribera.
Complejidad del trazado	Grado de irregularidad del límite físico entre la ribera y el entorno, marcado por la vegetación riparia o la topografía.
Importancia del curso de agua	Anchura, longitud, estacionalidad y superficie de agua libre.
Contraste en vegetación y usos del suelo	Grado de contraste generado por diferencias en composición florística, estructura, altura y textura entre la vegetación ribereña y la circundante.
Diversidad en la vegetación y los usos del suelo del entorno	Grado de contraste generado por la existencia de teselas de vegetación diferentes en el territorio circundante.
Diversidad interna de la ribera	Número de diferentes tipos de ribera o micropaisajes existentes dentro de la ribera.
Contraste interno de la ribera	Grado de contraste generado en la ribera por diferencias en la vegetación, altura del agua y textura.
Tamaño de la ribera	Totalidad del área ocupada continuamente por la ribera.

Los principales factores que han provocado y están provocando su degradación son:

- Deforestación para la instalación de cultivos o la creación de zonas de aprovechamiento piscícola.
- Su utilización incontrolada como espacio de ocio.
- La acumulación de basuras y escombros.
- El vertido de contaminantes y aguas residuales.
- La existencia de graveras sin control efectivo.
- Las ocupaciones y apropiaciones ilegales y la proliferación de urbanizaciones.

## 7. DESCRIPCIÓN DEL MEDIO

Para realizar un buen plan de restauración es imprescindible realizar un estudio del medio biofísico y socioeconómico adecuado.

Es importante conocer de forma adecuada las condiciones del lugar donde se ubica la gravera, como fuente de información básica a la hora de preparar el diseño de la restauración.

El análisis del medio debe ser lo más exhaustivo posible, y estar especialmente dirigido hacia la inventariación de aquellas variables cuyo estudio resulte más interesante por las características del proyecto de que se trate y las características particulares del área en que éste se inscribe.

A continuación se propone un inventario específico para graveras. Está estructurado en dos partes. En la primera se hace un estudio general del medio a nivel de cuenca, y en la segunda un estudio detallado de la zona donde se ubica el proyecto.

### 7.1. Estudio general (nivel de cuenca)

La importancia y conveniencia de incluir un estudio del medio a nivel de cuenca radica en la naturaleza integrada de su estructura, que hace que modificaciones provocadas en cualquier punto de ella puedan repercutir en las condiciones del resto.

El proceso de inventariación incluirá las siguientes fases:

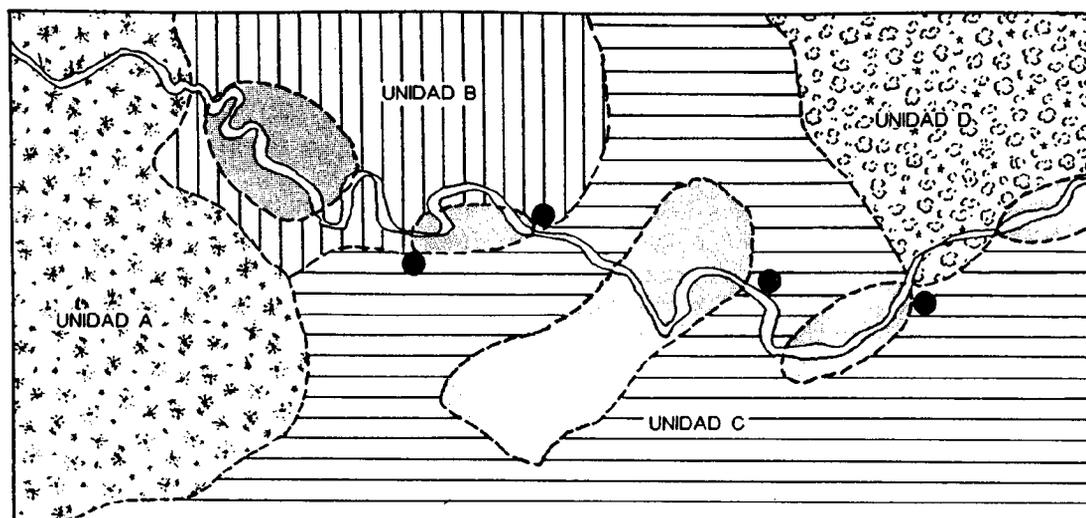
- **Delimitación de la cuenca vertiente.** La escala ideal varía en función de la longitud del río, aunque las más utilizadas son 1:100.000 y 1:50.000 y 1:25.000.
- **Cartografía y descripción de las características físicas y usos del suelo.** Los elementos a inventariar y sus características se especifican en la Tabla 4.6.
- **Análisis del paisaje.** Definición de unidades de paisaje en función de las características visuales del río en relación con la cuenca: incidencia visual del río y sus riberas en la zona circundante, cuenca visual, singularidad, transparencia visual, etc., Figura 4.11.
- **Localización de sectores sensibles,** desde el punto de vista ambiental, paisajístico, socioeconómico y cultural.
- **Localización del proyecto y confrontación con las características del área donde se ubica.** Sectorización previa en zonas de actuación.

### 7.2. Estudio de detalle

Esta segunda parte del inventario se refiere al área afectada directamente por el proyecto, es decir, el área (tramo de río y terrenos anejos) donde esté previsto al-

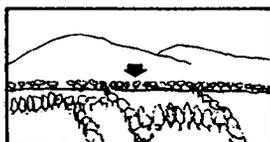
TABLA 4.6. INVENTARIO A NIVEL GENERAL.

ELEMENTOS	CARACTERÍSTICAS
Litología	Tipo de roca.
Clima	Precipitaciones, temperaturas medias, tipo de clima, etc.
Geomorfología	Pendientes, variaciones y formas del relieve.
Hidrología superficial	Caudales medios y punta, longitud del cauce, sinuosidad, pendiente media, delimitación de áreas de inundación, etc.
Hidrología subterránea	Localización, recarga, profundidad, e importancia de acuíferos.
Vegetación	Tipo de vegetación, distribución, estado de conservación.
Usos del suelo	Tipo (agrícolas, industriales, recreativos, urbanizaciones, etc.) y localización (cartografía).
Utilización directa del río	Tipo (recreo, riegos, industrias, etc.) y localización. Demanda actual y previsible.
Localización de puntos singulares a lo largo del río	Ecológicos (especies raras, zonas de anidamiento, desove, etc.), geológicos, culturales.



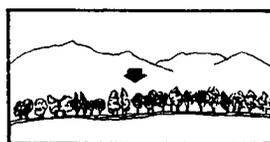
UNIDAD A

- BOSQUE DE CONIFERAS
- VISIBILIDAD MUY PEQUEÑA
- Poca DIVERSIDAD



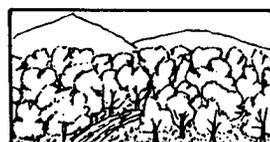
UNIDAD B

- BOSQUE RIPICOLA : LIMITE VISUAL OPACO EN MEDIO CERRADO
- VISIBILIDAD PEQUEÑA
- GRAN DIVERSIDAD



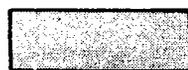
UNIDAD C

- BOSQUE RIPICOLA : LIMITE VISUAL OPACO EN ESPACIO ABIERTO
- DIVERSIDAD MEDIA



UNIDAD D

- BOSQUE PLANIFOLIO
- VISIBILIDAD MEDIA O PEQUEÑA
- Poca DIVERSIDAD



SECTORES SENSIBLES



PUNTOS CONFLICTIVOS

Figura 4.11. Unidades de paisaje (CEMAGREF, 1982).

gún tipo de actuación, y aquella otra que, aun sin ser utilizada directamente, se va a ver afectada en mayor o menor medida.

Las cartografías que se consideren necesarias se realizarán a la misma escala que se haya utilizado para definir el proyecto, aunque en algunos casos puede

ser necesaria la utilización de escalas más detalladas. Los elementos a inventariar son los siguientes:

#### 1) Características del valle

- **Forma del valle:** Grado de constricción.

- **Litología y suelos:** Tipo de roca, tipo de suelo (textura, estructura, profundidad, estratificación, fertilidad, pH, etc.).
- **Vegetación:** Tipos de vegetación, composición florística, distribución, densidad.
- **Fauna:** Especies, abundancia, existencia de zonas de especial interés para la fauna, espacios protegidos.
- **Usos del suelo:** Tipo de uso (agrícola, recreo, vías de comunicación, urbanizaciones, etc.), utilización de aguas superficiales y subterráneas.
- **Existencia de singularidades:** Edificios culturales, yacimientos paleontológicos o arqueológicos, etc.

2) **Características del curso de agua (cauce y riberas).** Los elementos de este apartado se recogen en la Tabla 4.7.

Cuando se trate de un proyecto que prevea actuaciones directas sobre un tramo de río de longitud considerable, es aconsejable la división de éste en tramos de características homogéneas, ya que las condiciones ambientales y socioeconómicas cambian a lo largo del río y la respuesta de unas zonas y otras durante una misma actuación puede resultar totalmente distinta.

Las características y elementos discriminantes utilizados para la definición de los tramos deben ser aquellos que tengan "a priori" mayor probabilidad de resultar afectados por el proyecto, que resulten más significativos para la restauración o que definan mejor el carácter o particularidad del lugar.

Tabla 4.7. INVENTARIO DE DETALLE: CAUCE Y RIBERAS.

CARACTERISTICAS	ELEMENTO	PARAMETROS
MORFOLOGICAS	Dimensiones del cauce	Anchura, profundidad, altura y pendiente de las orillas.
	Naturaleza del lecho	Material, textura, estructura, rugosidad, diversidad.
	Puntos singulares	Zonas y formas de erosión, campos de inundación actuales y potenciales, construcciones, explotación, rápidos, talas, etc.
HIDROLOGICAS	Régimen del río	Caudal medio mensual, caudal máximo (crecidas) y mínimo (estiaje), altura máxima y mínima del agua, velocidades de la corriente en esos casos.
	Relación río/capa freática	
	Pendiente longitudinal	
	Sinuosidad	
FISICOQUIMICAS E HIDROBIOLOGICAS	Calidad del agua	Concentración de oxígeno, D.B.O., pH, salinidad, turbidez, etc.
	Presencia/ausencia de especies indicadoras de calidad	Fauna y flora planctónica y micro-invertebrados.
BIOLOGICAS	Vegetación acuática	Distribución, abundancia, composición florística.
	Vegetación riparia	Altura, distribución, composición florística, anchura de la galería.
	Bentos	Composición específica, abundancia, distribución.
	Fauna acuática vertebrada	Composición específica, abundancia, existencia de refugios o zonas de especial interés.
	Fauna ribereña	Especies, abundancia, existencia de refugios o zonas de interés.

## 8. BIBLIOGRAFIA

- AGUILO, M., et al (1984): "Guía para la elaboración de estudios del medio físico: Contenido y Metodología". Serie: Manuales. CEOTMA. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Madrid.
- ARRIGNON, J. (1979): "Ecología y piscicultura de aguas dulces". Mundi-Prensa. Madrid.
- ASEGINOLAZA, C., et al (1989): "Vegetación de la Comunidad Autónoma del País Vasco". Viceconsejería de Medio Ambiente. Gobierno Vasco.
- BACH, D. H., y MACASKILL, I. A. (1981): "Vegetation in Coastal and Stream-Bank Protection". Landscape Planning 8: 363-385.
- BENGIOA, J. L. (1989): "Estudio de las riberas del río Bayas". ETSI de Montes. Madrid.
- CEMAGREF (1982): "L'Etude d'impact des aména-

- gements de cours d'eau". CEMAGREF Etude n.º 182. Ministère de l'Agriculture. Grenoble.
- DUCHAUFOR, Ph. (1987): "Manual de Edafología". Editorial Masson, S. A. Barcelona.
  - GONZALEZ BERNALDEZ, F. (1986): "Agua y paisaje en Madrid: Posibilidades y restricciones". Jornadas Internacionales sobre el paisaje del agua. Canal de Isabel II. Madrid.
  - IZCO, J. (1984): "Madrid Verde". Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación y Comunidad Autónoma de Madrid. Edita Instituto de Estudios Agrarios, Pesqueros y Alimentarios. Madrid.
  - KVET, J. (1971): "Macrophytes acuáticas et terres hydromorphes". Nature et Ressources 7, 3: 16-19. UNESCO.
  - LOPEZ CADENAS, F., y RABADE, J. M. (1988): "Diseño de estructuras para la corrección y estabilización de cursos torrenciales". TRAGSA. Madrid.
  - MARGALEF, R. (1982): "Ecología". Ediciones Omega, S. A. Barcelona.
  - MIGUEL GARCIA, P. de, et al. (1982): "Riberas marítimas, fluviales y lacustres: Elementos para una ordenación". CEOTMA. MOPU. Valladolid.
  - MONTSERRAT, P. (1982): "Aspectos ecológicos relacionados con la dinámica de sotos y riberas". Anales de Edafología Agrobiológica. Madrid.
  - MOSLEY, M. P. "River Channel Inventory Habitat and Instream Flow Assessment". Progress in Physical Geography 9, 4: 474-524.
  - RAMOS, A., et al. (1987): "Diccionario de la Naturaleza: Hombre, Ecología y Paisaje". Editorial Espasa-Calpe. Madrid.
  - SANCHEZ-MATA, D., y DE LA FUENTE, V. (1985): "Las riberas de agua dulce". Serie: Unidades Temáticas Ambientales. Dirección General de Medioambiental. MOPU. Madrid.
  - SEIBERT, P. (1968): "Influencia de la vegetation naturelle de long des torrents, des riveères et des canaux en rapport avec l'aménagement des rives". Coll. Sauvegarde de la Nature en Europe: Eaux douces 2:37-69. Conseil de l' Europe.
  - TANDY, C. (1979): "Industria y Paisaje". Instituto de Estudios de Administración Local de Madrid.
  - TORRECILLA, I., y MATAIX, C. (1987): "Impactos sobre la morfología fluvial". Cátedra de Planificación. ETSI de Montes. Ed. Antonio Díaz Segovia y Angel Ramos. Madrid.
  - TOWNSENO, C. R. (1980): "The Ecology of Streams and Rivers". Institute of Biology. Studies in Biology, 122. Edward Arnold.
  - YON, D., and TENDRON, G. (1981): "Les forest alluviales en Europe". Coll. Sauvegarde de la Nature, 22. Strabourg.
  - WELCOMME (1979): "Fisheries Ecology of Flood Plain Rivers". Ed. Longman. New York.
  - WHITTON, B. A. (Ed.), 1975: "River Ecology". Blackwell Scientific Publications. Oxford.

# ALTERACIONES AMBIENTALES PRODUCIDAS POR LA EXPLOTACION DE GRAVAS

## PRODUCCION

La incidencia que este tipo de explotaciones tiene en el medio ambiente es similar, en un sentido, a las producidas por otro tipo de minería a cielo abierto (de tipo metálica, etc.), aunque, en muchos casos, puede considerarse una actividad "blanda" en comparación con ellas: el tamaño de los huecos excavados es generalmente inferior en profundidad, los volúmenes de residuos generados son más pequeños, etc. Por lo tanto, como ya se ha indicado en el capítulo anterior, se actúa sobre un medio especialmente frágil. La gran movilidad deriva de la multitud de interrelaciones existentes entre los elementos ambientales implicados. La modificación de uno de ellos, por pequeña que sea su importancia considerada de forma individual, puede suponer una distorsión del conjunto del ecosistema fluvial y ribereño.

## IDENTIFICACION DE IMPACTOS

Las operaciones que tienen lugar para llevar a cabo la explotación de gravas pueden agruparse en tres fases que comprende cada una de ellas una serie de acciones que ocasionan diferentes efectos sobre el medio.

**Fase preparatoria. Infraestructura.** Que incluye todos aquellos trabajos necesarios para dotar de infraestructura a la explotación. Los elementos causantes de impacto son:

- Preparación del terreno y movimiento de tierras para la construcción de accesos y viales.
- Construcción de edificaciones y planta de tratamiento.

**Fase de explotación. Operaciones.** Comprende todas las operaciones necesarias para obtener el producto o los productos finales. Las acciones causantes de impacto son:

- La excavación en sí y el uso de maquinaria, generalmente pesada, para llevarla a cabo.
- Transporte de material.

- Proceso de clasificación y lavado de los áridos.
- Acopio de material.

### C) Fase de abandono. Modificaciones fisiográficas

- Creación de huecos, y lagunas en el caso de que la extracción se lleve a cabo por debajo del nivel freático.
- Vertidos de estériles: lodos y materiales no aprovechables.

Los impactos más frecuentes causados por este tipo de actuaciones se han recogido en una matriz de identificación que relaciona las acciones productoras de impacto o alteración con los elementos afectados por ella. (Fig. 5.1).

Las operaciones que conlleva la extracción de gravas pueden afectar tanto a los ecosistemas fluvial y ribereño como a otros medios adyacentes a éstos. Los efectos sobre el medio en uno u otro caso van a ser distintos, por lo que la descripción de los impactos ocasionados se va a realizar por separado.

### 2.1. Impacto de las operaciones realizadas en las márgenes

Los impactos de las operaciones complementarias a los trabajos de extracción que tienen lugar fuera del cauce, o en aquellos casos en los que la gravera está situada lejos del cauce, no son exclusivos de las graveras sino comunes con cualquier otra actividad que lleve asociadas operaciones tales como acondicionamiento del terreno y construcción de accesos, construcción de edificios, excavaciones, acopios de materiales y empleo y tráfico de maquinaria pesada, por lo que sólo se comenta brevemente el proceso de identificación y cómo pueden resultar afectados los elementos del medio.

El acondicionamiento del terreno y construcción de accesos tiene como efectos directos más evidentes la eliminación o reducción de la cobertura vegetal, la modificación de las características y procesos del suelo y el cambio de la morfología de la zona; la utilización de maquinaria en esta operación, como en cualquier otra, incrementa el nivel de ruidos, disminuye la calidad de la atmósfera (producción de polvo, emisión de partículas,

FASES PRINCIPALES	OPERACIONES O ELEMENTOS IMPACTANTES	ATMOSFERA			AGUA				HIDROLOGIA	SUELO		VEGETACION		FAUNA		PROCESOS						PAISAJE	VALORES SINGULARES	USOS DEL SUELO							
		CONTAMINACION	NIVEL DE RUIDOS	MICROCLIMA	SUPERFICIAL					MARGENES	LECHO	RIPARIA	OTRAS FORMACIONES	SEMACUATICA	BENTOS	VERTEBRADA	RIBERENA	OTRAS COMUNIDADES	ECOLOGICOS	GEOFISICOS											
					TEMPERATURA	TURBIDEZ	OTROS PARAMETROS DE CALIDAD	DRENAJE SUPERFICIAL	DISPONIBILIDAD											HIDRODINAMICA	RED HIDROLOGICA	TERRESTRE	ACUATICA	TERRESTRE	ECOLOGICOS	INESTABILIDAD		EROSION		SEDIMENTACION	
																										LECHO	ORILLAS	MARGENES	CAUCE	MARGENES	CAUCE
FASE PREPARATORIA	PREPARACION DEL TERRENO Y CONSTRUCCION DE ACCESOS	●	●	○						●		●	●				○						○		○	●	○				
	CONSTRUCCION DE EDIFICACIONES	●	●									●	●				○	○						○		○	●	○			
FASE DE EXPLOTACION	EXCAVACION	●	●	○	○	●	○	○			●	○	●	●	○	○	○					○	○	○		○	●	○			
	TRANSPORTE DE MATERIALES	●	●							●		○	○			○	○	○					○	○		○	○	○			
	ACOPIO DE MATERIALES	●								●		○	○			○	○	○					○	○		○	●	○			
	TRATAMIENTO DE MATERIALES	●	●	○	○	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●	○	○		
FASE DE ABANDONO	HUECOS INUNDADOS			○	●	○	○	○	○			○	○	●	●	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●		
	HUECOS SECOS						●			●		●			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		

Figura 5.1. Matriz de identificación de impactos potenciales (EPM, SA).

gases etc.) y aumenta la compactación del suelo. Como consecuencia de estas acciones pueden producirse perturbaciones en la flora y en la fauna, pérdida de hábitats, alteraciones en la red de drenaje superficial, fenómenos de inestabilidad, erosión y sedimentación y quedan modificadas las características visuales y usos del suelo de la zona.

En la Tabla 5.1 se resumen los efectos de estas operaciones sobre diversos elementos del medio. Se incluyen también algunas características de estos impactos, que deben considerarse simplemente como orientativas, ya que en cada caso éstas dependerán de las características del proyecto y del medio en que se localice éste.

TABLA 5.1. EFECTOS PRODUCIDOS POR LAS OPERACIONES EN LAS MARGENES

<p><b>IMPACTO SOBRE EL AGUA SUPERFICIAL</b></p>	<p>Alteración permanente de los drenajes superficiales, severa si existen acopios de gran tamaño y moderada en el de la implantación de viales e infraestructuras.</p> <p>Contaminación de las aguas superficiales (turbidez por partículas sólidas, etc.) derivada de las operaciones necesarias para la creación de escombreras, del tráfico de camiones y maquinaria pesada, y de la implantación de viales e infraestructuras (impactos temporales y moderados).</p>
<p><b>IMPACTOS SOBRE LAS AGUAS SUBTERRANEAS</b></p>	<p>Alteración temporal del régimen de caudales subterráneos motivada por las operaciones de excavación.</p> <p>Contaminación de acuíferos (aceites, hidrocarburos, etc.), temporal y de efectos no preocupantes, derivada del mantenimiento de maquinaria.</p>
<p><b>IMPACTOS SOBRE EL SUELO</b></p>	<p>Ocupación irreversible de suelo fértil por la excavación y escombreras (impactos severos), y por la construcción de viales y edificios (impactos moderados).</p> <p>Inducción de efectos edáficos negativos en los alrededores por las operaciones derivadas de excavación, escombreras y viales (impactos locales moderados y compatibles), debido a la acumulación de residuos, elementos finos, polvo, etc.</p>
<p><b>IMPACTOS SOBRE LA MORFOLOGIA Y EL PAISAJE</b></p>	<p>Perturbación del carácter global del paisaje, generalmente grave en el caso de las escombreras, y de menor entidad por su mayor facilidad de control y temporalidad las derivadas de la construcción de edificios y de la implantación de viales.</p>
<p><b>IMPACTOS SOBRE LA FLORA Y LA FAUNA</b></p>	<p>Eliminación o alteración de hábitats vegetales y de otras formaciones para la fauna, así como desplazamientos o concentración de especies o individuos motivados por la excavación, y por el tráfico de maquinaria (impactos de magnitud moderada). Sin embargo, la creación de escombreras produce un impacto crítico (cambio de hábitats total) sobre estos aspectos.</p> <p>Cambios en las pautas de comportamiento de la fauna por perturbaciones causadas por el tráfico de camiones y maquinaria pesada, y por la creación de viales e infraestructuras. Impactos temporales y de carácter en general compatible.</p> <p>Eliminación o reducción de la cubierta vegetal, así como inducción de dificultades para la regeneración de la vegetación (pérdida de elementos fértiles, aumentos drásticos de la pendiente y erosión, etc.). Estos impactos generalmente son severos en el caso de las escombreras y moderados en el de viales.</p>
<p><b>RIESGOS GEOFISICOS</b></p>	<p>Aumento de inestabilidad motivado por el acopio de materiales, creación de escombreras y por la excavación.</p> <p>Aumento de la carga de sedimentación aguas abajo, producido por la adición de material sólido, derivado de la creación de escombreras y de viales e infraestructuras. Impactos genéricos, y de carácter severo en el caso de las escombreras, si éstas son de grandes dimensiones.</p> <p>Aumento de la erosión, derivada de las operaciones que son precisas para el acopio de materiales y creación de viales, de la propia existencia de escombreras y taludes y del tráfico de camiones y maquinaria pesada. Impacto de magnitud moderada a severa, aunque temporal en el caso del tráfico.</p>

## 2.2. Impacto de las operaciones realizadas en los cauces y la zona ribereña

Las acciones del proyecto que mayor incidencia tienen en esta zona son las debidas al trabajo de la maquinaria durante las operaciones de extracción y acopio, el lavado del material y las modificaciones morfológicas.

Además de los impactos reseñados en el epígrafe anterior, los trabajos efectuados sobre el cauce y las riberas pueden generar los siguientes efectos:

### ATMOSFERA

- **Modificaciones a nivel microclimático**, como consecuencia de la eliminación de la vegetación de ribera y la creación de láminas de agua, Fig. 5.2.

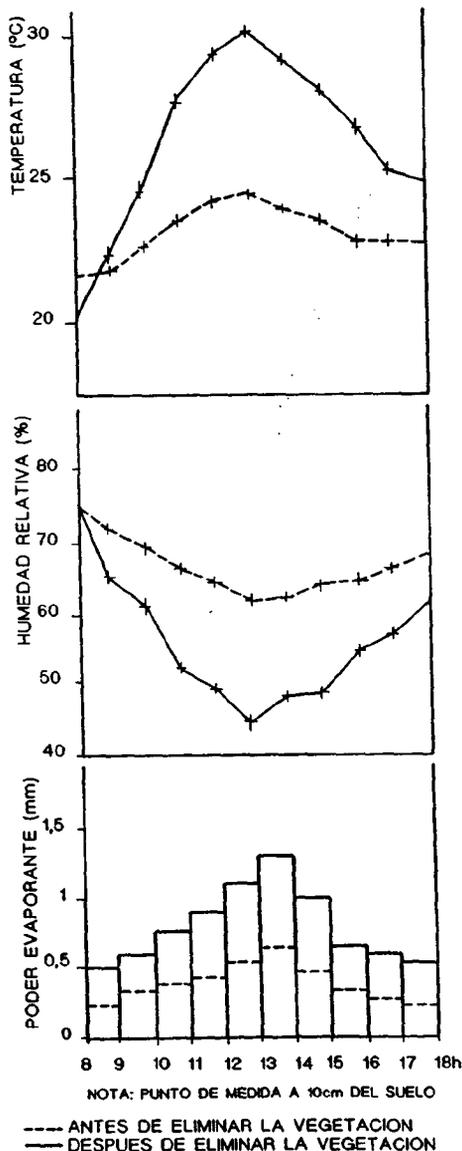


Figura 5.2. Modificaciones microclimáticas por eliminación de la vegetación.

La magnitud del efecto depende directamente de la superficie de vegetación eliminada y de la importancia de ésta.

- **Modificación de la calidad del aire** debido a la emisión de gases y polvo, y al aumento del ruido ambiental.

### AGUA SUBTERRANEA

- **Modificaciones del nivel piezométrico** y la circulación del agua subterránea, si la excavación se efectúa por debajo de la capa freática en graveras húmedas, Fig. 5.3. También puede producirse este efecto si en el tratamiento de los materiales se utiliza agua bombeada de pozos o sondeos próximos.
- **Alteración de la calidad del agua subterránea.** La apertura de una gravera puede afectar indirectamente a la calidad del agua obtenida en captaciones y pozos cercanos si la excavación destruye un "filtro natural" interpuesto entre el pozo y la fuente de contaminación, Fig. 5.4.
- El **vertido incontrolado de residuos** o basuras puede dar lugar a una contaminación tanto del agua del propio lago de la gravera como de las aguas subterráneas en contacto con éstas.

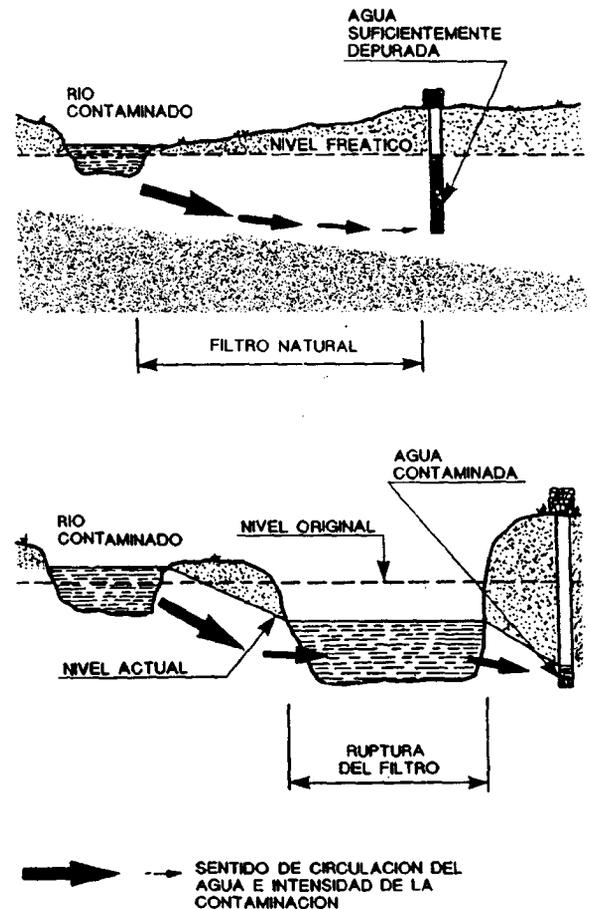


Figura 5.4. Contaminación de las aguas subterráneas.

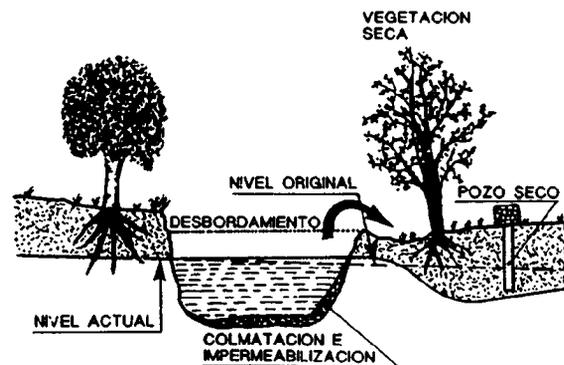
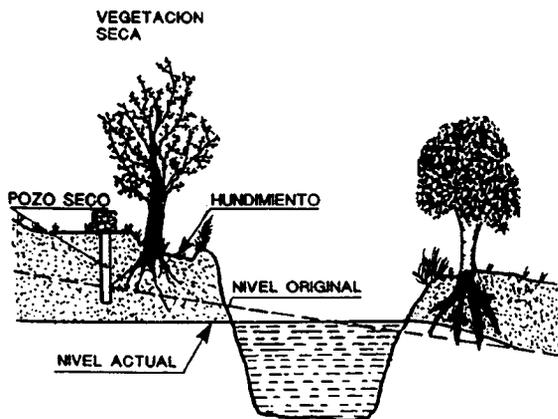
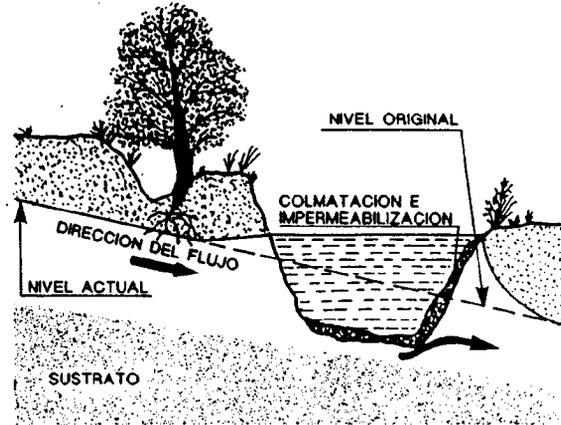
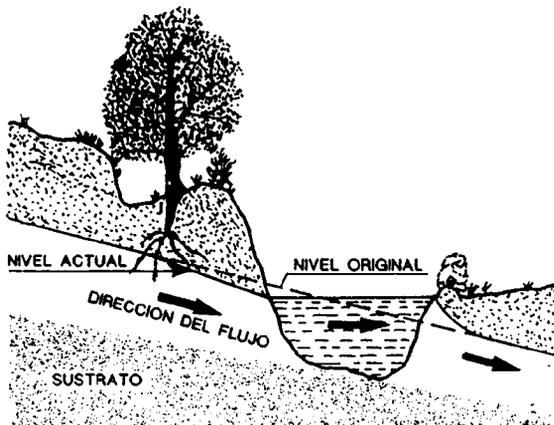
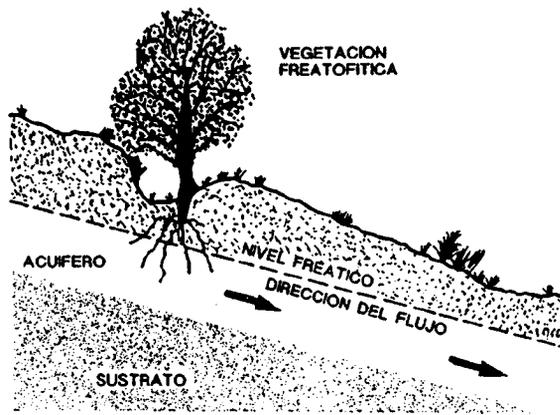


Figura 5.3. Impacto de la excavación sobre las aguas subterráneas.

## AGUA SUPERFICIAL

- **Incremento del nivel de sólidos en suspensión** por vertido directo al río del agua utilizada en el proceso de lavado de los áridos, bombeo al río del agua que fluye al hueco de explotación o por desbordamiento de éste.  
También puede producirse este efecto por remoción de los materiales del fondo cuando la extracción se realiza en el cauce.
- **Aumento de la temperatura.** Cuando una gravera se inunda con agua freática, esta agua, antes aislada de la atmósfera, recibe directamente la radiación solar y su temperatura se incrementa sustancialmente. Al llegar esta agua recalentada de la gravera al río, su temperatura se incrementa, Fig. 5.5. Se estima que cuando el agua del río tiene una temperatura de entre 12° y 16°C, el de la gravera puede alcanzar hasta 25°C.

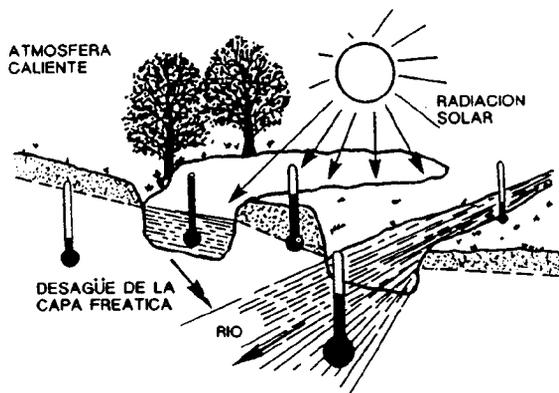


Figura 5.5. Impacto sobre las aguas superficiales debido al incremento de la temperatura.

El calentamiento producido en el agua del río es función de:

- El grado de colmatación.
- La distancia al río.
- La permeabilidad de los terrenos atravesados.
- La profundidad del río comparada con la de la gravera.

## SUELO

- **Pérdida o alteración de un suelo** especialmente fértil y profundo como consecuencia de las operaciones de excavación de construcción de accesos y de acopio de materiales.
- **Hundimiento de las orillas** por socavamiento producido por el agua, cuando éstas son muy pendientes o están desprotegidas, o por paso continuado de maquinaria.

## VEGETACION Y FAUNA

- **Eliminación directa** de la vegetación ribereña y/o acuática, y de una parte de la fauna, ocasionada por las operaciones de excavación y los acopios de materiales.
- **Cambios en la biocenosis:** pérdida de unas especies y colonización del espacio por otras, generalmente, de menor calidad. Este efecto se produce indirectamente por modificación de los factores ecológicos que rigen el sistema fluvioribereño, por ejemplo la temperatura, Fig. 5.6.

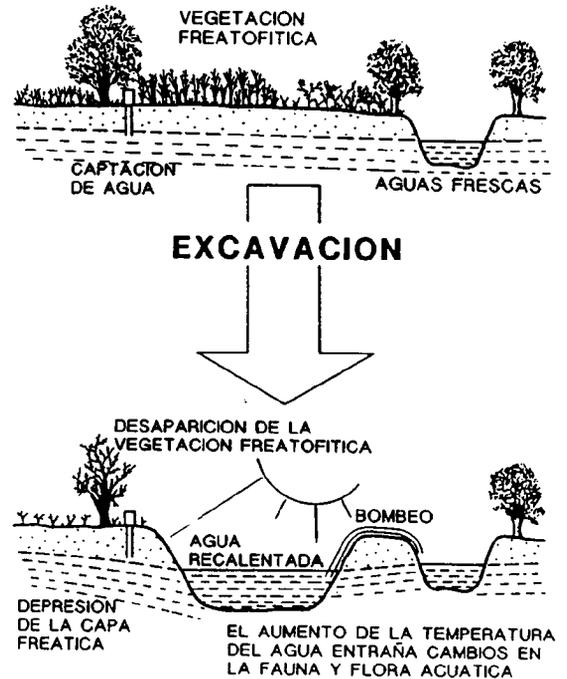


Figura 5.6. Impactos indirectos sobre la vegetación.

- **Desplazamiento de los animales** hacia otros medios similares y menos alterados.
- **Eliminación de hábitats** para la fauna y de otras zonas utilizadas para fines específicos (anidamiento, caza, desove, refugios, etc.), producido por la eliminación de la vegetación ribereña y acuática y las modificaciones morfológicas.

## PROCESOS ECOLOGICOS

- **Disminución de la diversidad y aumento de la productividad.**
- **Modificación o ruptura de las cadenas tróficas** como consecuencia de la desaparición de especies clave en las cadenas alimenticias.
- **Aparición de fenómenos de competencia inter e intraespecíficos** inexistentes antes de la explotación.

- La entrada de nutrientes en una gravera, principalmente nitrógeno y fósforo, puede provocar la **eutrofización** de las aguas embalsadas en los huecos de gravera.

Este enriquecimiento anormal de nutrientes trastorna el equilibrio del ecosistema acuático alterando la flora y la fauna.

La eutrofización de las aguas conduce a una degradación del medio y disminuye significativamente la calidad del agua de la gravera para usos recreativos, agrícolas o industriales, una vez finalizada la explotación.

Los efectos directos e indirectos provocados por la eutrofización se han resumido en la Tabla 5.2 y la Fig. 5.7.

## PAISAJE

- Modificación profunda del paisaje por eliminación o alteración de componentes (fisiografía, vegetación y agua) e inclusión de elementos intrusivos ajenos al carácter paisajístico de la zona: acopios y escombreras, plantas de tratamiento, tráfico de camiones, etc.
- Modificación de las características visuales a nivel micropaisaje, como consecuencia de la variación de la distribución espacial de sus componentes básicos, o la eliminación directa de alguna de ellas.

TABLA 5.2. EFECTOS NEGATIVOS PROVOCADOS POR LA EUTROFIZACIÓN DE LAS AGUAS

EFECTOS FISICOQUIMICOS
Descenso de la transparencia de las aguas como consecuencia del aumento de la densidad del fitoplancton.
Aumento de la tasa de sedimentación provocado por el incremento de la producción de materia orgánica.
Empobrecimiento progresivo en oxígeno del fondo de la laguna, producto de los procesos de oxidación de la materia orgánica acumulada.
Si se llega a condiciones de anoxia, producción de productos tóxicos (metano, sulfhídrico, etc.) que dan mal olor y mal sabor al agua.
EFECTOS BIOLÓGICOS
Aumento de la biomasa vegetal y animal.
Pérdida de diversidad.
Variaciones específicas y simplificación de las comunidades planctónicas.
Desaparición de los macrófitos del fondo y de su fauna asociada.
Modificación de la fauna piscícola. Sustitución de especies "nobles" por otras más resistentes y de menos valor.
Modificaciones en la fauna ornítica.

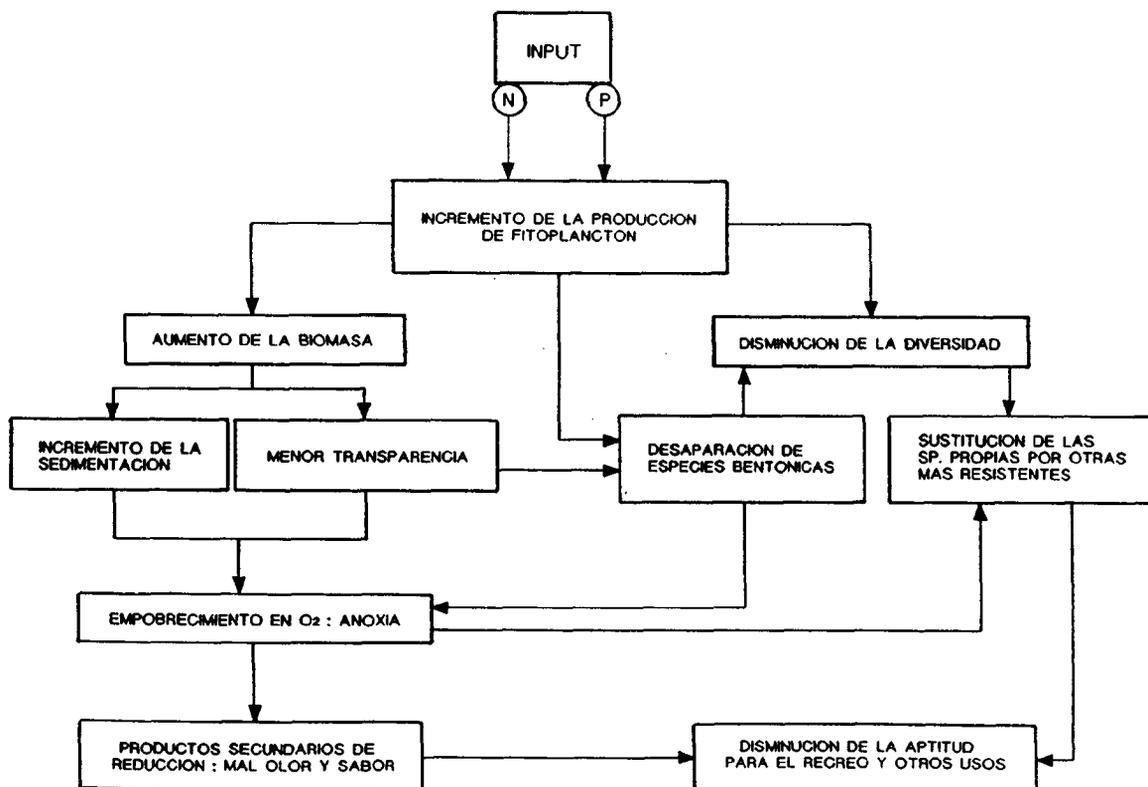


Figura 5.7. Eutrofización.

- Disminución del atractivo paisajístico y la aptitud para el recreo de la zona.

## PROCESOS GEOFISICOS

- **Modificación del comportamiento dinámico del río** por vertido directo al mismo del agua de lavado de los áridos. Estos vertidos suponen un incremento notable de la carga transportable por el río, y puede alterar el equilibrio erosión/sedimentación y repercutir aguas abajo de la gravera.
- **Hundimiento de las orillas** ocasionado directamente por el paso de maquinaria pesada, o indirectamente por la eliminación de la vegetación riparia o la modificación de los procesos dinámicos del río.

## 3. RELACIONES CAUSA-EFECTO

Las acciones del proyecto, además de incidir directamente sobre algunos elementos del medio, afectan a otros indirectamente, al influir sobre factores que condicionan su estado, funcionamiento o la intensidad de los procesos.

Los impactos directos, o indirectos de primer orden, se identifican con relativa facilidad. Sin embargo, los indirectos y con alcance a largo plazo no pueden predecirse con la misma certeza. Existen numerosas técnicas que pueden facilitar esta tarea (comparación de escenarios, consulta a paneles de expertos, utilización de matrices causa-efecto, modelización matemática, etc.). Pero, cualquiera que sea el método utilizado, siempre será preciso estudiar el funcionamiento del sistema, los "condicionantes" de cada elemento y las alteraciones existentes entre ellos.

Los efectos en la hidrología, procesos y comunidades biológicas del conjunto de alteraciones descritas están condicionados, como ya se ha señalado, por el papel que juega cada uno de los elementos implicados en el sistema fluvial, y por las interacciones existentes en el mismo. En la Fig. 5.8 se señalan algunas de las principales relaciones causa-efecto detectadas en este tipo de explotaciones.

### 3.1. Efectos físicos e hidráulicos

La variación de la forma del cauce da lugar a un cambio en la velocidad de la corriente y produce una alteración en el balance energético del sistema, que puede traducirse en la aparición de fenómenos erosivos o de sedimentación.

Para determinar los posibles efectos derivados de estas alteraciones, tanto en intensidad como en amplitud (repercusiones aguas arriba y aguas abajo, etc.), pueden utilizarse modelos hidráulicos de funcionamiento del sistema fluvial que establezcan relaciones entre las características del medio, el sistema de flujo, la morfología del sistema fluvial y los procesos de transferencia de masa y energía que en él actúan.

La eliminación de la vegetación del cauce produce un incremento en la velocidad de la corriente. Este aumento de velocidad incrementa a su vez la capacidad erosiva de la corriente y su capacidad de carga (máxima cantidad o carga de materiales en suspensión o de fondo que pueden ser transportados a través de la sección en la unidad de tiempo). Otros factores que conducen a desequilibrar el balance energético del sistema fluvial son la uniformidad del perfil transversal y la supresión de meandros, pozas y rápidos. El espaciamiento de pozas (producidas por socavamiento) está siempre comprendido entre 5 y 7 veces la anchura del cauce, independientemente de su forma o localización geográfica; se sugiere que esta similitud de espaciamiento es uno de los primeros procesos que tienen lugar en los cursos de agua para mantener el balance energético.

Además de modificar el régimen de la corriente, las graveras pueden llegar a afectar también a la naturaleza de ésta. El aumento de la uniformidad del cauce da lugar a una reducción en la turbulencia total del agua y a un aumento de la homogeneidad de las características de la corriente.

El uso de maquinaria en las orillas y la eliminación de la vegetación riparia aumenta su erosionabilidad, la vegetación no sólo mantiene unidas las partículas del suelo sino también actúa como una fuerza amortiguadora entre la corriente y la orilla. La relación entre erosión y grado de cubierta de las orillas depende de la velocidad de la corriente; en general solo podrá asegurarse la estabilidad de la orilla a largo plazo si la velocidad es menor de 1 m/s. La erosión de las orillas suele ser la mayor fuente de sedimentos en los ríos, de ahí que los factores que conducen a incrementar la erosión de las orillas pueden incrementar también la sedimentación interna, y ésta, a su vez, puede modificar las características del lecho.

La excavación del río puede reemplazar el material del lecho por otro, cambiar su textura y afectar a su estabilidad. La magnitud del efecto dependerá de la forma del lecho y la cantidad que se elimine del mismo. Las complejas relaciones existentes entre la corriente y la morfología del cauce hacen que cualquier cambio en las condiciones de la corriente afecten probablemente también a las características del sustrato. La velocidad límite media que mantiene en equilibrio el lecho depende de la naturaleza de éste y de la turbidez del agua.

Si como resultado de la excavación se modifica el nivel de la capa freática, todo el ecosistema fluvial, y en especial la vegetación ribereña, puede resultar afectado. El agua subterránea y la vegetación riparia juegan un importante papel regulador en el microclima de estos ecosistemas, por lo que su alteración puede dar lugar a variaciones en la temperatura y humedad del aire. La eliminación de la vegetación también produce un incremento de insolación sobre el río, lo que conducirá al aumento de la temperatura media del agua y a mayores oscilaciones térmicas diarias y estacionales. Las variaciones de temperatura pueden ser consecuencia también de los cambios sufridos por la altura del nivel del agua en el cauce; si el río se ensancha, el nivel bajará y la temperatura del agua subirá; en aguas profundas, éstas estarán más frías.

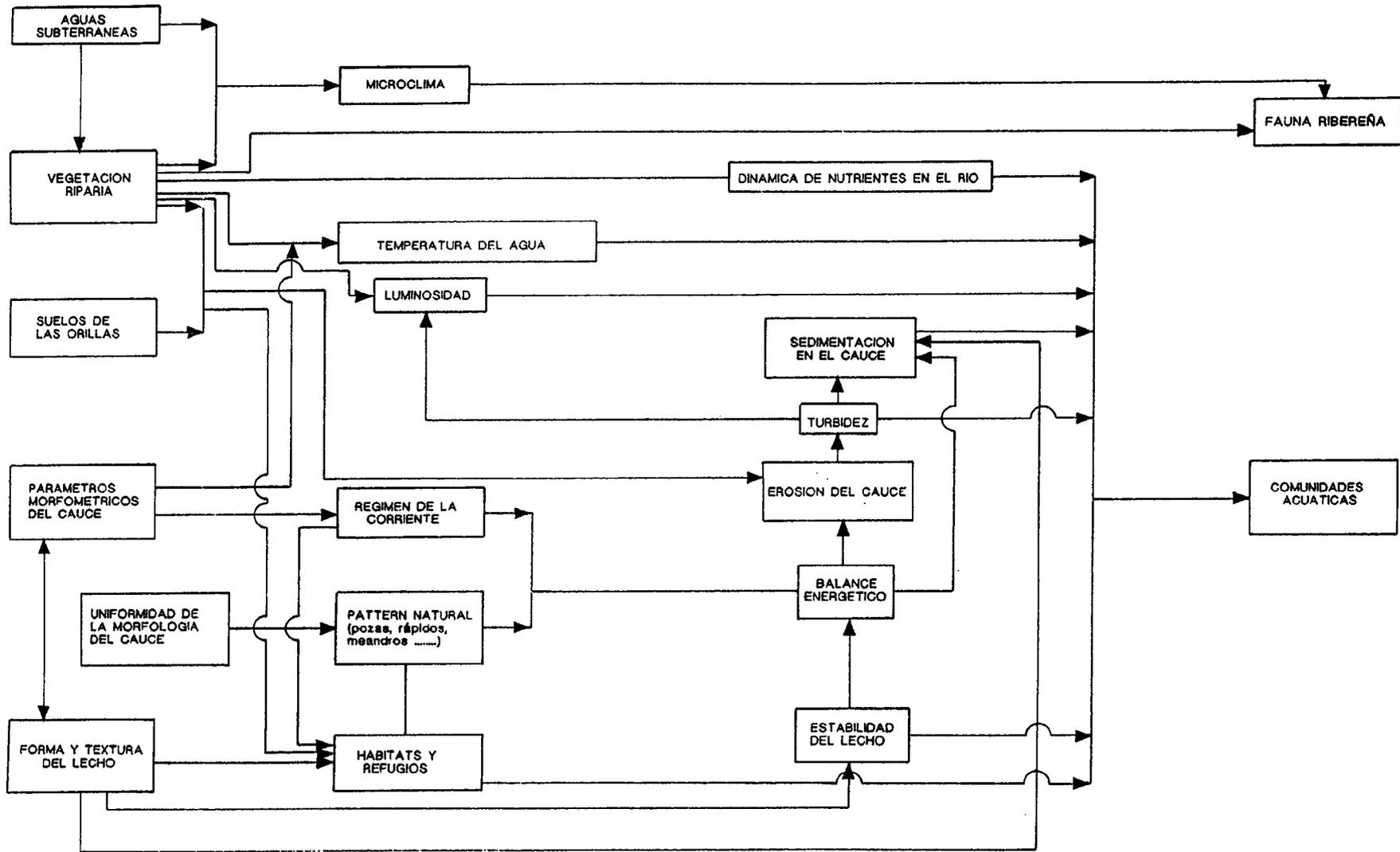


Figura 5.8. Relaciones causa-efecto.

### 3.2. Efectos biológicos

Las características de los hábitats presentes en los ecosistemas fluviales quedan definidas fundamentalmente por la combinación de los siguientes factores ambientales: vegetación (riberaña y acuática), sustrato, (forma y textura), régimen de la corriente y profundidad del agua. La alteración de estos factores con las actividades antes comentadas ocasiona una importante pérdida de hábitats, pérdida que puede traducirse en una reducción de la densidad, biomasa y diversidad de las comunidades acuáticas. Además, la extracción en los cauces normalmente disminuye la heterogeneidad espacial de las condiciones ambientales, y con ello la diversidad de hábitats, lo cual conduce a reducir la capacidad amortiguadora del medio y su estabilidad. Por ejemplo, la supresión del "pattern" de pozas y rápidos puede eliminar el equilibrio existente en la comunidad acuática, ya que estos elementos determinan una segregación entre individuos jóvenes o de pequeño tamaño, e individuos adultos o grandes.

La eliminación de refugios (zonas profundas, orillas socavadas, vegetación acuática y semiacuática, etc.) es calificada a menudo como la principal causa del descenso de las poblaciones piscícolas tras la actividad, debido a que son elementos que condicionan en gran medida aspectos tan importantes como el equilibrio entre predadores y presas, la freza, etc.

La pérdida de vegetación riparia afecta directamente a la fauna ribereña e, indirectamente, al influir sobre la dinámica de nutrientes y la temperatura del agua, a las comunidades semiacuáticas y acuáticas. La productividad del ecosistema río normalmente depende del input de materia orgánica procedente del medio ripario; si se da esta circunstancia, la eliminación de la vegetación riparia alterará el balance energético del río, que puede cambiar de la heterotrofia a la atrofía. Por otra parte, si la disminución de la profundidad del agua o del grado

de cubierta de la vegetación de las orillas incrementa la temperatura del agua, se producirán alteraciones en la actividad y movimientos migratorios de los peces, así como en la composición y abundancia de los invertebrados del bentos. Cuando este incremento sobrepase la tolerancia térmica de las especies, éstas se desplazarán buscando zonas más frías, siendo sustituidas por otras de aguas más templadas, normalmente de menor calidad.

El aumento de insolación sobre el río, especialmente en los tramos bajos del curso, también puede dar lugar a un crecimiento desmesurado de la vegetación acuática. Su presencia es deseable, ya que protege al lecho contra la erosión, proporciona alimento, refugio y sustrato para la freza a diversas especies, etc. Sin embargo, si es demasiado abundante se considera perjudicial porque dificulta el paso de la corriente y eleva el nivel del agua en el cauce.

La forma del lecho es uno de los factores más importantes en el control de la distribución y abundancia de los invertebrados del bentos y, en menor grado, de la de los peces. La abundancia más alta corresponde a los lechos más polimórficos y la más baja a los más uniformes, por lo que la regularización de la forma del cauce tiene un impacto negativo para la fauna acuática. Si las actuaciones en el cauce, además de modificar la forma del lecho, disminuyen su estabilidad, los efectos sobre la fauna vertebrada serán más severos y de mayor duración.

El aumento de turbidez ocasionado por la excavación del cauce y el incremento de la erosión de las orillas resulta perjudicial para la fauna piscícola por dificultar su alimentación, movimiento, respiración, etc. Normalmente cuando la concentración de sólidos en suspensión alcanza altos niveles los peces se desplazan a áreas más favorables. Se considera que valores del orden de 80 mg/l son incompatibles con la presencia de una buena población piscícola, Tabla 5.3. Ade-

TABLA 5.3.  
CLASIFICACION DE LAS AGUAS SEGUN EL CONTENIDO DE SOLIDOS EN SUSPENSION

SOLIDOS EN SUSPENSION (mg/l)	CLASE	LOCALIZACION
$S < 10$	1	Zonas superiores de las redes fluviales: fuentes, arroyos y algunos ríos de truchas y ciprínidos. Situación muy buena.
$10 < S < 25$	2	Zonas superiores y medias de los cursos de agua de montaña y premontaña: numerosos ríos con truchas y ciprínidos. Situación normal.
$25 < S < 50$	3	Zonas medias e inferiores de ciertos ríos de premontaña y llanura. Buena situación.
$50 < S < 75$	4	Zonas inferiores de algunos grandes ríos: ríos sobre terrenos arcillosos. Buena situación.
$75 < S < 150$	5	Ciertos ríos de montaña en período de estiaje. Ríos contaminados. Situación media.
$150 < S < 300$	6	Ciertos torrentes de montaña y ríos contaminados. Situación mediocre.
$300 < S < 500$ $S > 500$	7	Raro en estado natural. Cursos de aguas particulares y zonas muy contaminadas. Situación anormal. Productividad piscícola muy pequeña.

Fuente: NISBERT y VERNEAUX (1.970).

más, las partículas en suspensión absorben parte de la radiación luminosa por disminución de la transparencia del agua, por lo que la vegetación acuática también resulta afectada si su concentración supera ciertos valores.

La sedimentación sobre el lecho incrementa la mortalidad de los huevos de los salmónidos (en los no-salmónidos el fenómeno está menos estudiado) y puede impedir la emergencia de los alevines; en algunos casos éste es el efecto más perjudicial del vertido directo de las aguas de lavado de las gravas y arenas.

La recuperación biológica del río, tras los trabajos en los cauces, depende en parte del restablecimiento de algunas de sus características morfológicas naturales (rápidos, pozas, etc.). Las estimaciones hechas sobre el período necesario para recuperar la población piscícola se sitúan en general entre 5 y 40 años. La velocidad de recuperación de los invertebrados acuáticos es normalmente mucho más alta, alrededor de un año, aunque está condicionada a la presencia de un sustrato estable.

### 3.3. Efectos paisajísticos

Los principales efectos de este tipo de proyectos sobre el paisaje son los derivados de la eliminación de la vegetación riparia y la pérdida de naturalidad y diversidad, producida como consecuencia del cambio de uso.

## 4. MEDIDAS CORRECTORAS

Existen una serie de medidas correctoras básicas, cuya aplicación permite aminorar los efectos negativos potenciales de las graveras en el medio.

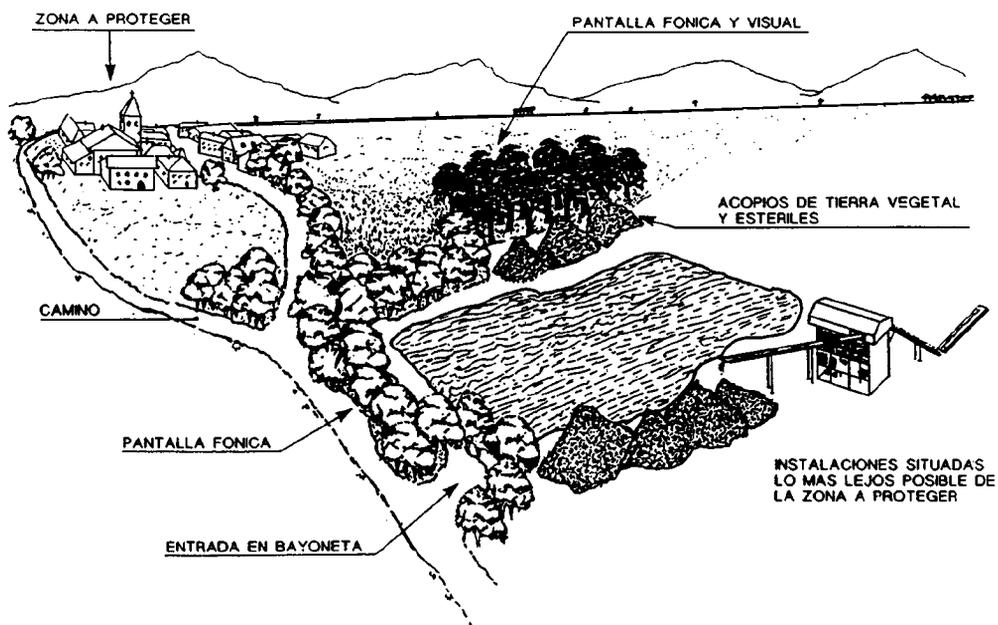


Figura 5.9. Medidas correctoras contra el ruido.

La corrección de los impactos puede consistir en:

- Reducción del impacto, limitando la intensidad o agresividad de la acción que lo provoca. Son medidas que previenen el impacto, bien por la utilización de tecnologías adecuadas (maquinaria específica, filtros, balsas de decantación, etc.), bien a nivel de planificación y diseño de la explotación (selección de alternativas de ubicación, programas adecuados de extracción y acopio de tierras, etc.).
- Cambiar la condición del impacto, mediante actuaciones favorecedoras de los procesos de regeneración natural que disminuyen la duración de los efectos. Forman este grupo las medidas de restauración propiamente dichas.
- Compensar el impacto, cuando éste sea irrecuperable. Atañen fundamentalmente a los usos del suelo, y consisten en dotar al área de un uso alternativo, diferente del que tenía en la situación preoperacional. Suele ser el caso de las graveras húmedas, en las cuales es imposible dedicar las láminas de agua a un uso similar al que tenía el terreno.

A continuación se exponen algunas medidas y recomendaciones encaminadas a la protección de los distintos elementos del medio que pueden ser potencialmente alterados. La mayoría de ellas están encaminadas a la prevención del impacto, y son criterios de diseño y/o técnicas específicas.

## PROTECCION DE LA ATMOSFERA: RUIDO

- Amortiguación mediante silenciadores instalados en los equipos móviles.
- Situar las plantas de tratamiento en las zonas más alejadas posible de las poblaciones cercanas, Fig. 5.9.

- Aislamiento mediante la construcción de pantallas sónicas entre la fuente emisora y los receptores, Fig. 5.9.
- Instalar recubrimientos de goma en molinos, cribas, cajas de volquetes, etc., para reducir el ruido que se produce por el impacto del material sobre las superficies metálicas.
- Limitar el trabajo de las unidades más ruidosas a horas diurnas.
- Sustituir el transporte rodado en el interior de la gravera por cintas transportadoras, siempre que sea posible.
- Mantenimiento de la maquinaria.
- Estudiar rutas alternativas de transporte para evitar el paso por las poblaciones vecinas a la explotación.

- Riego periódico de las pistas de transporte con agua o disoluciones salinas de cloruro sódico o cálcico.
- Riego de los materiales acopiados al cargarlos en los volquetes.
- Riego de todas las superficies expuestas al viento y humectación.
- Recubrimiento mediante materiales que induzcan la formación de agregados.
- Reducción de las áreas de excavación expuestas al viento. Revegetación simultánea y progresiva.
- Reducción del tiempo transcurrido entre el final de la explotación y el comienzo de la revegetación.
- Empleo de pantallas vegetales o artificiales contra el viento.
- Planificación de la localización de la planta y del lugar donde se realicen los acopios teniendo en cuenta la velocidad y la dirección de los vientos dominantes.

### PROTECCION DE LA ATMOSFERA: CALIDAD

- Medidas de control de la contaminación atmosférica: filtros, mangas, captadores de polvo, etc.
- Empleo de aspersores de agua y tensoactivos en puntos de transferencia.
- Carenado de las instalaciones.
- Sustitución de volquetes por cintas transportadoras.
- Pavimentación de los accesos principales a la gravera.
- Construcción y estabilización de las pistas con materiales adecuados.
- Reducción de la velocidad de circulación de los vehículos.

### PROTECCION DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS: NIVEL FREATICO

- Establecimiento de una distancia de seguridad suficiente entre la gravera y las zonas que puedan verse afectadas por la depresión del nivel freático (pozos, captaciones, zonas de vegetación freatófica, etc.), a fin de que queden fuera del área de alteración.
- **Reciclado** de las aguas de lavado de los áridos mediante un circuito cerrado y realimentación del acuífero. Este sistema permite reducir el efecto de depresión del freático en un 90%, Fig. 5.10.

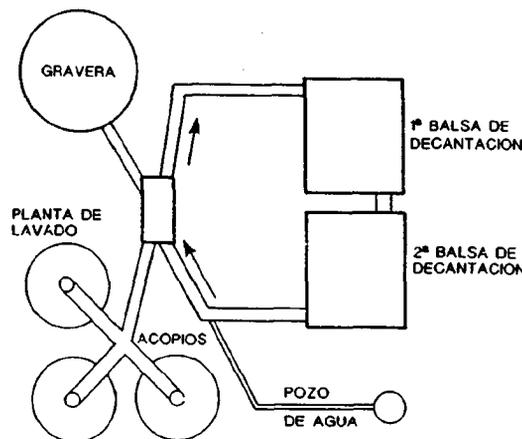
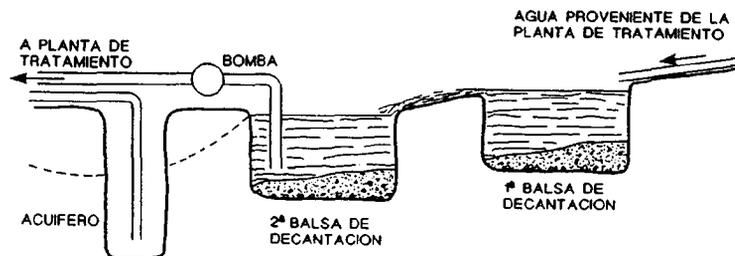


Figura 5.10. Protección de las aguas subterráneas: reciclado del agua de lavado de los áridos.

- Fraccionamiento del hueco de la gravera mediante diques intercalares dispuestos perpendicularmente a la dirección de flujo del agua, para controlar la altura del agua que rellena el hueco y evitar el riesgo de desbordamiento. Esta medida está especialmente aconsejada en graveras de gran tamaño, Fig. 5.11.

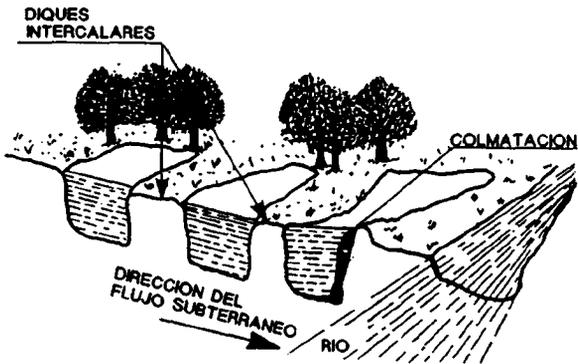


Fig. 5.11. Diques intercalares para el control de la altura del agua en los huecos.

### PROTECCION DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS: CONTAMINACION

- Alejamiento suficiente del río, si éste representa un foco de contaminación. Evitar la explotación de una franja de terreno entre la gravera y el río para que actúe como filtro natural, reteniendo las sustancias contaminantes.
- Recogida y almacenaje adecuado de los lubricantes de desecho del mantenimiento de la maquinaria para evitar contaminaciones.
- Utilizar, siempre que sea posible, maquinaria eléctrica.
- Cercar la explotación para evitar que se convierta en un vertedero incontrolado.

### PROTECCION DE LAS AGUAS SUPERFICIALES: CONTROL DE LA TURBIDEZ

- Evitar siempre los vertidos directos al río.
- Alimentación de la planta de lavado mediante un **circuito cerrado de agua**.
- Establecimiento de un sistema combinado de balsas de decantación y macizos filtrantes para la depuración de las aguas bombeadas desde la gravera, antes de su vertido al río, Fig. 5.12.
- Establecimiento de un sistema de pozos perimetrales a la explotación para realizar a través de ellos el desagüe de ésta. No bombear directamente desde el interior del hueco donde la maquinaria remueve el material del fondo y el agua lleva una gran carga de sedimentos.

### PROTECCION DE LAS AGUAS SUPERFICIALES: RECALENTAMIENTO

- Establecimiento de una distancia entre el río y la gravera lo suficientemente amplia para asegurar que el flujo de agua que proviene del hueco se enfría lo suficiente antes de llegar al río.
- Colocación de la **bomba de captación** en el fondo del hueco, donde la temperatura del agua es menor que la del río, por no haber estado expuestas al calor del sol tiempo suficiente, Fig. 5.13.

### PROTECCION DEL SUELO

- Retirada, acopio y mantenimiento de los horizontes superficiales del suelo para facilitar posteriormente la restauración de las superficies mediante revegetación.
- Planificación adecuada de los movimientos de la

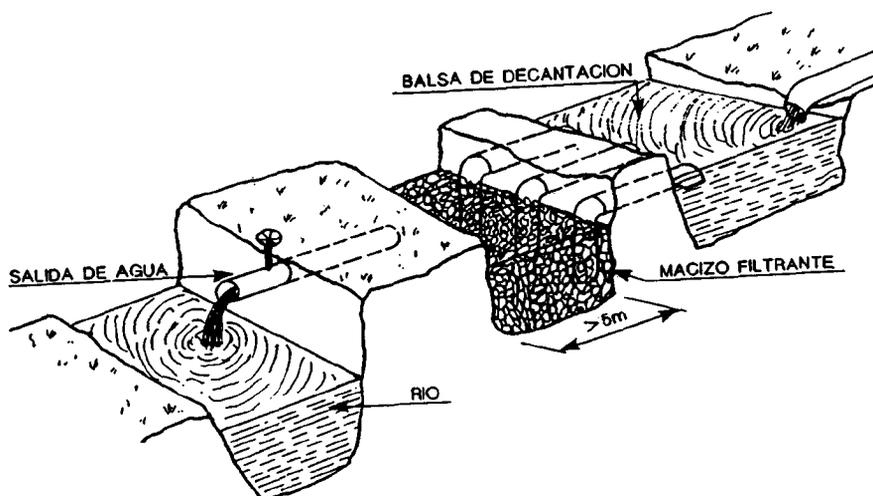


Figura 5.12. Protección del agua superficial. Sistema de decantación y filtrado.

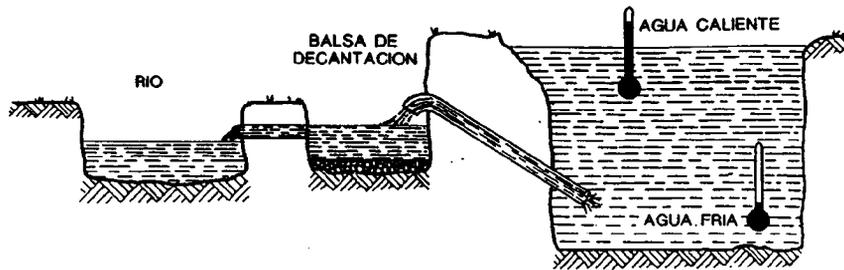


Figura 5.13. Protección del agua superficial. Efecto térmico.

- maquinaria, el trazado de caminos y la ubicación de los acopios y la planta de tratamiento, para minimizar la pérdida de suelo y el cambio de uso.
- Revegetación rápida de taludes, terraplenes y superficies desnudas, para evitar el desencadenamiento de procesos erosivos y la pérdida de suelo.
- Organizar, en lo posible, los movimientos de maquinaria según curvas de nivel, para evitar la formación de regueros en los que se encaucen las aguas de escorrentía.
- Protección y reforzamiento de las orillas en los alrededores de la explotación y agua abajo de éste, en zonas de alto riesgo de hundimiento.

### PROTECCION DE LA VEGETACION Y LA FAUNA

- Reposición de pérdidas y cuidado en la realización de la obra. Protección de individuos o áreas sobresalientes o singulares.
- Creación de hábitats similares a los destruidos.
- Protección y mejora de frezaderos.
- Protección cuidadosa de la vegetación situada en la periferia de la explotación, Fig. 5.13.
- Mantenimiento de un corredor vegetal entre la grava y el río para evitar el recalentamiento de los medios acuáticos naturales, Fig. 5.14.

- Evitar el contacto directo e indirecto de la vegetación con sustancias químicas nocivas o con un pH excesivo.

### PROTECCION DEL PAISAJE

- Consideración de criterios ecológicos y paisajísticos en el trazado de las pistas de acceso.
- Eliminación y revegetación de pistas usadas al finalizar la obra.
- Revegetación de taludes si no se eliminan las pistas después de usadas.
- Ubicación de los acopios y la planta de tratamiento en las zonas de mínimo impacto visual.
- Localización de la grava lo más alejada posible de núcleos urbanos y corredores de transporte.
- Orientación de los frentes de trabajo en posición perpendicular o paralela al eje de visión de un posible observador, según esté en posición dominante o no, respectivamente.
- Enmascarar las partes visibles de la explotación mediante la creación de pantallas visuales, que impidan las vistas desde el exterior, Fig. 5.15.
- Evitar los colores chillones o llamativos en los edificios y maquinarias, y utilizar tonalidades acordes con su entorno cromático que ayudan a su camuflaje.

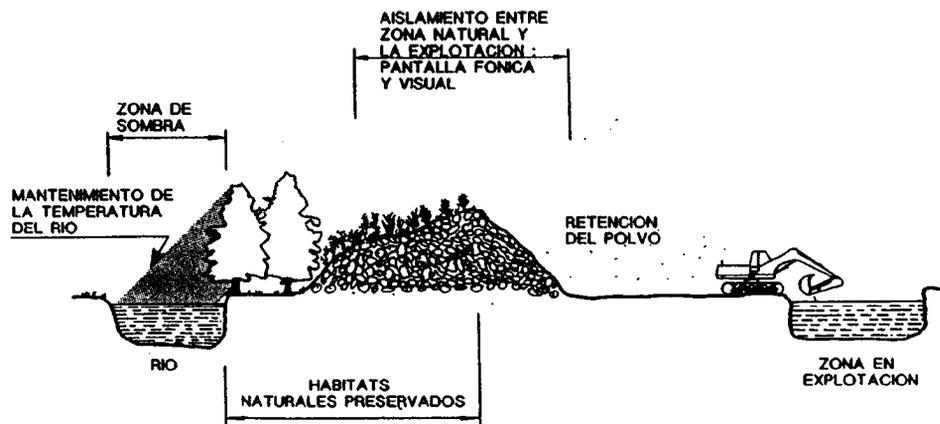


Figura 5.14. Medidas para la protección de la vegetación y la fauna.



Figura 5.15. Pantalla visual de ocultación.

- Respetar la tipología de la zona en la construcción de edificios.
- Desmantelamiento de todas las infraestructuras una vez haya finalizado la explotación.
- Diseñar las formas mineras finales de forma que no rompan el pattern visual de la zona y permitan la implantación de un uso alternativo.

## 5. BIBLIOGRAFIA

- AGUILO, M., et al. (1984): "Guía para la elaboración de estudios del medio físico. Contenido y Metodología". Serie: Manuales. CEOTMA. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Madrid.
- CEMAGREF (1982): "L'Etude d'impact des aménagements de cours d'eau". CEMAGREF Etude n.º 182. Ministère de L'Agriculture. Grenoble.
- EPM (1988): "Programa nacional de estudios geoambientales aplicados a la minería: Provincia de León". Serie: Geología Ambiental. ITGE. Madrid.
- EPM (1989): "Manual de restauración de terrenos y evaluación de impactos ambientales en minería". Serie: Ingeniería Geoambiental. ITGE. Madrid.
- MINISTÈRE DE L'URBANISME ET DU LOGEMENT-MINISTÈRE DES TRANSPORTS. (1984): "Remise en état des carrières et gravières à des fins agricoles".
- MINISTÈRE DE L'INDUSTRIE (1978): "Carrières et environnement en milieu alluvial". Paris.
- M.O.P.U. (1989): "Guía metodológica para la elaboración de estudios de impacto ambiental: Grandes presas". Monografías de la Dirección General de Medioambiente.
- RAMOS, A., et al. (1987): "Diccionario de la Naturaleza. Hombre, Ecología y Paisaje". Editorial Espasa-Calpe. Madrid.
- TORRECILLA, I, y MATAIX, C. (1987): "Impactos sobre la morfología fluvial". Cátedra de Planificación. ETSI de Montes. Ed. Díaz Segovia y Angel Ramos. Madrid.
- WILSON, K. (1963): "A Guide to the Reclamation of Mineral Workings for Forestry". Research and Development. Paper n.º 141. Forestry Commission.

## METODOLOGIA PARA LA SELECCION DE USOS

### 1. INTRODUCCION

En principio, los usos posibles en la recuperación de terrenos son muy amplios, si bien en cada gravera, e incluso para zonas diferentes de una misma explotación, las características de las alteraciones, los entornos social, ecológico y paisajístico, y los condicionantes técnicos y económicos de las compañías explotadoras, son factores a tener en cuenta, y que reducen el número de posibilidades de uso, hasta llegar a determinar la opción más adecuada, Fig. 6.1.

### 2. USOS POTENCIALES

Hay seis tipos de usos principales que pueden ser considerados en la recuperación de graveras:

- Agropecuario.
- Forestal.
- Reserva natural y recuperación de hábitat.
- Recreativo.
- Industrial y urbanístico.
- Vertederos controlados.

En general, las graveras situadas en entornos eminentemente agrícolas deberían ser recuperadas para tierras de cultivo. Igualmente, aquellos terrenos que están ubicados en zonas forestales deberían ser dedicados a repoblación forestal.

En la decisión de restaurar los terrenos para reserva natural o reconstrucción de hábitats para la fauna, uso industrial o urbanístico, vertedero controlado, o como zona de recreo, ya intervienen en un primer nivel de decisión criterios que no se ciñen exclusivamente a las características paisajísticas y de usos del entorno de la gravera, sino que son de índole política, legal o socio-económica.

Estos criterios determinan la demanda social de este tipo de espacios que existe en la zona, su coherencia o compatibilidad con planes de desarrollo que afecten al área, y las necesidades que se van a crear a medio y largo plazo.

### 2.1. Uso agrícola

La alternativa de usos dentro de la dedicación agrícola comprende los cultivos arables, los pastos, los forrajes y los pastos extensivos.

Este tipo de restauración debe estar encaminada al remodelado de las formas para conseguir pendientes suaves, el establecimiento de un buen sistema de drenaje y la reconstrucción de un suelo aceptable.

### 2.2. Uso forestal

El objetivo fundamental del uso forestal es conseguir que los árboles se establezcan y crezcan para la obtención de madera.

El remodelado debe ir encaminado a conformar pendientes moderadas y, también, a establecer un sistema de drenaje eficaz.

### 2.3. Uso natural. Recuperación de hábitats

En la recuperación de hábitats se combina el tratamiento de las formas del terreno, las lagunas y/o cursos de agua y la vegetación, para cubrir las necesidades básicas de los animales en cuanto a comida, agua, refugio y amplitud de territorio.

Las restauraciones específicamente enfocadas a la recuperación de hábitats para la fauna dan los mejores resultados en aquellas explotaciones en las que se han creado lagunas permanentes, por excavaciones por debajo del freático o por que están alimentadas por el drenaje de áreas adyacentes. Para los hábitats acuáticos deben asegurarse niveles de agua constantes o con una estacionalidad poco acusada, profundidades adecuadas y el mantenimiento de la calidad del agua.

También deberán tenerse en cuenta en el tratamiento los hábitats faunísticos ligados a las distintas franjas de vegetación semiacuáticas y ribereña, que se relevan desde el borde de la laguna hacia el exterior, en función de la presencia y cercanía de la capa freática y el riesgo de inundación.

En el caso de las graveras en seco, también es posible desarrollar este uso. El enfoque de los trabajos de restauración y las técnicas aplicadas variarán en función de la abundancia y tipo de fauna existente en el

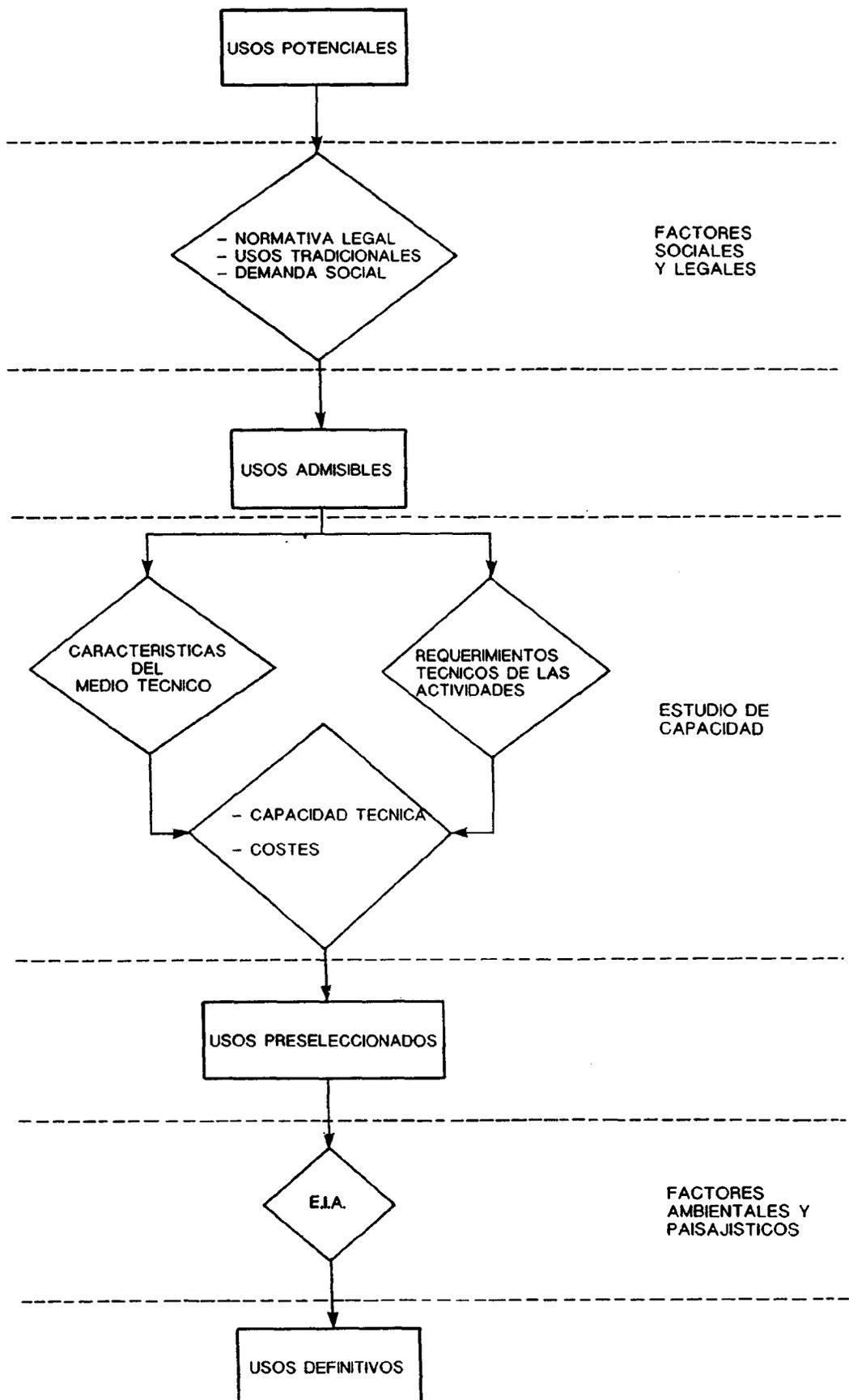


Figura 6.1. Proceso de selección de usos.

área, y el grupo o grupos faunísticos a los que se quiere beneficiar con la restauración.

### 2.4. Uso recreativo

El recreo incluye una amplia gama de actividades que van desde una utilización "blanda" del terreno, como área de estancia, paseo u observación de las aves, hasta actividades que requieren una intervención mucho más profunda, como es el caso del recreo deportivo: fútbol, golf, circuitos de bicicletas, etc.

Los proyectos de restauración para recreo deben tener en cuenta las circunstancias socioeconómicas del área y la demanda social existente para este tipo de espacios, para determinar la conveniencia de su creación. El área además debe tener buen acceso y estar cerca de los núcleos potenciales de usuarios. Otro factor importante es la seguridad que ofrece el lugar para los usuarios y su atractivo.

### 2.5. Uso industrial y urbanístico

El uso industrial incluye la construcción de edificios que están relacionados con la producción industrial y los servicios: almacenes, plantas de procesado, oficinas, etc., y los vertederos controlados.

Las consideraciones de seguridad, tales como riesgos de hundimiento o inestabilidad, son muy importantes, y pueden limitar el desarrollo del uso y la idoneidad del lugar para él. También es preciso tener en cuenta el riesgo de inundación, sobre todo si la gravera se en-

cuentra muy próxima a un cauce actual. En tales casos los terrenos pueden dedicarse a áreas de servicios que requieren movilidad, como un aparcamiento de coches, etcétera.

Los costes de creación de infraestructura también pueden ser altos, encareciendo el proyecto hasta el punto de que resulte inviable.

El uso residencial se refiere a la dotación de suelo urbanizable. La calidad paisajística del área y la existencia de riesgos geofísicos (inestabilidad, deslizamientos, etcétera) son factores que deben ser considerados.

El desarrollo de un uso residencial generalmente requiere la construcción de costosas infraestructuras, como son líneas eléctricas, alcantarillado, agua potable y carreteras de acceso, etc.

## 3. FACTORES SOCIALES Y NORMATIVA LEGAL

Generalmente, la consideración preliminar de normativas que restringen la utilización del territorio (normas subsidiarias, planes especiales, espacios protegidos, etc.) elimina directamente un cierto número de usos potenciales del terreno.

En caso de que la gravera estuviera situada en un territorio no afectado por ningún tipo de planeamiento que especifique los usos admisibles, el abanico inicial de posibilidades se reducirá a partir de criterios de compatibilización con los usos existentes en el entorno. Fig. 6.2.

	AGRICULTURA	FORESTAL	HABITAT FAUNA	RECREO	URBANISTICO	INDUSTRIAL
AGRICULTURA	●	⊗	○	○	○	⊗
FORESTAL	⊗	●	●	●	⊗	⊗
HABITAT FAUNA	○	●	●	●	○	⊗
RECREO	○	●	●	●	○	⊗
URBANISTICO	⊗	⊗	○	○	●	○
INDUSTRIAL	⊗	⊗	⊗	⊗	○	●

- COMPATIBLE
- COMPATIBLE EN ALGUNOS CASOS
- ⊗ MENOS COMPATIBLE

Figura 6.2. Compatibilidad de usos.

En la restauración de graveras situadas en áreas urbanas, es posible la utilización intensiva del terreno: urbanizaciones de alta densidad, uso industrial o recreo intensivo (parques urbanos, golf, complejos deportivos, etcétera).

En zonas periurbanas conviene desarrollar usos menos intensivos, tales como urbanizaciones de baja densidad, recuperación de hábitats o recreo extensivo.

En zonas rurales los usos más adecuados son de tipo agropecuario y natural.

También deben considerarse las interferencias que pueden crearse entre el uso propuesto y el existente en áreas adyacentes. Por ejemplo, una recuperación para hábitat puede verse afectada negativamente por la contaminación del agua (fertilizantes, vertidos urbanos, etcétera), si está ubicada en un entorno agrícola, urbano o industrial, o por el contrario, la fauna reintroducida en un área recuperada para hábitat puede ocasionar daños en los cultivos cercanos.

Las necesidades de las poblaciones cercanas, tanto actuales como futuras, son factores a tener en cuenta, si bien no para eliminar usos, sí para dar prioridades entre alternativas de uso en fases posteriores (por ejemplo, demanda previsible de zonas de ocio, de verederos, de suelo urbanizable, etc., en función del crecimiento de la población y de su estructura sectorial).

#### 4. ESTUDIO DE CAPACIDAD

La capacidad de acogida para los diversos usos que el terreno va a tener una vez concluida la explotación varía en función de diversos factores. Para llegar a determinarla hay que contrastar por un lado las características del medio técnico, es decir, del terreno alterado por la gravera, y las del entorno, con los requerimientos técnicos y de otra índole de cada uno de los usos seleccionados en la fase anterior.

Hay que tener en cuenta que cada factor a considerar no posee para cada uno de ellos la misma importancia. Probablemente, un factor que sea extremadamente importante para un uso en un terreno lo sea relativamente poco para otro uso alternativo. Tablas 6.1 y 6.2.

Las condiciones macroclimáticas del área pueden afectar al desarrollo de algunas actividades y actuar como factores limitantes en el proceso de selección de usos.

El clima determina en gran medida el tipo de vegetación que puede implantarse en un área y las necesidades de mantenimiento posterior, y así, por ejemplo, en zonas secas estarán limitados aquellos usos basados en la utilización de árboles y arbustos.

TABLA 6.1. IMPORTANCIA RELATIVA DE LOS FACTORES GEOAMBIENTALES EN LA DETERMINACION DEL USO ADECUADO DE LOS TERRENOS

FACTORES GEOAMBIENTALES	USOS DEL TERRENO						
	FORESTAL	RECREATIVO	AGRICOLA	RESIDENCIAL	INSTITUCIONAL	COMERCIAL	INDUSTRIAL
Relieve topográfico	2	3	1	2	2	2	2
Pendiente	1	3	1	2	1	1	1
Altitud	2	3	2	3	3	3	3
Exposición	2	3	2	3	3	3	3
Drenaje	1	3	1	1	1	1	1
Temperatura	1	2	1	3	3	3	3
Precipitación	1	2	1	3	3	3	3
Consolidación de los estériles	2	2	1	2	3	3	3
Suelos:							
— Propiedades agrícolas	2	2	1	3	3	3	3
— Propiedades técnicas	3	3	2	1	1	1	1

1 = Factor con un alto grado de influencia sobre la recuperación del terreno para un uso particular.

2 = Factor con un grado de influencia moderado.

3 = Factor con un grado de influencia bajo.

Fuente: CLAR y RAMANI (1986).

TABLA 6.2. IMPORTANCIA RELATIVA DE LOS FACTORES CULTURALES EN LA DETERMINACION DEL USO ADECUADO DE LOS TERRENOS

FACTORES CULTURALES	FORESTAL	RECREATIVO	AGRICOLA	RESIDENCIAL	INSTITUCIONAL	COMERCIAL	INDUSTRIAL
Localización	3	1	2	1	1	1	1
Accesibilidad	3	2	3	1	1	1	1
Tamaño y forma del área	3	3	1	2	2	1	1
Usos del terreno en el entorno	3	2	3	1	1	1	3
Propiedad de los terrenos	3	2	3	2	2	2	2
Tipo e intensidad del uso	3	3	3	1	2	1	2
Características de la población	3	2	2	1	2	1	2
Limitaciones legales	3	2	2	1	1	1	1
Actitudes de la compañía	2	2	2	1	1	1	1

1 = Factor con un alto grado de influencia sobre la recuperación del terreno para un uso particular.

2 = Factor con un grado de influencia moderado.

3 = Factor con un grado de influencia bajo.

Fuente: CLAR y RAMANI (1986).

TABLA 6.3. GRAVERAS SECAS

CONDICIONES		POSIBILIDADES DE RECUPERACION	OBSERVACIONES
GRAVERA	ENTORNO		
En huecos	Rural	Reconstrucción del terreno agrícola. Repoblación forestal.  Estanque de infiltración.	Extensiones medias a grandes. Asegurar un buen drenaje.  Sustrato permeable.
	Periurbano y urbano	Relleno con vertido controlado.  Zonas verdes. Parque en área residencial. Zona industrial. Lago artificial.	Posibles problemas de contaminación. Planificar la utilización posterior de la superficie terraplenada.  Asegurar el drenaje a una profundidad reducida.  Caracterizar el drenaje después del estancamiento del fondo.
En los taludes del terreno			
Laderas sueltas	Todos los ambientes	Remodelado de taludes y revegetación.	
Laderas rocosas	Vistas alejadas	Tratamiento de taludes.	Pátina artificial como "camuflaje".
	Vistas próximas	Revegetación del talud eventualmente.	Enmascaramiento por medio de vegetación.
Fondo de gravera	Rural	Reimplantación de la vegetación (pradera, agricultura, silvicultura).	Aporte de suelos.
	Urbano y periurbano	Parque. Zona residencial. Aparcamiento de vehículos. Zona industrial.	La superficie útil puede resultar restrictiva.

TABLA 6.3. GRAVERAS HUMEDAS (Continuación)

CONDICIONES		POSIBILIDADES DE RECUPERACION	OBSERVACIONES
GRAVERA	ENTORNO		
Poca profundidad del agua	Rural	<p>Reserva ornitológica.</p> <p>Caza de aves acuáticas.</p> <p>Estanques de lagunaje.</p> <p>Estanques de infiltración.</p> <p>Drenaje y aprovechamiento con uso agrícola o silvícola.</p>	<p>Extensiones pequeñas a medias.</p> <p>Fondos de graveras impermeables y grandes extensiones.</p> <p>Extensiones grandes a medias en relación al nivel freático.</p> <p>Se debe garantizar la no contaminación del agua por la operación de terraplénado.</p>
	Periurbano y urbano	<p>Límite de zona urbanizable.</p> <p>Relleno total o parcial para uso como:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zonas verdes y de ocio.</li> <li>• Zonas edificables.</li> </ul>	<p>Fluctuaciones importantes del nivel de agua.</p> <p>Vigilar la calidad de los materiales de relleno, asentamientos y características geotécnicas.</p>
Profundidad del agua media a alta	Rural	<p>Pesca de recreo.</p> <p>Piscicultura.</p> <p>Baños.</p> <p>Recreo y motonáutica.</p> <p>Puerto de recreo.</p> <p>Estanque de infiltración.</p> <p>Estanque de almacenamiento de agua.</p>	<p>Extensión reducida.</p> <p>Temperatura del agua suficiente.</p> <p>Unión con cursos de agua navegables.</p> <p>Fondo de gravera permeable.</p> <p>Hueco de gravera con gran volumen.</p>
	Periurbano y urbano	<p>División de usos en las márgenes.</p> <p>Puerto industrial.</p> <p>Usos recreativos polivalentes.</p>	<p>Facilidad de recuperación de las márgenes.</p>

También factores climatológicos, tales como número de días de lluvia, temperaturas medias invernales, horas de sol, etc., determinan la posibilidad de desarrollo de determinados usos recreativos.

En el caso de las graveras húmedas, el tipo y calidad del agua, y su permanencia, son factores que van a determinar si es posible o no la recuperación del área para hábitats acuáticos y ribereños o el desarrollo de actividades recreativas ligadas al agua.

La morfología y las pendientes finales del terreno también van a tener gran peso en la decisión del uso final, Fig. 6.3.

En terrenos abruptos o desiguales está limitada la construcción de edificaciones permanentes. Los cultivos tienen unas limitaciones clisométricas muy estrictas (de pendiente máxima 10%).

Las zonas inundables son muy aptas para la recuperación de hábitats o el recreo, mientras que en ellos está totalmente desaconsejado el uso residencial industrial y recreativo intensivo.

El tamaño y la profundidad del hueco de extracción es otro factor que también debe tenerse en cuenta para determinar la capacidad de recuperación del terreno.

En general, en graveras pequeñas, de menos de 2 ha, lo más adecuado es devolver al terreno su uso primitivo, aunque las explotaciones pequeñas realizadas por debajo del freático ofrecen una excelente oportunidad para la recuperación de hábitats o el recreo extensivo.

Los usos agrícolas y forestales requieren áreas extensas para su desarrollo, al igual que los usos industrial y urbanístico. En estos dos últimos casos se necesita obtener una superficie de terreno útil grande para justificar las inversiones que son necesarias para la implantación del uso.

En explotaciones muy grandes es aconsejable combinar dos o más usos en la restauración.

La profundidad relativa del hueco respecto a los terrenos adyacentes también influye en la decisión del

uso. Los huecos superficiales, de menos de 3 m de profundidad no imponen limitaciones de uso, a excepción de para la recuperación de hábitats acuáticos y la pesca.

Los huecos de profundidad media, de entre 3 y 7 m, están indicados para la recuperación de hábitats y el recreo. Los huecos muy profundos, de más de 7 m, sólo son utilizables para hábitats de fauna y pesca, a menos que se realice un remodelado profundo de las formas mineras finales previamente a la implantación del uso.

En la Tabla 6.3 se presenta una relación de posibles usos en función de las condiciones de las graveras.

En esta fase se considerarán también las posibilidades técnicas de acometer la modificación de alguno de los factores que resulten restrictivos para el desarrollo de las actividades, o que simplemente no tengan los valores más adecuados para ello (por ejemplo, disminución de las pendientes, fertilización del suelo, etc.), junto con la viabilidad económica de acometer estas mejoras, puede darse el caso de que una determinada acción sea estrictamente necesaria para poder desarrollar un uso, pero que su coste sobrepase la capacidad económica del explotador, o que en razón al coste/beneficio no compense, Tabla 6.4.

## 5. FACTORES AMBIENTALES

Sobre el conjunto de usos resultantes de la aplicación de este proceso se realizará un análisis ambiental preliminar de carácter general y no excesivamente detallado. Mediante listas de chequeo u otro método se revisarán distintos factores ambientales, a los que el desarrollo de la actividad puede afectar de forma negativa, para determinar si el nuevo uso asignado a la zona va a resultar fuente de nuevos impactos, o, por el contrario, su desarrollo es admisible desde un punto de vista ambiental.

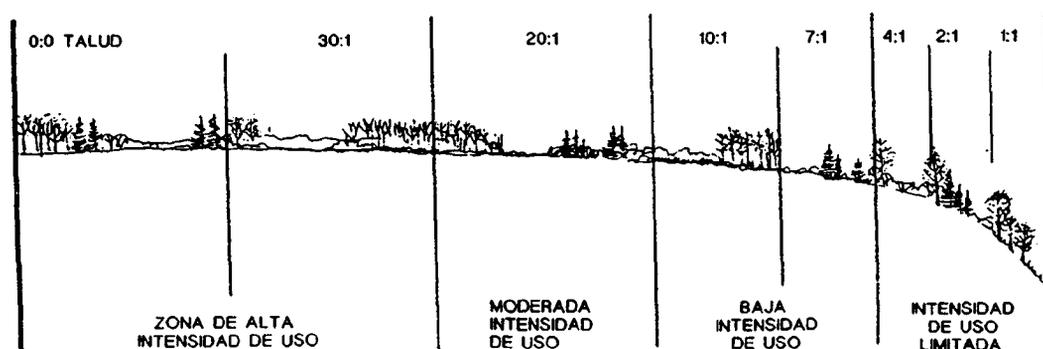


Figura 6.3. Intensidad de uso según la pendiente del terreno.

TABLA 6.4. ALGUNOS REQUERIMIENTOS Y POSIBLES SOLUCIONES PARA EL DESARROLLO DE UN DETERMINADO USO

TIPO DE USO	REQUERIMIENTOS	SOLUCIONES
Urbanístico e industrial	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Estabilidad de los taludes y control de la erosión.</li> <li>— Estudio de propiedades geotécnicas de los terrenos para las cimentaciones.</li> <li>— Localización cerca de núcleos urbanos y rurales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Remodelado para reducir pendientes.</li> <li>— Obras de drenaje.</li> <li>— Medidas estructurales, cuando sea necesario.</li> </ul>
Recreativo y deportivo	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Estabilidad de los taludes.</li> <li>— Retirada de elementos que puedan dar lugar a accidentes.</li> <li>— El uso recreativo no intensivo y educacional requiere grandes superficies, que pueden sobrepasar las 10 ha en muchos casos.</li> <li>— Localización: cerca de núcleos urbanos y rurales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Remodelado del terreno.</li> <li>— Corrección de pendientes.</li> <li>— Medidas estructurales si son necesarias.</li> <li>— Establecimiento de una cubierta vegetal.</li> </ul>
Vertedero de basuras y estériles	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Estudio de la permeabilidad de los materiales rocosos.</li> <li>— Estudio de las características de los vertidos.</li> <li>— Ubicación en lugares poco visibles. Localización: cerca de núcleos urbanos e industriales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Impermeabilización, cuando sea necesario.</li> <li>— Mejora del drenaje interno y superficial.</li> </ul>
Agrícola	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Huecos de excavación grandes y poco profundos.</li> <li>— Limitaciones: <ul style="list-style-type: none"> <li>Químicas: acidez/alcalinidad, nutrientes y toxicidad.</li> <li>Físicas: <ul style="list-style-type: none"> <li>● Pedregosidad &gt; 15% imposible el uso agrícola.</li> <li>● Pendiente: &lt; 15% pastizal.</li> <li style="padding-left: 40px;">&gt; 5% cultivos arables.</li> <li>● Disponibilidad de agua.</li> <li>● Riesgo de erosión.</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Añadir materia orgánica.</li> <li>— Enmienda caliza para corrección de acidez.</li> <li>— Aporte de elementos finos.</li> <li>— Abonado.</li> <li>— Mejora del drenaje.</li> <li>— Disminución de pendientes.</li> <li>— Establecimiento de la vegetación.</li> </ul>
Forestal	<ul style="list-style-type: none"> <li>— No se precisan suelos de gran fertilidad.</li> <li>— Limitación en taludes con pendientes &gt; 70% (35°).</li> <li>— Superficies de cierta extensión (&gt; 0,25 ha).</li> <li>— Espesor del suelo y subsuelo para instauración, diferente según la especie.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Añadir materia orgánica.</li> <li>— Añadir elementos finos.</li> <li>— Posible aportación de nutrientes.</li> <li>— Buen drenaje.</li> <li>— Modificar pendiente si se necesita.</li> <li>— Establecimiento de la cubierta vegetal.</li> </ul>
Conservación de la naturaleza	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Requerimientos mínimos, aunque es necesario un sustrato adecuado capaz de facilitar el crecimiento de la vegetación natural.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Establecimiento de la cubierta vegetal.</li> </ul>

## 6. BIBLIOGRAFIA

- BANKS, P., y NICKEL, R. (1981): "Reclamation and Pollution Control: Planning Guide for Small Sand and Gravel Mines". Bureau of Mines, U.S. Department of the Interior.
- DEPARTMENT OF ENVIRONMENT WELSH OFFICE (1989): "The Reclamation Of Mineral Workings". MPG 7.
- GREEN, J., et al. (1992): "A User Guide to Pit and Quarry Reclamation in Alberta". Alberta Land Conservation and Reclamation Council. Alberta.
- EPM (1989): "Manual de restauración de terrenos y evaluación de impactos ambientales en minería". Serie: Ingeniería Geoambiental. ITGE. Madrid.
- MINISTERE DE L'INDUSTRIE (1978): "Carrières et environnement en milieu alluvial". Paris.
- UNION NATIONALE DES PRODUCTEURS DE GRANULATS (1982): "L'Affectation des soils de carrières de granulats après exploitation". Collection Technique, n.º 2. Paris.
- UNION NATIONALE DES PRODUCTEURS DE GRANULATS (1979): "Les Carrieres Potential de Creation et de Reconquete des Milieux Naturels". Journee d'Etudes du 18 Sept.
- WILSON, K. (1963): "A Guide to the Reclamation of Mineral Workings for Forestry". Research and Development. Paper n.º 141. Forestry Commission.



## PREPARACION DEL SUSTRATO

### 1. INTRODUCCION

El suelo es un material básico en el proceso de revegetación de los terrenos alterados por la explotación de graveras.

Su retirada y manejo cuidadoso en las fases previas a la explotación, para no destruir ni deteriorar este recurso natural, así como la aportación al área alterada de una capa de suelo con unas características edáficas adecuadas y un espesor suficiente, que permita el arraigo y desarrollo de la vegetación seleccionada, son dos facetas de importancia vital en el proceso de restauración.

Aunque la explotación esté bien planificada, y se opere cuidando al máximo el recurso suelo, suelen aparecer una serie de problemas típicos que disminuyen la aptitud de los terrenos como soporte de una cubierta vegetal estable, y que dificultan el desarrollo del uso previsto.

Esta situación crea la necesidad de preparar el terreno como paso previo y fundamental al establecimiento de la vegetación, buscando soluciones o métodos que ayuden a superar los problemas que dicho terreno presenta.

Los objetivos principales que han de tenerse en cuenta en los trabajos de preparación del terreno son:

- Proporcionar un buen drenaje.
- Proporcionar un suministro adecuado de nutrientes a las plantas.

- Reducir o eliminar la acidez o alcalinidad del suelo, así como la existencia de elementos tóxicos.
- Proporcionar una capa de suelo con espesor efectivo suficiente para el desarrollo del uso seleccionado.
- Descompactar el terreno para permitir un correcto desarrollo de las raíces.

### 2. SUELO Y VEGETACION

#### 2.1. Características del suelo

El suelo es un material que se ha ido formando en la superficie de la tierra a lo largo de miles de años, por la acción meteorizante del clima y los organismos vivos sobre el sustrato geológico.

Está formado por una mezcla de cuatro componentes: agua, aire y materia orgánica e inorgánica, repartidos en proporción variable en función del tipo de suelo de que se trate, su desarrollo y las características de la roca madre sobre la que se ha formado.

Generalmente, la proporción mayor suele corresponder a la materia mineral, Fig. 7.1.

La naturaleza y propiedades generales de un suelo, en relación con la vegetación, están definidas por cierto número de caracteres de orden químico, físico y biológico.

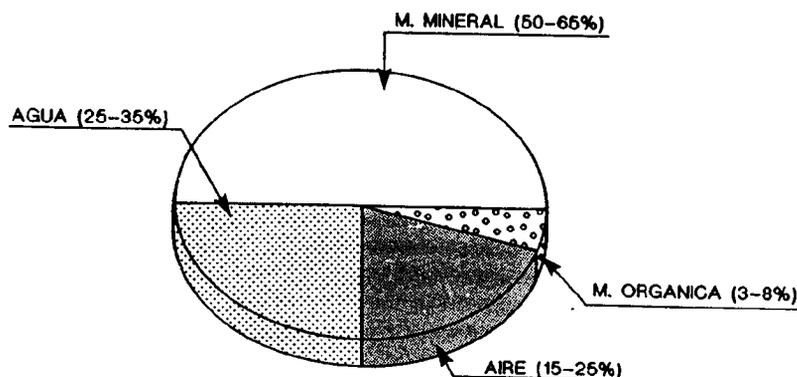


Figura 7.1. Proporción relativa entre los distintos componentes del suelo.

Su constitución física depende fundamentalmente del tamaño de sus diferentes elementos constituyentes, de la textura, y de cómo estos elementos particulares se organizan unos respecto de otros, formando agregados de orden superior, estructura.

La constitución química del suelo, al margen de la propia naturaleza química de los elementos que lo componen, está definida por su capacidad de absorción de los iones minerales y su pH.

Las características biológicas de un suelo están resumidas en la cantidad y tipo de humus que contiene. Este factor proporciona información acerca de la intensidad de los procesos de mineralización y humificación y de la actividad biológica que se está desarrollando en él.

Hay cuatro factores edáficos que tienen un efecto primario en el crecimiento de las plantas, Tabla 7.1. Se puede actuar sobre ellos mediante la aplicación de técnicas específicas y modificarlos para ajustar sus valores a las necesidades de la restauración, en caso de que éstos no sean los más adecuados:

— **Capacidad de retención y disponibilidad de agua**

El agua edáfica es un elemento indispensable para las plantas, ya que, por un lado, lleva en disolución los nutrientes que éstas necesitan para su desarrollo y, por otro, determina en gran medida la aireación y otras características esenciales del suelo.

Para que el crecimiento y desarrollo de la vegetación implantada sea óptimo debe cuidarse que el suelo tenga un contenido de agua adecuado. Un grado de humedad excesivo o la escasez de agua dificultan el desarrollo normal de las plantas, pudiendo causar su muerte, si esas condiciones extremas persisten en el tiempo.

— **Aireación**

Para mantener la actividad de los microorganismos y la respiración de las raíces es necesario que el nivel de oxígeno del suelo y la circulación de los gases a través

TABLA 7.1. FACTORES EDAFICOS QUE INFLUYEN EN EL CRECIMIENTO DE LAS PLANTAS

FACTOR	FUNCION DE
CAPACIDAD DE RETENCION Y DISPONIBILIDAD DE AGUA	Textura Estructura Profundidad Materia orgánica
AIREACION	Estructura Contenido en agua Porosidad Drenaje interno
CONTENIDO Y DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES	pH Magnitud del complejo absorbente Estructura Materia orgánica
REACCION DEL SUELO (pH)	Contenido en carbonato cálcico

del perfil sea la correcta, en caso contrario puede producirse la muerte por asfixia de las plantas.

— **Contenido y disponibilidad de nutrientes**

Las plantas obtienen su alimento de los elementos nutritivos contenidos en la solución del suelo. El aporte de estos elementos debe ser completo y equilibrado. Defectos o excesos en alguno de los elementos nutritivos básicos para las plantas pueden originar deficiencias y ralentizamiento en su desarrollo, o inducir enfermedades y plagas. En algunos casos, la concentración excesiva de un elemento determinado es causa de toxicidad, como por ejemplo es el caso del aluminio y el magnesio en suelos muy ácidos y mal drenados.

— **Reacción del suelo (pH)**

La influencia de este factor en las plantas se debe tanto a motivos directos como factor limitante, ya que cada especie sólo puede desarrollarse satisfactoriamente dentro de un rango de valor determinado (especies acidófila, basófila, indiferentes), como a motivos indirectos debido a su intervención sobre otras características del suelo: velocidad y cualidad de los procesos de humificación, disponibilidad de nutrientes, liberación de oligoelementos, estructura, etc. Conviene que los valores de pH se mantengan cercanos a la neutralidad.

— **Profundidad**

De esta característica depende en gran medida el desarrollo de las plantas, ya que condiciona el crecimiento radical y el volumen de agua disponible. La profundidad idónea para el desarrollo varía entre unas especies y otras, dependiendo de su porte (herbáceas, arbustivas, arbóreas), tipo de raíz (oblicuo, intermedio, superficial, pivotante), profundidad de enraizamiento, etcétera.

**2.2 Textura**

La *textura* de un suelo viene expresada por la distribución del tamaño de las partículas sólidas que lo componen, es decir, la composición granulométrica del suelo, previa dispersión de sus agregados.

Un método muy generalizado para determinar la textura de un suelo es el sistema de clasificación textural de suelos del U.S. Department of Agriculture (USDA), Fig. 7.2.

La textura de un suelo puede describirse, en términos generales, como arenosa, arcillosa o limosa, dependiendo del tamaño de partícula que predomina. Las partículas con un diámetro superior a 2 mm, generalmente, no se consideran como componentes del suelo.

La capacidad de retención de agua está directamente relacionada con la textura, a través de la porosidad, Fig. 7.3. Un buen balance entre sólidos y espacio poroso es 50:50. Es decir, que el 50% del suelo sea material sólido y el otro 50% espacio poroso repartido entre macro y microporos, Fig. 7.4. En estas condiciones, los macroporos quedan ocupados por aire poco después

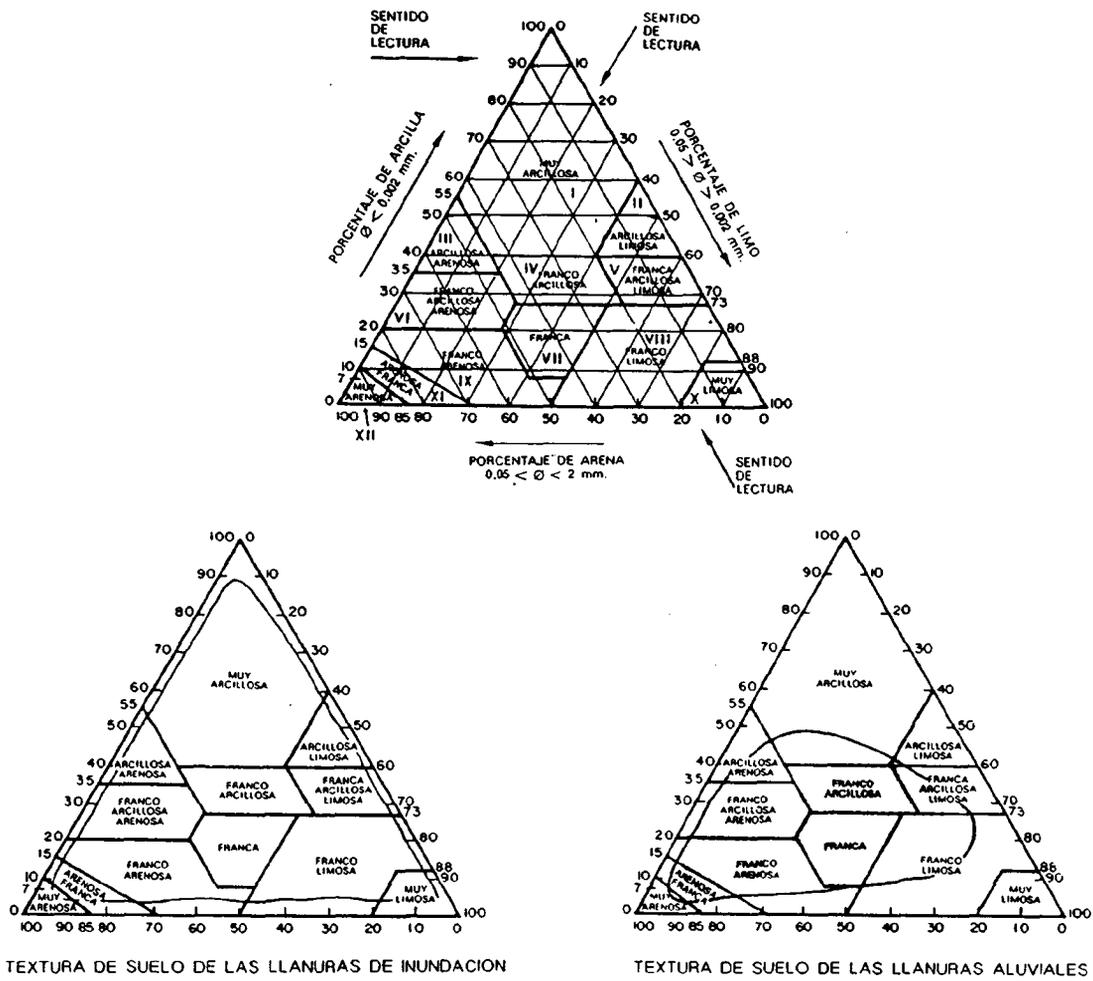


Figura 7.2. Sistema de clasificación textural del United States Department of Agriculture (USDA).

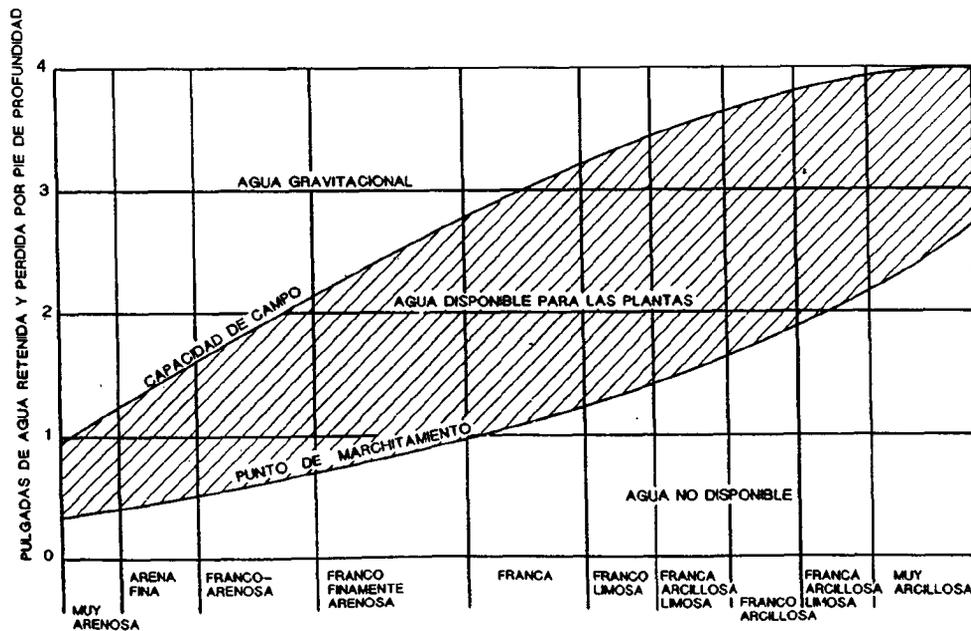


Figura 7.3. Efecto de la textura en la capacidad de retención de agua (USDA, Forest Service, Handbook on Soils, 1961).

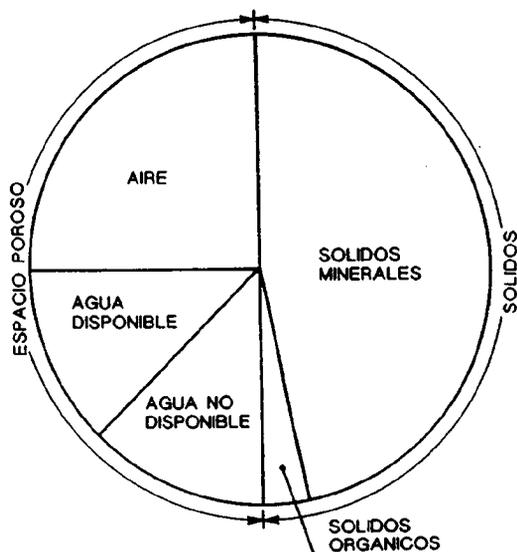


Figura 7.4. Proporción óptima de sólidos, agua y aire para el crecimiento de las plantas.

de la lluvia, y los microporos retienen una provisión de agua accesible para las plantas. Así, la disponibilidad de agua y oxígeno es óptima para el crecimiento de éstas.

Por otro lado, en relación con la **fertilidad**, los suelos arenosos suelen ser estériles, mientras que los arcillosos contienen una buena provisión de nutrientes.

El conocimiento de la textura del suelo sobre el que se va a revegetar proporciona bastantes datos acerca del potencial que ofrece como sustrato, los problemas que pueden encontrarse o las mejoras que van a ser necesarias para asegurar el éxito de la revegetación, Tabla 7.2.

TABLA 7.2. RELACION ENTRE TAMAÑO DE PARTICULA Y RESTAURACION

	EFFECTO BENEFICIOSO EN LA RESTAURACION	INCONVENIENTES PARA LA RESTAURACION
PIEDRA	Mejora el drenaje del suelo.	Disminuye el volumen de suelo verdadero. Interfiere en las labores agrícolas.
ARENA	Incrementa la permeabilidad.	Químicamente inerte. Baja capacidad de retención de agua.
LIMO	Buena capacidad de retención de agua.	Estructura inestable.
ARCILLA	Químicamente muy activo y fértil.	Pegajoso y blando cuando llueve; muy duro en tiempo seco.

Fuente: RMC (1987).

### 2.3. Estructura

Con la palabra estructura se describe el estado de agregación de las partículas minerales y orgánicas del

suelo. Depende de la existencia de coloides floculados que aglomeran las partículas individuales unas con otras para formar "agregados elementales".

El tipo de estructura y su estabilidad depende del tipo y cantidad de materia orgánica u otro tipo de agente cementante que contenga, Tabla 7.3. La materia orgánica es el factor fundamental en la estructuración del suelo.

TABLA 7.3. DIFERENCIACION ESTRUCTURAL EN FUNCION DEL TIPO Y CANTIDAD DE AGENTE CEMENTANTE Y LA TEXTURA

TEXTURA	CONTENIDO EN MATERIA ORGANICA	CONTENIDO EN CARBONATO CALCICO	ESTRUCTURA
Arenosa	Bajo	—	Particular.
Arcillosa	Bajo	Nulo	Grumosa inestable.
Arcillosa	Elevado	Nulo	Grumosa estable, tanto más cuanto más saturado esté el complejo absorbente.
Arcillosa	Elevado	Apreciable	Grumosa muy estable.
Arcillosa	Bajo	Apreciable	Grumosa estable.

Existen diversas clasificaciones estructurales, aunque una de las más utilizadas es la establecida por el USDA, Fig. 7.5 y Tabla 7.4.

Esta característica edáfica es la que más fácilmente puede ser modificada durante las labores de extracción, e incluso durante los trabajos de restauración, por compactación.

El paso continuado de maquinaria pesada compacta el suelo, reduciendo el espacio poroso, con lo cual se impide la circulación de agua y aire a través del suelo y, por tanto, la disponibilidad de estos elementos para las plantas, a la vez que se dificulta físicamente la penetración de las raíces de las plantas, Fig. 7.6.

Los suelos más fácilmente compactables son los de textura limosa, con escaso desarrollo estructural y bajo contenido en materia orgánica.

El contenido en humedad es un factor crítico en cuanto al riesgo de compactación. Los suelos con alto contenido en humedad son mucho más susceptibles a la compactación, y por tanto a perder su estructura, que los suelos secos. En este sentido es esencial restringir las labores de retirada y aporte de suelos al tiempo seco.

La estructura del suelo también puede verse afectada por el exceso de agua. Si el suelo está mal drenado, el agua se acumula en la parte superior del perfil, colapsando el espacio poroso. Es el fenómeno conocido como soliflujión.

### 2.4. Capacidad de retención y disponibilidad de agua

No toda el agua que recibe un suelo es directamente utilizable por las plantas. Únicamente pueden acceder al agua retenida en poros capilares de entre 0,0002 y 0,008 mm de diámetro, es decir, partículas de limo en

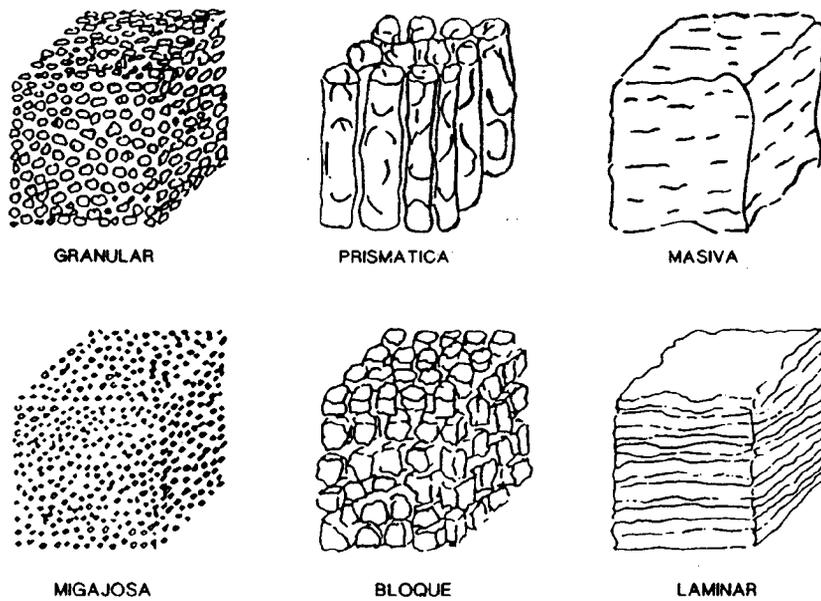


Figura 7.5. Tipos de estructura del suelo.

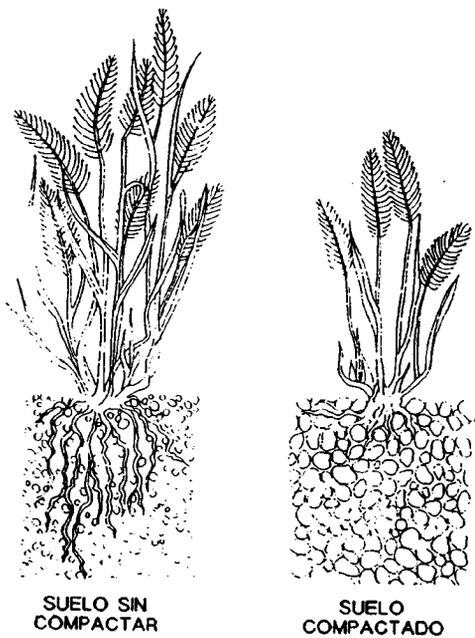


Figura 7.6. Efecto de la compactación en la capacidad de penetración de las raíces y el desarrollo de la planta.

su gran mayoría. El resto corresponde a agua gravitacional que drena demasiado rápido para que pueda ser aprovechada, y a agua estructural e higroscópica, que está retenida por una fuerza que supera el poder de absorción de las raíces.

La capacidad de almacenamiento de agua y la disponibilidad de ésta varían, pues, según el tamaño y cantidad de los poros del suelo y, por tanto, según su

textura, estructura y contenido en materia orgánica, Tabla 7.5.

Un aumento progresivo del contenido en agua de un suelo, desde el límite mínimo que soportan las plantas

TABLA 7.5. CAPACIDAD DE RETENCION DE AGUA SEGUN TEXTURA Y CONTENIDO EN MATERIA ORGANICA

TEXTURA	CONTENIDO EN MATERIA ORGANICA	CAPACIDAD DE RETENCION DE AGUA
SUELOS ARENOSOS	Bajo	Muy escasa (poros grandes).
	Alto	Escasa (al formarse grumos pueden crearse algunos poros capilares).
SUELOS LIMOSOS	Bajo	Muy elevada (la textura limosa es la adecuada para la configuración de poros capilares).
	Alto	Elevada (al formarse grumos, se crearán algunos macroporos de agua gravitacional).
SUELOS ARCILLOSOS	Bajo	Casi nula (el agua adherida a las partículas arcillosas es higroscópica, dependiente fundamentalmente de la humedad atmosférica, y su estructura laminar configura escasos poros capilares).
	Alto	Elevada (al formarse grumos con partículas pequeñas se forman muchos poros capilares).

TABLA 7.4. CLASIFICACION ESTRUCTURAL

TIPO (forma y arreglo de los -peds-)									
CLASE	Semejando láminas con sólo una dirección (la vertical) limitada y mucho menor que las otras dos; arregladas alrededor de un plano horizontal; las caras son, en su mayoría, horizontales.	Semejando prismas con dos dimensiones (la horizontal) limitada y considerablemente menor que la vertical; arreglada alrededor de una línea vertical; caras verticales bien definidas: vértices angulares.		Semejando bloques: poliédrico o esferoidal, con tres dimensiones del mismo orden de magnitud, dispuesto alrededor de un punto.		Semejando bloques: bloques o poliedros que tienen superficies planas o curvas domadas por las caras de los -peds- que los circundan.		Esferoides o poliedros que tienen caras planas o curvadas que se ajustan ligeramente con las superficies de los -peds- que los circundan.	
		Sin partes superiores redondeadas	Con partes superiores redondeadas	Caras aplastadas: la mayoría de los vértices fuertemente angulares.	Caras aplastadas y redondeadas mezcladas con muchos vértices redondeados.	-Peds- relativamente no porosos.	Peds- porosos		
		Laminar	Prismático	Columnar	(Angular) Blocoso (1)	Subangular blocoso (2)	Granular	Migajoso	
Muy fina o muy delgada	Laminar muy fina: < 1 mm	Prismática muy fina: < 10 mm	Columnar muy fina: < 10 mm	Blocoso angular muy fina: < 5 mm	Blocoso subangular muy fina: < 5 mm	Granular muy fina: < 1 mm	Migajoso muy fino: < 1 mm		
Fina o delgada	Laminar delgada: 1 a 2 mm	Prismática fina: 10 a 20 mm	Columnar fina: 10 a 20 mm	Blocoso angular fino: 5 a 10 mm	Blocoso subangular fino: < 5 mm	Granular fino: < 1 mm	Migajoso fino: 1 a 2 mm		
Media	Laminar media: 2 a 5 mm	Prismática media: 20 a 50 mm	Columnar media: 20 a 50 mm	Blocoso angular medio: 10 a 20 mm	Blocoso subangular medio: 10 a 20 mm	Granular medio: 2 a 5 mm	Migajoso medio: 2 a 5 mm		
Gruesa o espesa		Prismática gruesa: 50 a 100 mm	Columnar gruesa: 50 a 100 mm	Blocoso angular gruesa: 20 a 50 mm	Blocoso angular gruesa: 20 a 50 mm	Granular grueso: 5 a 10 mm			
Muy gruesa o muy espesa	Laminar muy gruesa: > 10 mm	Prismática muy gruesa: > 100 mm	Columnar muy gruesa: > 100 mm	Blocoso angular muy gruesa: > 50 mm	Blocoso subangular muy gruesa: > 50 mm	Granular muy grueso: > 10 mm			

(1) -a- Llamado algunas veces nuez. -b- La palabra "angular" puede omitirse ordinariamente en el nombre.

(2) Llamada algunas veces nuciforme, nuez o nuez subangular. Estos términos no se recomiendan en consideración a que su significación de tamaño conduce a error.

Fuente: SOIL SURVEY STAFF (1951).

hasta el punto óptimo de humedad para su crecimiento, está acompañado de un incremento progresivo en la disponibilidad de nutrientes. Sin embargo, cuando se supera este punto óptimo, la accesibilidad a éstos disminuye bruscamente.

## 2.5. Drenaje

El drenaje interno se refiere a la evacuación natural del exceso de agua en el interior del suelo. Varía en función de diversos parámetros: textura, estructura, grado de compactación, contenido en materia orgánica, profundidad, porosidad, etc.

En los suelos mal drenados, que tienen almacenada una cantidad grande de agua durante la mayor parte del año, bien porque la capa freática es muy superficial, bien a causa de su baja permeabilidad (por ejemplo, por estar muy compactados), la aireación necesaria para la respiración de las raíces está muy restringida. Este ambiente asfixiante es nocivo para las plantas, a no ser que estén específicamente adaptados a él (es el caso de la vegetación freatófítica), y puede causar su muerte.

Por el contrario, en los suelos con drenaje interno excesivo, el perfil edáfico pierde rápidamente su humedad, frecuentemente existe falta de agua, y las raíces de las plantas mueren deshidratadas.

Tanto en un caso como en otro, es necesario adoptar medidas para corregir estas deficiencias.

## 2.6. Disponibilidad de nutrientes y pH

El suelo constituye la fuente de nutrientes fundamental para las plantas. Las deficiencias en la provisión de alguno de los elementos nutritivos básicos pueden afectar al crecimiento de las plantas o inducir enfermedades.

Los nutrientes del suelo pueden dividirse en dos grupos:

- **Macronutrientes**, requeridos en grandes cantidades por las plantas, como el hidrógeno, carbono, oxígeno, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio.
- **Micronutrientes**, requeridos por las plantas en cantidades muy pequeñas; su gama es muy amplia (sodio, hierro, aluminio, silicio, cobre, molibdeno y cinc).

El desarrollo de la vegetación depende de la existencia en el suelo de las cantidades correctas de estos nutrientes. Su defecto puede limitar o impedir el crecimiento de las plantas y su exceso puede, a veces, producir toxicidades.

En la disponibilidad de nutrientes del suelo juegan su papel, pues, la cantidad, tipo de nutrientes, magnitud del complejo absorbente, directamente dependientes de la estructura, el contenido en materia orgánica, por su influencia en la formación de coloides y por constituir asimismo fuente de nutrientes, y, de manera fundamental, el pH.

La participación del pH sobre la disponibilidad de los nutrientes para las plantas se ejerce a través de su in-

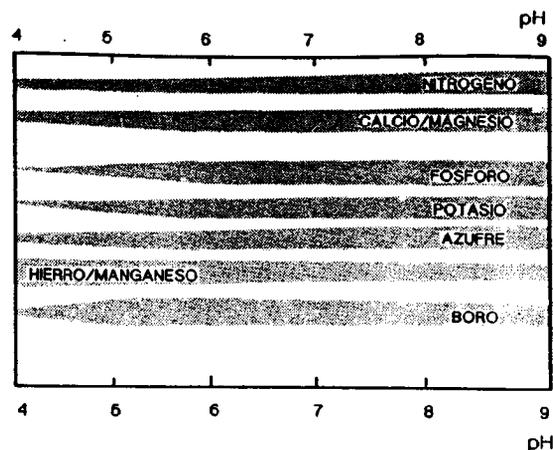


Figura 7.7. Relación entre pH y disponibilidad de nutrientes.

fluencia sobre la solubilidad de tales nutrientes. La mayoría de nutrientes son más solubles cuanto más bajo es el pH, y se liberan con mayor facilidad en condiciones de acidez. Sin embargo, si el pH es demasiado bajo, las pérdidas de nutrientes por lavado pueden aumentar y decrecer por ello su disponibilidad para las plantas. También unas condiciones demasiado favorables para la solubilidad de los nutrientes pueden provocar la aparición de toxicidades.

La mayoría de los nutrientes tienen una máxima disponibilidad para las plantas en suelos débilmente ácidos, Fig. 7.6. Esto, junto con los efectos de la acidez excesiva sobre los microorganismos edáficos, aconseja que el control del pH sea para situarlo en valores neutros o débilmente ácidos.

En la práctica, la escasez de algún nutriente puede ser suplementada con la adición de fertilizantes. Las deficiencias más generalizadas en graveras, cuando se utiliza como material de aporte para la revegetación las capas subsuperficiales del suelo, están en relación con el fósforo, potasio, magnesio, nitrógeno y calcio.

## 3. MANEJO Y UTILIZACION DEL SUELO DE COBERTERA

### 3.1. Introducción

El suelo es un recurso muy valioso, que debe ser retirado y almacenado de forma conveniente durante la fase de preparación del terreno, para después ser utilizado como sustrato para la revegetación.

Las operaciones básicas que incluye el manejo del suelo son:

1. **Retirada de la cobertera.** Esta operación consiste en la retirada selectiva de los distintos horizontes del suelo, de forma que sea posible reconstruir en fases posteriores una secuencia similar de horizontes a la que existía antes de comenzar la explotación.

2. **Almacenamiento del suelo retirado de forma adecuada para prevenir su deterioro.**

3. **Extendido** por horizontes del suelo acopiado en las zonas a restaurar.

Para conseguir una mayor rentabilidad y efectividad en la restauración debe existir una planificación "a priori", que asegure que la retirada y extendido del suelo de cobertera se va a realizar de forma simultánea y progresiva con los trabajos de explotación, y que elimine interferencias entre ambos procesos (extracción y restauración).

### 3.2. Retirada

Durante esta operación es muy importante observar las siguientes recomendaciones:

- Identificar en la fase previa de Estudio del Medio la profundidad de cada uno de los horizontes del suelo, Fig. 7.8. Existen diversas técnicas de determinación: sondeos, calicatas, pocillos, etc. En la práctica, es sencillo determinar "de visu" la separación entre el horizonte orgánico superior y el subsuelo, por la diferencia de color que existe entre ellos. Es más difícil determinar la separación entre el subsuelo y el recubrimiento de estéril por su similitud de color y textura. Pueden ser necesarios análisis para decidir la separación entre capas.
- Desmonte de la cubierta vegetal de la zona antes de retirar el suelo. La descomposición de las plantas en los montones de suelo acopiado puede causar un deterioro grave de su calidad.

El desbroce de vegetación debe guardar un orden y el tiempo de exposición del suelo desnudo a los agentes erosivos debe ser mínimo para reducir al máximo el riesgo de erosión del suelo. El terreno no debe ser deforestado a no ser que sea absolutamente necesario.

- Es conveniente recoger semillas de las plantas que se van a retirar para utilizarlas luego en el proceso de revegetación. Este procedimiento asegura que las especies utilizadas en la revegetación están perfectamente adaptadas a las condiciones de suelo y clima del área.
- Retirar por separado cada una de las capas identificadas para que no se diluyan las cualidades de la más fértil al mezclarse con otras de peores características.
- Los trabajos de retirada deben efectuarse con cuidado, especialmente con la capa de tierra vegetal, para evitar su deterioro por compactación y, de esta manera, preservar la estructura del suelo, evitar la muerte de microorganismos aerobios, el riesgo de contaminación por sustancias ácidas o tóxicas, la alteración del ciclo normal de los compuestos nitrogenados, el riesgo de erosión eólica e hídrica, etc. Por ello, debe restringirse el paso de maquinaria por la zona de actuación.

La mayoría de los daños al suelo, durante el desarrollo de esta operación, son debidos a que se trabaja en condiciones de excesiva humedad. Para minimizar el riesgo de alteración del suelo por esta circunstancia es conveniente restringir las operaciones de manejo del

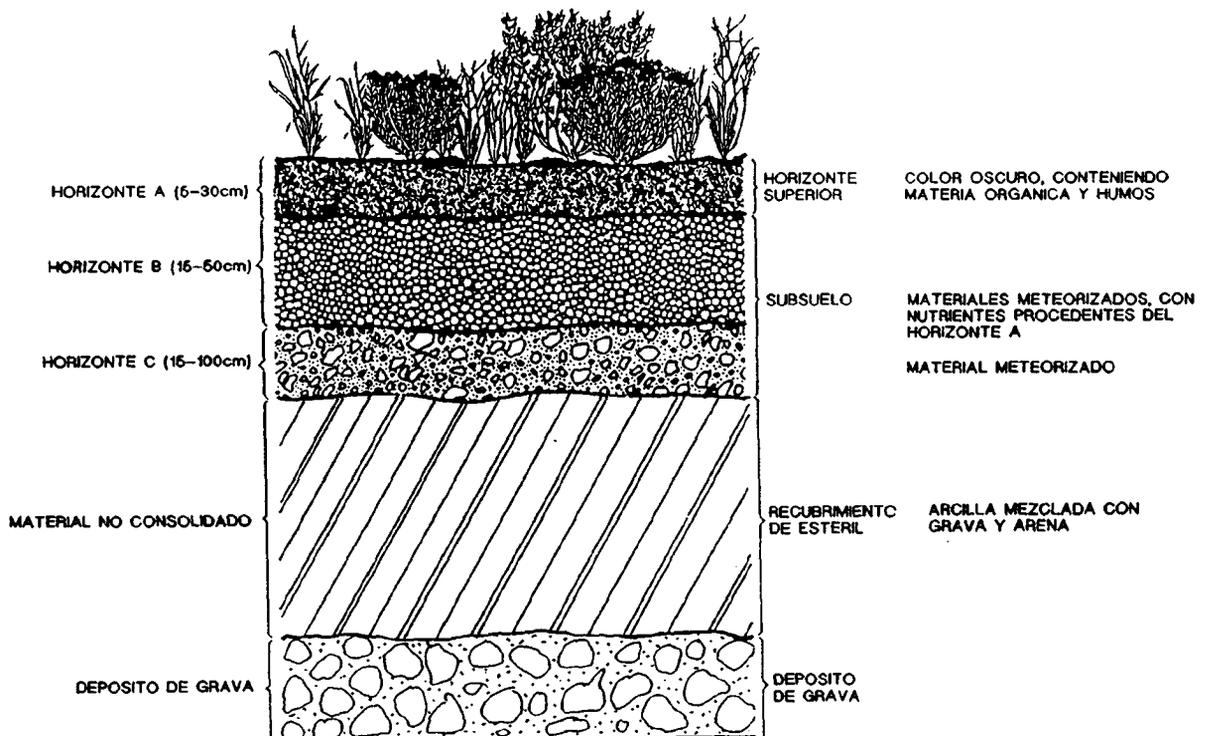


Figura 7.8. Perfil del suelo.

suelo a las épocas secas del año, y suspenderlas durante y después de un periodo de precipitación fuerte.

Para decidir cuándo no existe riesgo de deterioro y el suelo tiene un nivel de humedad óptimo para su manejo existen diferentes métodos:

- Restringir la retirada y manejo del suelo a aquellos periodos en que esté seco y friable. Se considera que el suelo cumple estas condiciones cuando se desmenuza entre los dedos al ejercer sobre él una presión relativamente leve.
- Utilizar el concepto de límite de plasticidad. Una prueba de campo para determinar la plasticidad del suelo consiste en amasar una porción de suelo entre los dedos para modelar un cilindro de 3 mm de diámetro aproximadamente. Si es fácil formarlo, el suelo está húmedo y semifluido, y no es aconsejable su manejo. Si el suelo se desmenuza, significa que no ha alcanzado su límite plástico, y puede procederse a operar con él sin riesgo de deterioro, Fig. 7.9.

El horizonte superficial y el subsuelo deben comprobarse por separado.

- Utilizando criterios de precipitación, Tabla 7.6. Es necesario señalar que estos criterios no son universales y que esta tabla sólo pretende ser una orientación.

Durante el transporte hacia la zona de acopio el riesgo de deterioro es mínimo. La consideración principal durante esta operación es planificar las rutas de los camiones que trasladan el suelo de forma que no circulen sobre las capas de suelo ya reinstaladas, Fig. 7.10.

### 3.3. Almacenamiento

En cuanto al almacenamiento de la tierra vegetal y demás capas, hay que señalar las siguientes recomendaciones:

- Depositar los materiales retirados en capas delgadas, evitando la formación de grandes montones ( $h < 3$  m). La altura de los mismos, así como el periodo de tiempo que pueden permanecer acopiados, dependen de la textura del terreno, Tabla 7.7.



Figura 7.9 Prueba de campo para determinar la humedad del suelo.

TABLA 7.6. CRITERIOS DE PRECIPITACION

PRECIPITACION	MOTOTRAILLAS	PALAS Y CAMIONES
Para lecturas dadas a las 7,30 h.		
0-3 mm	Puede ser ignorado.	—
0-4 mm	—	Puede ser ignorado.
3,1 - 5 mm	Las operaciones pueden comenzar a mediodía.	—
4,0 - 7 mm	—	Las operaciones pueden comenzar a mediodía.
5,0 - 10 mm	Las operaciones pueden comenzar al día siguiente.	—
7,0 - 10 mm	—	Las operaciones pueden comenzar al día siguiente.
10,0 o más	Las operaciones pueden comenzar después de 48 h.	—
10,0 - 15,0 mm	—	Las operaciones pueden comenzar a mediodía del día siguiente.
15,0 o más	—	Las operaciones pueden comenzar después de 48 h.
Para lecturas hechas a las 18,00 h.		
0-4 mm	Puede ser ignorado.	—
0-5 mm	—	Puede ser ignorado.
4,0 - 10 mm	Las operaciones pueden comenzar a mediodía del día siguiente.	—
5,0 - 12 mm	—	Las operaciones pueden comenzar a mediodía del día siguiente.
10,0 o más	Las operaciones pueden comenzar después de 48 h.	—
12,0 o más	—	Las operaciones pueden comenzar después de 48 h.

Fuente: RMC (1.987).

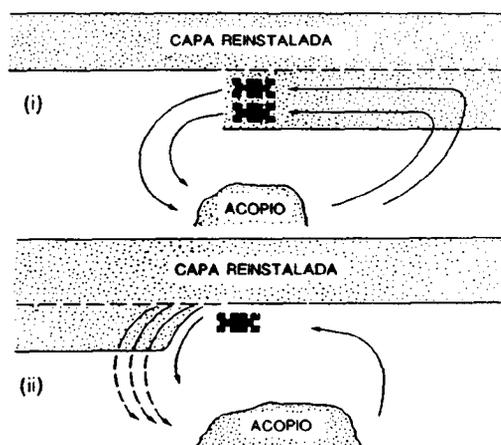


Figura 7.10. Restitución de suelos; (i) Tráfico indiscriminado sobre superficies finales; (ii) Sistema de capas, la maquinaria no circula sobre las superficies finales.

TABLA 7.7. ALTURA DEL ACOPIO EN FUNCION DE LA TEXTURA

	ALTURA DEL MONTON (m)	PERIODO DE TIEMPO (meses)
Suelos ligeramente arenosos	2,4	12
Suelos medianamente franco arcillosos	1,4	12
Suelos franco arcillosos	1,2	9
Suelos muy arcillosos	0,9	6

- Sólo deben apilarse cuando sea imposible una recuperación progresiva del terreno que permita transferirlas continuamente desde su posición original a su nuevo emplazamiento, Fig. 7.11. Este tipo de restauración progresiva es beneficiosa,

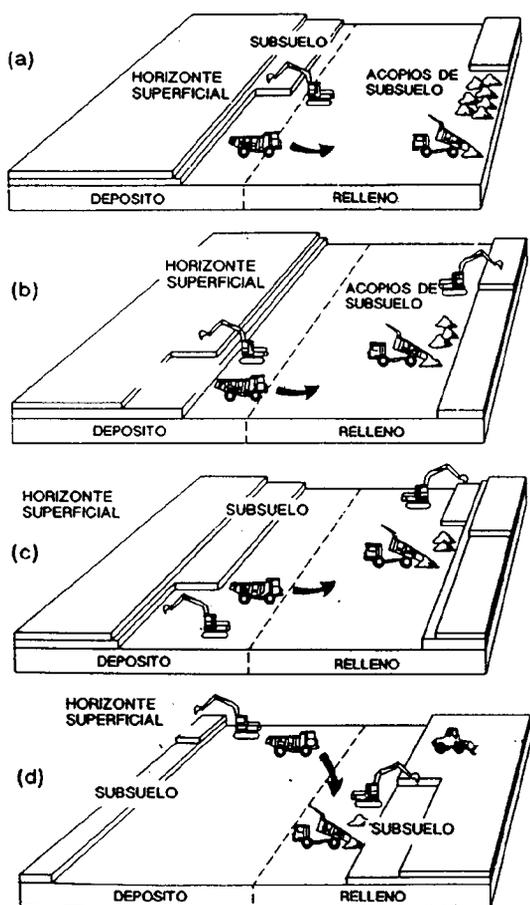


Figura 7.11. Sistema de pala y camión en la restauración progresiva y simultánea de suelos.

tanto desde un punto de vista económico como biológico, ya que por un lado evita el incremento de coste que supone mover dos veces el mismo material y, por otro, reduce el riesgo de deterioro de sus características edáficas.

- El movimiento directo del suelo tiene el inconveniente de que necesita de una planificación mucho más cuidadosa, ya que puede interferir con otras operaciones.
- El horizonte orgánico, el subsuelo y el estéril deben apilarse por separado para prevenir posibles contaminaciones de unos con otros.
- Los materiales deben ser protegidos del viento y la erosión hídrica, de la compactación y de contaminantes que alteren su capacidad para sustentar la vegetación. Los suelos ligeramente arenosos sufrirán menos peligro en el apilamiento que los suelos arcillosos, ya que los primeros son menos compactables.
- Estudiar posibles lugares donde ubicar el acopio y proceder a su selección. Las zonas de acopio no deben situarse en áreas cercanas a árboles, setos, vallas o cursos de agua, los cuales podrían ser perjudiciales, y también deben estar alejados de la zona de extracción, donde pueden producirse pérdidas de suelo por accidente durante el trabajo de la maquinaria, o ser contaminados por aceites y otros hidrocarburos.
- Si la zona de acopio se ubica en una terraza baja deben tenerse en cuenta la altura y dirección de las crecidas periódicas, para evitar pérdidas de suelo por arrastre y el que los montones de tierra constituyan un obstáculo para la circulación normal del río en tiempo de crecida.
- No debe permitirse el tráfico de maquinaria sobre los acopios ya construidos.
- Si los montones acopiados no son utilizados para la reconstrucción del suelo en un período corto de tiempo (menos de un año) es aconsejable sembrar dicha superficie con una mezcla de semillas, mayoritariamente de leguminosas, y añadir mulch para mantener la estructura del suelo en los montones, evitar la reducción del contenido de oxígeno y cambios adversos en la fertilidad, y protegerlos contra la erosión hídrica y eólica.

### 3.4. Extendido

Una vez que vaya a procederse a la recuperación del terreno, las capas del suelo se extenderán de nuevo, sobre el terreno seco, por orden de calidades, hasta obtener un perfil similar al original. Se recomienda lo siguiente:

- Cuando el suelo ha estado almacenado durante largo tiempo, es necesario realizar una serie de análisis para determinar sus características y su volumen, antes de restituirlo, ya que es muy común que durante el almacenamiento los suelos sufran deterioro: contaminación, erosión (pérdida de suelo), etcétera.
- Si no hay un volumen suficiente de suelo original para cubrir las necesidades de la restauración, existen tres alternativas:

- En el caso de las graveras húmedas, utilizar el suelo retirado de los huecos que luego serán inundados para restaurar otras áreas que requieran aporte de suelo para su recuperación. Es decir, transferir el suelo original de unas zonas a otras dentro del área de actuación.

- Usar materiales estériles y de desecho procedentes de la excavación o del tratamiento de los áridos. En algunos casos, el material situado por debajo del depósito de grava puede resultar un sustituto válido del suelo.

Los lodos generados por el lavado de los áridos también pueden utilizarse en lugar del suelo original, una vez que se han secado lo suficiente para poder ser manejados adecuadamente, y se les haya dotado de unas cualidades edáficas mínimas mediante enmiendas.

- Emplear suelos de préstamo con un estándar de calidad razonable. En el caso de los suelos de préstamo la dificultad estriba en el control de calidad de los suelos importados, ya que suelen llevar incorporadas semillas alóctonas que pueden competir de forma negativa con las semillas de la vegetación que se pretende implantar, interfiriendo en su desarrollo.

Es posible utilizar suelos residuales contaminados con residuos inertes, procedentes de vertederos, escombreras, etc. Estos suelos se apilan por separado y, antes de proceder a su extendido, es preciso cribarlos para eliminar todos los restos de vidrios, ladrillos, neumáticos, plásticos, etc., que puedan contener. Puede ser necesario aplicar algún tipo de enmienda que mejore su estructura o su fertilidad.

- El extendido de la tierra debe realizarse sobre el terreno ya remodelado, con maquinaria que ocasione una mínima compactación.

Para proporcionar un buen contacto entre las sucesivas capas de material superficial se aconseja escarificar la superficie de cada capa (5-15 cm de profundidad) antes de cubrirla. Si el material sobre el que se va a extender estuviera compactado habría que realizar un escarificado más profundo (50-80 cm). Esto previene la laminación en capas, mejora la infiltración y el movimiento del agua, evita el deslizamiento de la tierra extendida, y facilita la penetración de las raíces.

- El material restituido deberá adoptar una morfología similar a la original. El extendido de cada capa debe efectuarse de forma que se consiga un espesor aproximadamente uniforme en consonancia con el uso posterior del terreno, la pendiente y la red de drenaje.
- Debe evitarse el paso de maquinaria pesada sobre el material ya extendido.
- Una vez reconstruido el suelo, pueden tener lugar procesos de erosión hídrica y eólica. Este riesgo depende de la estación del año, la longitud del talud, la pendiente, la erosionabilidad del material del suelo, y del tiempo que transcurra hasta que se establezca una cubierta permanente de vegetación. Para controlar esta erosión pueden emplearse mulches y estabilizadores del suelo, cortavientos, cunetas, etc.
- Aportar al área un espesor de suelo suficiente. La

profundidad de suelo requerida varía en función del uso futuro que se pretende dar al área rehabilitada, Tablas 7.8 y 7.9, y el tipo de plantas que se vayan a utilizar.

TABLA 7.8. PROFUNDIDAD DE SUELO PARA DISTINTOS USOS. GRAVERAS SECAS

USO	PROFUNDIDAD DE SUELO REQUERIDA (HORIZONTE ORGÁNICO Y SUBSUELO)
AGRICOLA (arable)	No menor de 1 m, y preferiblemente 1,5 m, para asegurar un desarrollo correcto de la vegetación y permitir la instalación de un sistema de drenaje.
PASTIZAL	Al menos 50 cm. Mayor profundidad si se requiere la instalación de un sistema de drenaje.
FORESTAL, CONSERVACION, RECREO	Los requerimientos de suelo varían en función de las plantas seleccionadas y cuestiones de diseño.

TABLA 7.9. PROFUNDIDAD DE SUELO REQUERIDA EN DISTINTAS ZONAS DE UNA GRAVERA HUMEDA

ZONA	PROFUNDIDAD Y TIPO DE SUELO
ORILLAS, ZONAS POCO PROFUNDAS Y ZONAS INUNDABLES	30 cm del horizonte orgánico superficial.
AREAS MÁS PROFUNDAS	15 cm del horizonte orgánico superficial.
RIBERAS: ZONAS DE REFUGIO	20-30 cm del horizonte orgánico superficial.
AREAS TERRESTRES NO INUNDABLES	Capa somera del horizonte superficial o una mezcla de suelo orgánico y subsuelo.

## 4. PREPARACION DEL SUSTRATO

### 4.1. Introducción

Una vez que se ha restituido el suelo pueden aparecer ciertos problemas que es preciso resolver mediante la aplicación de técnicas adecuadas.

En la Tabla 7.10 se han resumido los problemas más comunes que presentan estas superficies y sus técnicas de tratamiento.

Las técnicas básicas de preparación del sustrato son:

- Descompactación.
- Drenajes.
- Enmiendas o mejoras edáficas.

TABLA 7.10. PROBLEMAS DE LOS TERRENOS ALTERADOS Y SU TRATAMIENTO

PROBLEMAS DEL SUSTRATO	TRATAMIENTO INMEDIATO
<p><b>FISICOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Exceso de partículas o materiales gruesos</li> <li>• Baja capacidad de retención</li> <li>• Exceso de afloramientos rocosos</li> <li>• Excesiva pedregosidad superficial</li> <li>• Alta compactación</li> <li>• Demasiado suelto</li> <li>• Inestabilidad/erosión</li> <li>• Excesiva humedad (encharcamientos)</li> <li>• Demasiado seco</li> </ul> <p><b>NUTRICION</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Carencia de nitrógeno</li> <li>• Carencia de otros macronutrientes</li> <li>• Carencia de micronutrientes</li> </ul> <p><b>TOXICIDAD</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• pH demasiado alto</li> <li>• pH demasiado bajo</li> <li>• Exceso de metales pesados</li> <li>• Salinidad</li> </ul> <p><b>OTROS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Exceso de polvo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aporte de elementos finos.</li> <li>• Aporte de materia orgánica.</li> <li>• Aporte de materia orgánica</li> <li>• Sembrar sp. con raíces profundas en las escombreras capaces de llegar a la zona donde se acumula el H<sub>2</sub>O.</li> <li>• Aporte de elementos finos y materia orgánica en las zonas de menor pendiente.</li> <li>• Aporte de elementos finos.</li> <li>• Aporte de materia orgánica.</li> <li>• Ripar, escarificar o subsolar.</li> <li>• Añadir materia orgánica.</li> <li>• Compactar.</li> <li>• Aporte de elementos finos.</li> <li>• Preparación de los hoyos.</li> <li>• Medidas estructurales (remodelado, drenajes).</li> <li>• Modificación de la pendiente.</li> <li>• Empleo de mulches o estabilizadores.</li> <li>• Obras de drenaje.</li> <li>• Modificar la pendiente.</li> <li>• Empleo de mulch orgánico (riego).</li> <li>• Abonado.</li> <li>• Siembras de especies leguminosas.</li> <li>• Abonado, enmiendas caliza.</li> <li>• Abonado.</li> <li>• Añadir residuos con piritas o materia orgánica.</li> <li>• Implantar vegetación resistente.</li> <li>• Enmienda caliza.</li> <li>• Implantar vegetación tolerante.</li> <li>• Empleo de mulch orgánico.</li> <li>• Cubierta inerte o cultivos tolerantes.</li> <li>• Meteorización. Riego.</li> <li>• Especies o cultivos tolerantes.</li> <li>• Riegos periódicos.</li> </ul>

#### 4.2. Tratamiento de la compactación. Descompactación

El laboreo o manipulación a que es sometido un suelo en su reconstrucción durante la preparación del terreno anteriormente descrita, puede ocasionar una excesiva compactación del suelo, especialmente cuando los materiales contienen altas cantidades de arcilla y limo, como consecuencia del paso repetido de maquinaria sobre las capas de tierra extendidas sobre el terreno ya remodelado.

Los suelos compactados experimentan un aumento de su densidad, que restringe el crecimiento de las raíces

ces y reduce el movimiento del aire y agua dentro de ellos. En la Tabla 7.11 figura una lista, a modo de guía, que muestra las densidades del suelo que son limitantes en el crecimiento de las plantas para suelos con diferentes texturas. Normalmente, el crecimiento de las raíces está limitado cuando la densidad del suelo llega a ser mayor de 1,5 g/cm<sup>3</sup> en suelos de texturas finas (arcillas y limos). En suelos de textura gruesa (arenosos) las densidades por encima de 1,7 g/cm<sup>3</sup> son las restrictivas.

El objetivo de la reconstrucción del suelo en la recuperación es crear horizontes que tengan una densidad equivalente a la que poseen capas similares en suelos no perturbados por las actividades mineras. Para ello,

TABLA 7.11. DENSIDADES DEL SUELO LIMITANTES Y DISPONIBILIDAD DE AGUA PARA SUELOS DE DIFERENTES TEXTURAS

TEXTURA DEL SUELO	DENSIDAD DEL SUELO LIMITANTE (g/cm <sup>3</sup> )	DISPONIBILIDAD DEL AGUA (cm/cm profundidad del suelo)
Franca arcillosa limosa (56-75% de arcilla)	1,30	0,26
Franca	1,39	0,25
Muy fina franco arenosa	1,35	0,22
Fina franco arenosa	1,35	0,20
Franco arenosa	1,40	0,17
Arenosa franca	1,45	0,12
Arena fina	1,45	0,10
Arena	1,50	0,07
Arena gruesa	1,60	0,06

Fuente: LYLE (1987).

será necesario descompactar el terreno antes de proceder a instaurar la vegetación.

La compactación raramente supone un problema en los primeros 20 a 30 cm de suelo, ya que las capas superiores extendidas tienen un contenido más alto en materia orgánica que les hace más resistentes a la compactación.

El problema suele estar en las capas inferiores de subsuelo y/o estéril, por debajo de los 45 cm. A estas profundidades es imposible descompactar utilizando maquinaria convencional, por lo que el problema debe solucionarse operando según van siendo depositadas las distintas capas de suelo. Así se descompactará la capa inferior de subsuelo antes de extender el suelo vegetal, y se procederá a descompactar de nuevo una vez que éste se ha extendido.

Donde se ha descompactado con subsoladores antes de extender el suelo vegetal, la superficie de la capa suele quedar poco uniforme, por lo que es aconsejable nivelar la superficie para minimizar la pérdida de suelo vegetal entre las depresiones y huecos de la superficie de asiento.

Existen tres maneras de descompactar el terreno, dependientes de la profundidad a la que se encuentren las capas compactadas: escarificado, subsolado y ripado. Las tres aumentan la capacidad de infiltración del agua, reducen la densidad del suelo y permiten una mayor penetración de las raíces, con lo que aumenta sustancialmente el crecimiento de las mismas, Tabla 7.12.

El ripper es muy efectivo para eliminar grandes obstrucciones, tales como troncos de árboles o grandes piedras, pero es relativamente ineficaz descompactando, Fig. 7.12.

TABLA 7.12

OPERACION	PROFUNDIDAD
Escarificado	10-35 cm 35 cm-1 m
Ripado y subsolado	≈ 50 cm material con textura arcillosa ≈ 75 cm material con textura arenosa

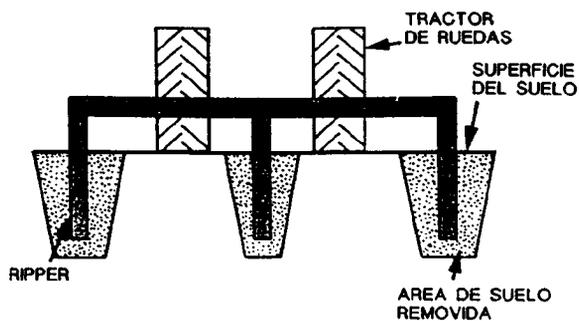


Figura 7.12. Ripado.

La eficacia del subsolador, Fig. 7.13, puede aumentarse añadiendo una vertedera que voltee el terreno y dos barras verticales, Fig. 7.14.

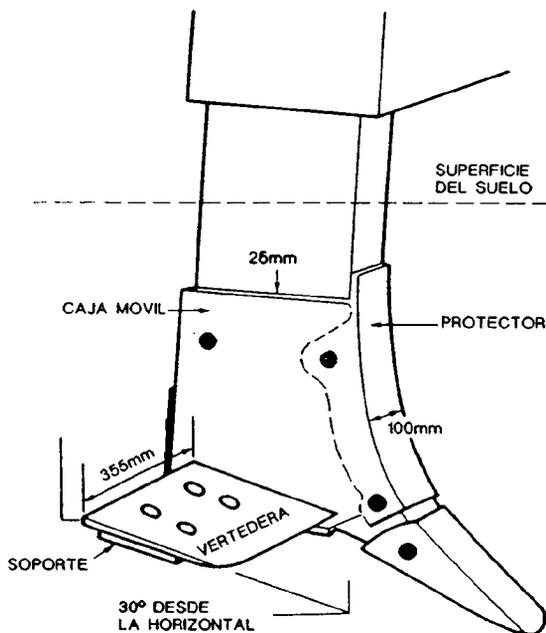


Figura 7.13. Subsolador con vertedera.

Esta operación debe realizarse cuando el suelo está relativamente seco. Si se realiza con el suelo húmedo, las máquinas no levantan y desmenuzan el suelo, sino que forman unos surcos, por los que se canaliza la escorrentía arrastrando el suelo.

Es conveniente repetir esta operación varias veces a lo largo de los primeros cinco años del período de cuidados posteriores.

### 4.3. Mejora del drenaje

El que el drenaje sea deficiente en las zonas restauradas suele ser uno de los problemas más comunes. Si la totalidad del perfil del suelo es impermeable o está

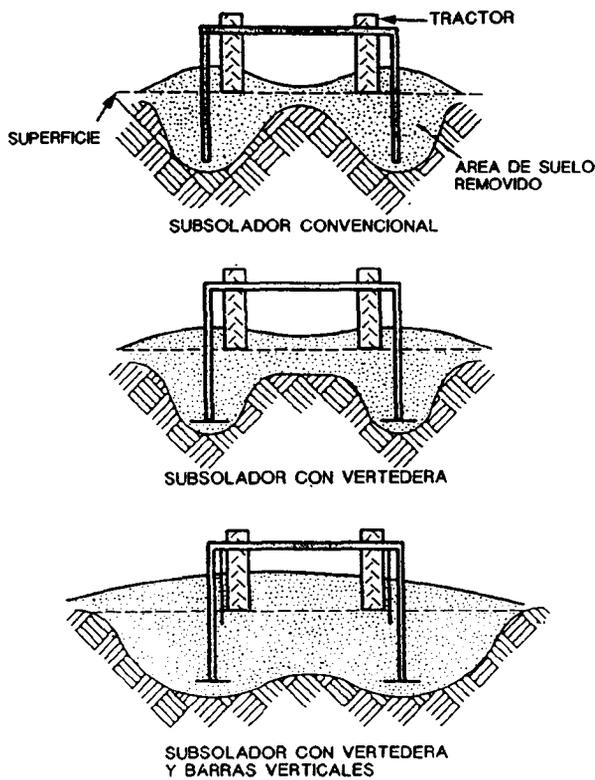


Figura 7.14. Efectividad de distintos tipos de subsolador.

compactado en exceso, el subsolado, o cualquier otra técnica de descompactación, no es suficiente para solucionar el problema. Al descompactar el terreno el agua percola rápidamente hasta una cierta profundidad, pero después se mueve lateralmente aflorando en la parte externa de la zona restaurada.

La solución más común es drenar el agua fuera del área restaurada mediante tuberías de plástico perforadas, Fig. 7.15, que recogen el agua y la transportan hacia los puntos de descarga previstos: ríos, diques, etc.

Este sistema es también aplicable para controlar el nivel de la capa freática o cambiar líneas de drenaje inadecuadas, Fig. 7.16.

Hay ciertas recomendaciones y criterios generales que deben tenerse en cuenta al diseñar un sistema de drenaje:

- La caída o pendiente del sistema debe estar bien calculada.
- El drenaje es considerablemente más efectivo si los tubos van insertos en un relleno de material permeable, por ejemplo gravas de entre 5 y 50 mm de diámetro.
- Las tuberías de plástico son preferibles a los enlosados de teja, ya que éstas son más inestables y se desplazan fácilmente al pasar la maquinaria o durante el laboreo del suelo.
- La distancia entre los tubos se determina en función del tipo de suelo y la profundidad de drenaje. Generalmente se disponen con una separación de entre 20 y 60 m.
- Debe darse una pendiente suficiente al terreno res-

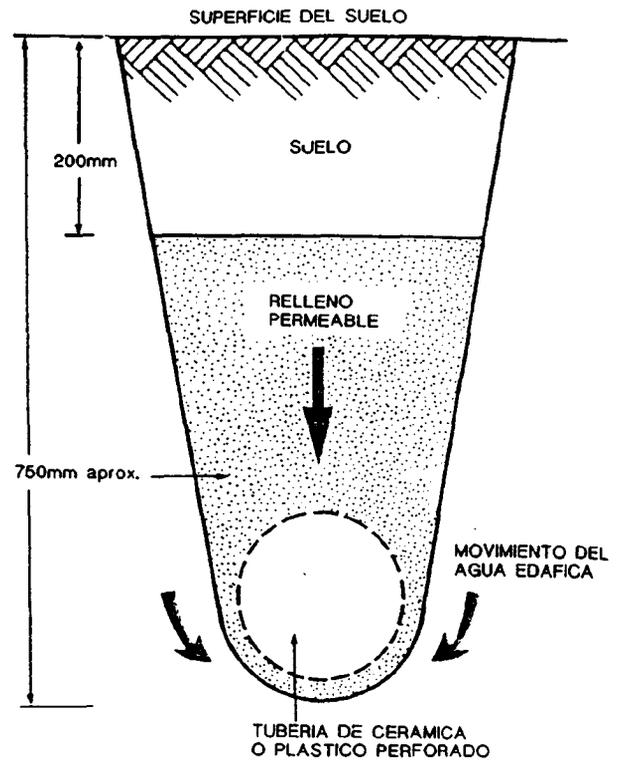
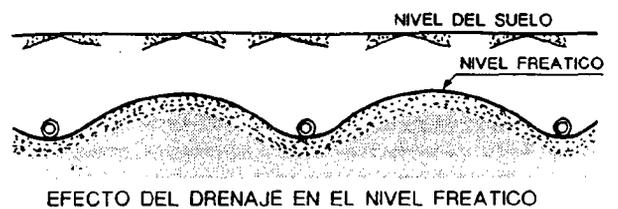
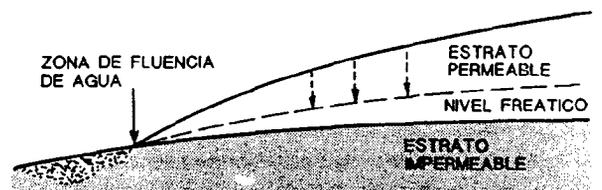


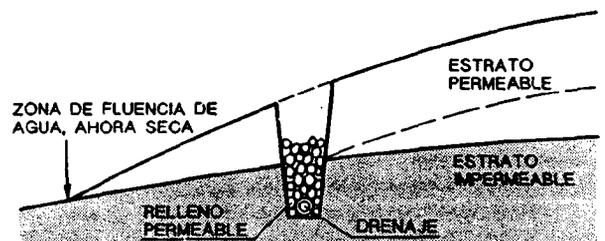
Figura 7.15. Sección transversal de una tubería de drenaje.



EFFECTO DEL DRENAJE EN EL NIVEL FREATICO



SECCION SIMPLIFICADA QUE ILUSTRAS EL EFECTO DE SURGENCIA DE UNA LINEA DE DRENAJE



SECCION TRANSVERSAL DESPUES DE LA INSTALACION DE UN DRENAJE DE INTERCEPCION

Figura 7.16. Sección transversal después de la instalación de un drenaje de intercepción.

tituido para facilitar el movimiento lateral del agua (1:100 como mínimo). Los drenajes laterales se colocarán perpendicularmente a la dirección de la pendiente.

- El diámetro idóneo para los tubos de drenaje lateral oscila entre 60 y 80 mm, aunque los drenajes principales deben tener un diámetro mayor.
- El sistema de drenaje debe quedar instalado antes del principio del otoño, para evitar daños al suelo al comenzar la época de lluvias.
- Después de la instalación del sistema de drenaje debe descompactarse el terreno.

Es importante instalar el sistema de drenaje en el momento adecuado. Si se construye demasiado pronto, se corre el riesgo de que las tuberías queden cegadas o se muevan al asentarse el material de relleno. Pero si se construye demasiado tarde, el suelo puede sufrir daños por compactación al saturarse de agua por falta de drenaje.

Cuando para el relleno del hueco se han utilizado residuos biodegradables, es conveniente esperar hasta el segundo verano después de haber concluido el relleno y aportado el suelo, ya que durante este período de tiempo es cuando se produce la degradación y asentamiento de los materiales, y el volumen ocupado por el relleno disminuye.

Si se ha rellenado con materiales inertes, el sistema de drenaje puede instalarse inmediatamente, ya que no se producen casi variaciones de volumen.

En algunos casos el sistema de drenaje debe ser instalado durante las operaciones de aporte y extendido del suelo para evitar deterioros. Es el caso de cuando se utilizan suelos de muy alta calidad sobre un sustrato arcilloso, poco permeable.

#### 4.4. Enmiendas o mejoras edáficas

Si el suelo que se va a utilizar como sustrato para la revegetación no presenta unas cualidades edáficas adecuadas, puede mejorarse mediante la adición de diversos compuestos y materiales.

Las enmiendas o mejoras edáficas pueden ser incorporadas (mezcladas) o permanecer en la superficie, dependiendo de sus propiedades y de la cantidad. Si el terreno tiene una buena textura o si el sustrato es pedregoso o rocoso, entonces deberá permanecer en la superficie, en el resto de los casos se incorporarán, lo cual supone una mayor efectividad y una mejora del suelo en profundidad.

Los criterios a tener en cuenta para determinar la clase y cantidad de enmiendas a utilizar son los siguientes:

- Disponibilidad de nutrientes en las escombreras o suelos.
- Requerimientos de las especies vegetales a instaurar.
- Efecto de los fertilizantes en las propiedades del suelo.
- Coste.
- Requerimientos para refertilización y disponibilidad de agua.
- Uso a que vaya a destinarse la superficie a recupe-

rar, de manera que un uso agrícola tendrá mayores exigencias que un uso forestal o de hábitat para la fauna.

Las actuaciones más inmediatas han de dirigirse a proporcionar materia orgánica y elementos nutrientes, ya que si se logra el desarrollo de una cubierta vegetal, que pueda irse incorporando al ciclo edáfico, se comenzará lentamente a desarrollar un suelo cada vez más evolucionado.

El resto de las actuaciones dependerán de la existencia o no de problemas de acidez/alcalinidad y toxicidad. Por tanto, las actuaciones irán encaminadas a efectuar:

- Mejoras de acidez o alcalinidad.
- Mejoras de toxicidad.

#### 4.4.1. Fertilización

Para ello, es aconsejable el empleo de diferentes enmiendas edáficas cuyas aportaciones pueden efectuarse de dos maneras:

### A) FERTILIZACION INDIRECTA. FERTILIZACION ORGANICA O ENMIENDAS ORGANICAS

La materia orgánica supone una excelente ayuda y tiene efectos importantes en las características físicas y químicas de las superficies a recuperar. La materia orgánica contiene nutrientes, mejora la capacidad de retención de agua y la capacidad de cambio (en suelos ligeramente arenosos o pedregosos), mejora la estabilidad superficial, la penetración del agua por alteración de la estructura, disminuye la escorrentía superficial y mejora la germinación y la emergencia de la siembra.

La materia orgánica puede ser proporcionada por una amplia variedad de fuentes, además de la suministrada por la tierra vegetal. La elección del sistema dependerá principalmente del que se disponga en cantidades suficientes en las proximidades. Deberá ser incorporada en la superficie a recuperar a una profundidad de 15 cm o más.

Algunas de estas fuentes de materia orgánica son:

- Abono procedente de granjas: tiende a ser variable y puede tener alta relación C/N. Normalmente contiene gérmenes nocivos, como ocurre con el abono del cerdo, que puede presentar altos niveles de cobre, o con el de pollo, que puede llevar amonio. Es posible que causen contaminación, por lo que se requiere un estudio minucioso antes de su aplicación.
- Residuos de los hongos. Son de buena calidad y con alto contenido en cal.
- Residuos domésticos. Es una excelente fuente de materia orgánica y de algunos nutrientes (N,P). Pueden contener apreciables cantidades de elementos de metales pesados (Zn, Cu, Ni) y de gérmenes nocivos. Es necesario someterlos a análisis antes de aplicarlos. Su utilización en invierno debe-

rá evitarse, ya que el N es probable que pase a nitrato en el suelo y pueda ser liberado por lixiviación.

- Residuos procedentes del procesado de madera, alta relación C/N, la corteza es bastante buena para impartir textura a los suelos.
- Turba, es muy variable, pero básicamente hay dos tipos: la turba alta, llamada musgo de pantano perteneciente al género Sphagnum, y la turba baja, formada predominantemente por especies del género Care. Este último tiene un alto contenido de nutrientes pero menor capacidad de retención del agua y es más compacta. El musgo de pantano es más esponjoso, no posee alto contenido de nutrientes, aunque es excelente para mejorar la capacidad de retención en suelos arenosos, y la permeabilidad de suelos pesados. La turba es limpia y fácil de manejar.
- También puede utilizarse el mulch (mulch de paja, de heno, etc.) para suministrar materia orgánica y nutrientes, fundamentalmente en aquellas superficies con fuertes pendientes que presenten inestabilidad y riesgo de erosión.

## B) FERTILIZACION DIRECTA. FERTILIZANTES INORGANICOS

Los fertilizantes inorgánicos constituyen una manera fácil y barata de suministrar los nutrientes. Son un componente esencial para que la restauración tenga éxito, aunque es aconsejable su empleo junto con el aporte de materia orgánica, ya que de esta manera aumenta la capacidad de retención de nutrientes y estimula el ciclo de nutrientes.

El **nitrógeno** es uno de los elementos nutritivos fundamentales para el desarrollo de la vegetación. Los fertilizantes nitrogenados deben añadirse más a menudo que cualquier otro fertilizante que contenga otros nutrientes, y de manera que la planta pueda disponer de nitrógeno a lo largo de todo su ciclo vegetativo. Al comienzo de la siembra sería conveniente añadir nitratos ( $\text{NO}_3$ ) (fácilmente lixiviables si la planta no los asimila rápidamente), para posteriormente ir añadiendo urea ( $\text{CO}(\text{NOH}_2)_2$ ), nitrato amónico ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) u otras formas de nitrógeno que contenga a éste en forma de catión amonio, de asimilación más lenta y que, por lo tanto, se pierda menos por percolación. En la Tabla 7.13 figuran algunos ejemplos de fertilizantes nitrogenados.

El **nitrógeno** también puede ser proporcionado a través de la siembra de leguminosas, que favorecen la presencia de nitrógeno en el suelo al tener la propiedad de fijar nitrógeno atmosférico en los nódulos de sus raíces, donde se alojan las bacterias pertenecientes al género Rhizobium, Fig. 7.17. Estos microorganismos son esenciales en el establecimiento de la vegetación en tierras afectadas por las labores mineras.

Sin embargo, es interesante destacar que ha sido comprobado el hecho de que las leguminosas pueden reducir la cantidad total del nitrógeno del suelo si dicha cantidad era alta antes del crecimiento de esas especies. Bajo estas circunstancias parece razonable añadir la menor cantidad de fertilizantes nitrogenados que sea posible mientras se desarrollan las leguminosas.

TABLA 7.13. EJEMPLOS DE FERTILIZANTES NITROGENADOS

PRODUCTO	DESCRIPCION
Nitrato amónico	Contiene = 34% N. A menudo se utiliza en fertilizantes compuestos. Debe almacenarse con cuidado, ya que coge humedad del aire y puede llegar a apelmazarse.
Urea	Contiene 46% N. Buena calidad de mantenimiento. Mezcla bien con superfosfato.
Sulfato de amonio	Contiene =21% N. Buena calidad de mantenimiento. Mezcla bien con superfosfato.
Cloruro amónico	Contiene 26% N.
Nitrato de sodio	Contiene 16% N, la base de sodio conserva la cal. Se usa como abono aplicado a la superficie.
Amoniaco	Contiene = 82% N. Debe ser aplicado al menos a 10 cm de profundidad para evitar la pérdida por volatilización.

Fuente: JOHNSON Y BRADSHAW (1982) y LYLE (1987).

Cada especie de leguminosas se asocia con una especie determinada de Rhizobium con el fin de producir la máxima cantidad de nitrógeno útil, Tabla 7.14. La bacteria que necesita la leguminosa sembrada en un determinado suelo puede estar ya presente en el suelo. Sin embargo, es más seguro inocular la semilla con la propia bacteria antes de la siembra. Estas bacterias están disponibles comercialmente y pueden ser adquiridas por la misma empresa que vende las semillas de leguminosas.

Las semillas de leguminosas se inoculan mojándolas ligeramente con agua, jarabe, látex, u otro adhesivo. Deben ser humedecidas lo suficiente como para permitir que la bacteria se fije a las semillas, pero no tanto que las semillas se lleguen a pegar entre sí.

El inóculo, que contiene la bacteria, se esparce sobre las semillas húmedas para que se mezclen. La ino

TABLA 7.14. ESPECIFICIDAD ENTRE LOS DISTINTOS TIPOS DE LEGUMINOSAS Y LAS DIFERENTES CLASES DE BACTERIAS RHIZOBIUM

BACTERIA (Nombre científico)	LEGUMINOSA (Nombre genérico)
R. meliloti	Medicago
R. meliloti	Melilotus
R. meliloti	Trigonella
R. trifolii	Trifolium
R. leguminosarum	Pisum
R. leguminosarum	Vicia
R. leguminosarum	Lathyrus
R. leguminosarum	Lens
R. phaseoli	Phaseolus
R. lupini	Lupinus
R. lupini	Ornithopus
R. japonicum	Glycine
R. japonicum	Arachis
R. japonicum	Phaseolus

Fuente: LYLE (1.987).

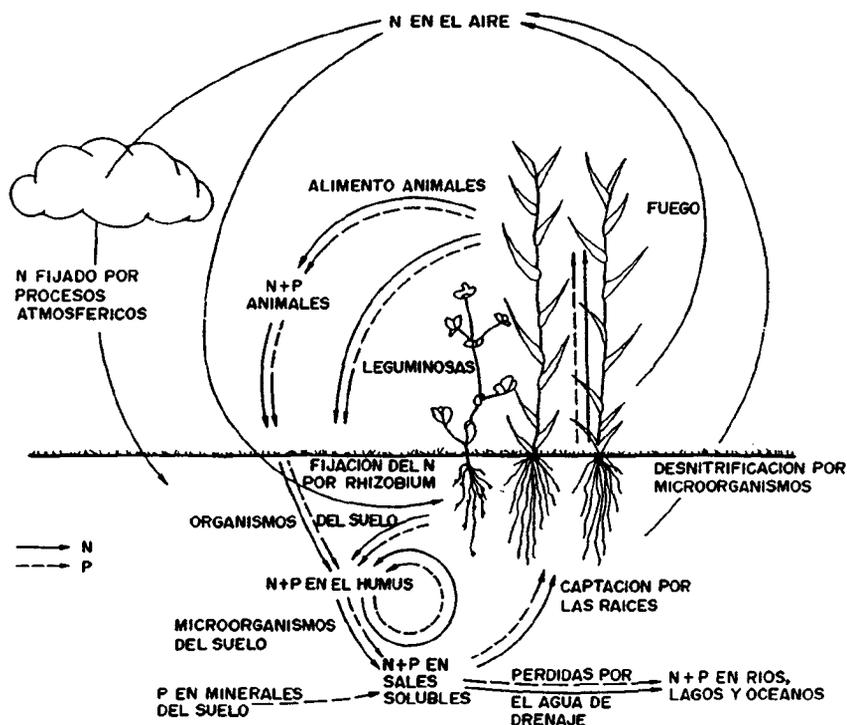


Figura 7.17. Ciclo de los nutrientes en el ecosistema planta/suelo (BRADSHAW y CHADWICK, 1980).

culación debe hacerse antes de que las semillas se siembren o al mismo tiempo. Esto es mejor, ya que la bacteria si no puede morir por desecación o por altas temperaturas.

Para retener la humedad del suelo y bajar la temperatura superficial se puede aplicar un mulch.

Cuando el pH es mayor de 5 puede ser fijado más cantidad de nitrógeno.

Mediante la sembradora o la siembra a voleo la semilla de leguminosa debe mezclarse con la bacteria y una pequeña cantidad de agua que las envuelva:

- Para 25 kg de semilla hay que añadir:
  - 2 litros de agua si la semilla es pequeña o 1/4 litro si la semilla es más grande.
  - 100 g de bacteria.

Si se hidrosiembra, el inóculo puede añadirse directamente a la suspensión semilla-agua, a razón de 100 g por 4.500 litros o 100 g por 1/4-1/6 ha.

Si las raíces de las leguminosas no tienen bacterias fijadoras de nitrógeno, las raíces obtienen el nitrógeno del suelo de igual modo a como lo hacen las plantas no leguminosas.

De forma similar a lo que ocurre con el Rhizobium sucede con las micorrizas. Estas son asociaciones simbióticas que surgen bajo condiciones naturales entre algunos hongos y las raíces de especies vegetales, favoreciendo la absorción de nutrientes.

En cuanto al **fósforo**, cabe decir que la cantidad del mismo disponible en el suelo es a menudo baja. Tiende a estar más disponible en suelos que tienen un pH de 6.

El fósforo no presenta pérdidas por lixiviación como

ocurre con el nitrógeno y con el potasio, de manera que la mayor parte del fósforo que no ha sido absorbido por las plantas (70 a 90%) forma compuestos insolubles de hierro o aluminio en suelos ácidos, y en suelos básicos da lugar a compuestos insolubles de fosfato de calcio. Esto significa que grandes cantidades de fósforo pueden acumularse en un suelo que es repetidamente fertilizado con fósforo. Por tanto, cuando estas acumulaciones ocurren no debería añadirse más fertilizantes de fósforo.

En la Tabla 7.15 se observan algunos de los fertilizantes de fósforo que se utilizan normalmente en la re-

TABLA 7.15. EJEMPLOS DE FERTILIZANTES DE FOSFORO

FERTILIZANTES	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	P (%)	SOLUBILIDAD EN AGUA (%)
— Mineral o roca fosfática (aplicado generalmente a largo plazo. Actúa rápidamente en suelos ácidos y en sitios húmedos)	27-28	12-18	Muy baja 0
— Superfosfato normal (actúa rápidamente en suelos con pH cercano al neutro)	18-20	9	Soluble 85
— Superfosfato triple	44-47	19	85
— Fosfato de amonio (monobásico)	48	21	92
— Fosfato de amonio (dibásico)	46	18	190
— Acido fosfórico	54	32	100

Fuente: WILLIAMSON et al. (1982) y LYLE (1987).

cuperación. El más insoluble de todos es la roca fosfática, y el más frecuente de utilización, el superfosfato.

El **potasio** es el tercer elemento importante en el suelo para el crecimiento de las plantas. Al igual que el fósforo, la mayor parte del potasio está en forma poco disponible para las plantas, aunque con el tiempo llega a estar disponible mediante un proceso muy lento.

Hay varias fuentes de fertilizantes de potasio; alguna de estas fuentes son las indicadas en la Tabla 7.16.

TABLA 7.16. EJEMPLOS DE FERTILIZANTES DE POTASIO

FERTILIZANTE	K <sub>2</sub> O (%)
Cloruro potásico	60
Sulfato potásico	50
Sulfato de magnesio potásico	22
Nitrato potásico	44
Carbonato potásico	57

Fuente: LYLE (1987).

En la práctica, para la adición de estos tres elementos nutritivos se utilizan los denominados abonos complejos o abonos NPK, que son mezclas de fertilizantes que contienen dichos elementos en las proporciones necesarias, Tabla 7.17.

TABLA 7.17. COMPUESTOS NPK

COMPUESTOS NPK	% COMPOSICION			OBSERVACIONES
	N	P205	K20	
17-17-17	17	17	17	Adecuados para la mayor parte de los usos. La mayoría son solubles y de rápida liberación.
20-10-10 (alto N)	20	10	10	
10-25-15	10	25	15	

Fuente: COPPIN and BRADSHAW (1,982).

TABLA 7.18. REQUERIMIENTOS DE CALIZA (t/ha) EN DIFERENTES TEXTURAS DEL SUELO PARA ELEVAR EL pH A 5 Y 6

pH SUELOS	ARENOSA, ARENOSA FRANCA		FRANCO ARENOSA		FRANCO LIMOSA, FRANCO ARCILLOSA, ARENOSA, FRANCA		FRANCO ARCILLOSA FRANCO ARCILLOSA, LIMOSA, ARCILLOSA		ALTO CONTENIDO EN MATERIA ORGANICA	
	5,5	6	5,5	6	5,5	6	5,5	6	5,5	6
	4	3,7	5	4,5	6	6,1	8,1	5	10	8,9
4,2	3,2	4,5	4,2	3,5	5,2	7,2	6,5	9	7,7	10,7
4,4	2,7	4	3,4	4,9	4,3	6,5	5,5	8	6,5	9,5
4,6	2,2	3,5	2,7	4,2	3,6	5,6	4,5	7	5,4	8,4
4,8	1,7	3	2,1	3,6	2,9	4,9	3,5	6	4,1	7,1
5	1,2	2,5	1,5	3	2	4,1	2,5	5	3	6
5,2	0,8	2	1	2,5	1,2	3,2	1,5	4	1,7	4,7
5,4	0,3	1,5	0,4	1,9	0,4	2,5	0,5	3	0,6	3,6
5,6	—	1	—	1,2	—	1,6	—	2	—	2,4
5,8	—	0,5	—	0,6	—	0,9	—	1	—	1,2

#### 4.4.2. Corrección de pH extremo

Los **suelos ácidos** causan problemas a la vegetación, liberan metales tóxicos, como aluminio, manganeso, cobre, plomo y cinc; metales pesados, como selenio, cromo, níquel y cadmio, y producen una disminución en la disponibilidad de fósforo.

En general, presentan una baja capacidad de retención de agua, deficiencias en elementos nutrientes y materia orgánica. Es conveniente, por tanto, el aporte de tierra vegetal, y si no se dispone de ella, de cualquier otro compuesto orgánico que suministre materia orgánica y nutrientes. También se aconseja añadir fertilizantes.

El método más común para corregir la acidez de los suelos y elevar el pH hasta la neutralidad es mediante la enmienda caliza o encalado. Los materiales más comunes son: cal viva (CaO), carbonato cálcico (CO<sub>2</sub>Ca), dolomías (carbonato cálcico-magnésico, muy utilizado cuando hay deficiencias en magnesio en la solución del suelo), e incluso restos de escombros o productos de construcción, siempre y cuando el transporte desde zonas distantes no la encarezcan demasiado. La enmienda caliza debería ser incorporada a 15 cm de profundidad y antes de que se proceda a extender la tierra vegetal o abonos, etc.

En la Tabla 7.18 se puede observar los requerimientos de caliza para cada diferente textura y pH del suelo.

Hay que añadir que, aparte de corregir los valores bajos de pH, la cal también actúa de la siguiente forma:

- Añade calcio al suelo.
- Favorece la descomposición rápida de la materia orgánica y aumenta el N.
- Aumenta la eficacia de los fertilizantes.
- Aumenta la disponibilidad de nutrientes.
- Disminuye la toxicidad del aluminio y del hierro.
- Mejora las condiciones físicas del suelo.

En cuanto a la **alcalinidad** del suelo (pH>7) cabe decir que incluso las escombreras más básicas no suelen

presentar pH mayores de 8. Si por cualquier motivo alcanzan niveles superiores por la composición en materiales muy calcáreos, será conveniente cubrir el material con materia orgánica o suelo natural.

#### 4.4.3. Mejora de la toxicidad

La toxicidad es debida principalmente a la existencia de metales pesados (Cu, Pb, Ni, Zn, Hg, etc.), u otro tipo de metales (Al, Mn); puede solucionarse mediante el aporte de materia orgánica, fundamentalmente, así como de caliza y fosfatos.

La materia orgánica tiene la capacidad de formar quelatos metálicos estables y de eliminar de esta forma la toxicidad hasta la mineralización de la materia orgánica. La eliminación a largo plazo de la toxicidad se conseguirá mediante la constitución de una cubierta vegetal estable que genere de forma sostenida una capa de materia orgánica amortiguadora.

El fosfato y la caliza elevan el pH, lo cual produce una reducción en la solubilidad de los metales, pero en el caso del aluminio y del cinc la solubilización puede producirse en ambos extremos de la escala de pH.

La salinidad constituye otro tipo de toxicidad cuyos efectos suelen ser letales para la mayoría de las especies, por lo que será necesario:

- Mejorar el drenaje de los materiales adecuando la estructura y la textura.
- Añadir una superficie de mulch para controlar la fluctuación de temperatura en la superficie.
- Regar los residuos que tienen adecuadas filtraciones del agua, de manera que los suelos sean lavados a horizontes inferiores.
- Dar tiempo a los procesos atmosféricos naturales y lixiviaciones, en climas húmedos.

El uso de plantas resistentes puede ser una forma de conseguir el establecimiento de la vegetación en lugares con problemas de toxicidad, sobre todo en los casos de salinidad.

## 5. BIBLIOGRAFIA

- AGUILO, M., et al. (1984): "Guía para la elaboración de estudios del medio físico: Contenido y Metodología". Serie: Manuales. CEOTMA. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Madrid.
- EPM (1988): "Programa nacional de estudios geoambientales aplicados a la minería. Provincia de León". Serie: Geología Ambiental. ITGE. Madrid.
- EPM (1989): "Manual de restauración de terrenos y evaluación de impactos ambientales en minería". Serie: Ingeniería Geoambiental. ITGE. Ministerio de Industria y Energía. Madrid.
- LACOSTE, A., y SALANON, R. (1973): "Biogeografía". Ed. Oikos-Tau, Serie: Elementos de geografía. Barcelona.
- LYLE, E. S. (1986): "Surface Mine Reclamation Manual". Ed. Elsevier. Nueva York.
- M.O.P.U. (1989): "Guía metodológica para la elaboración de estudios de impactos ambiental. Grandes presas". Monografías de la Dirección General de Medioambiente.
- RAMOS, A., et al. (1987): "Diccionario de La Naturaleza.: Hombre, Ecología y Paisaje". Editorial Espasa-Calpe. Madrid.
- RMC GROUP (1987): "A Practical Guide to Restoration". Ed. RMC Group plc. Feltham.
- TORRECILLA, I., y MATAIX, C. (1987): "Impactos sobre la morfología fluvial". Cátedra de Planificación. ETSI de Montes. Ed. Díaz Segovia y Ramos Fernández. Madrid.

## ESTABLECIMIENTO DE LA VEGETACION

### 1. INTRODUCCION

La vegetación es un elemento imprescindible en la rehabilitación de espacios alterados por la extracción de gravas, sea cual sea el uso final que se pretenda dar al área afectada.

En la mayoría de los casos se considera que, si se logra establecer una cubierta vegetal estable y autosuficiente, los objetivos últimos de la restauración han sido alcanzados.

El éxito de la revegetación depende de la realización de un conjunto de tareas básicas, más o menos secuenciales en el tiempo, que son:

- Preparación del sustrato.
- Selección de especies.
- Métodos de implantación.
- Cuidados posteriores a la implantación.

Ninguna de estas tareas tiene mayor importancia que las otras en el proceso de revegetación, sino que todas ellas tienen una importancia similar, en la medida de que todas forman parte de los medios necesarios para alcanzar los objetivos de restauración.

Si falla el método empleado o se descuida alguna de ellas, aunque el desarrollo de las restantes tareas sea correcto, los resultados de la restauración pueden peligrar. La revegetación fracasará por alguna de las siguientes razones:

- No se dota al área de un sustrato capaz de sostener una cubierta vegetal estable.
- Se seleccionaron especies no adaptadas a las condiciones climáticas, edáficas (por ejemplo, profundidad del suelo o grado de encharcamiento) o de otro tipo del terreno.
- Se utilizan métodos inadecuados de implantación (por ejemplo, siembra de especies cuya reproducción por este método es muy difícil o imposible en condiciones artificiales).
- Se abandona el área antes de que la cubierta vegetal implantada pueda mantenerse por sí misma.

En este sentido, en las fases preliminares de diseño, deben considerarse las siguientes cuestiones:

- ¿Qué especies crecerán mejor en la zona a restaurar y cuáles son las más adecuadas en función del uso final que se pretende y las condiciones de clima y suelo de la zona?
- ¿Qué cantidad y qué tipo de fertilizante se necesitará por hectárea? ¿Va a ser necesario aplicar otro tipo de mejoras o enmiendas edáficas?
- ¿Cuál es el método de implantación más adecuado para cada especie y cada objetivo perseguido (siembra a voleo, hidrosiembra, siembra en hoyos, estaquillado, etc.)?
- ¿Qué tamaño de planta se debe utilizar en el caso de las plantaciones?
- ¿Cuál es la época del año más adecuada para realizar la implantación?
- ¿Va a ser necesario realizar algún tipo de trabajo de mantenimiento tras la implantación? En caso afirmativo, ¿qué tipo de cuidados van a ser necesarios (riegos, siegas, entresacas, podas, etc.) y qué duración debe tener el período de cuidados posteriores?

### 2. SELECCION DE ESPECIES

#### 2.1. Introducción

La selección de especies tiene como finalidad el enunciado de una lista restringida de plantas adaptadas, lo más perfectamente posible, a los objetivos que en el plan de restauración se hayan adjudicado a la vegetación.

El valor de las distintas especies para la consecución de unos objetivos determinados es diferente, y diferente también es su respuesta frente a un medio ambiente de características concretas, tanto en lo que se refiere a su capacidad para desarrollarse como a los efectos que produce sobre el mismo. El proceso de selección debe abordar, por tanto, la valoración comparativa de las especies respecto a su adecuación al medio, la consecución de los objetivos y las premisas o directrices

bajo las que se concibe la restauración, de forma que la especie o especies elegidas sean las que optimicen todos estos factores.

Dado que es mucho más fácil definir la total inadecuación de una especie para su uso en un plan de restauración que definir su grado de adecuación, el proceso de selección se plantea por exclusión de la forma siguiente:

- Primero, una etapa de **preselección**, encaminada a la eliminación de todas aquellas especies que no cumplan alguno de los requisitos necesarios fundamentales.
- Segundo, una etapa de **valoración**, en la que se pretende establecer el grado de adecuación de cada una de las especies seleccionadas en la fase anterior.
- Y, por último, una etapa de **optimización**, en la que, mediante la valoración comparativa del grado de adecuación de las distintas especies, se elijan las más idóneas.

En la Fig. 8.1 se presentan de forma esquemática las consideraciones antes apuntadas para la selección de especies.

## 2.2. Criterios de selección y características de las especies

Los puntos clave de la aplicación de este tipo de esquema de selección son los siguientes:

- La definición clara y concreta de los criterios que van a decidir la aceptación o rechazo de las especies, en cada una de las fases de la selección, es decir, la definición de las reglas de exclusión que se van a considerar.

- El conocimiento amplio de las cualidades y características de todas las especies potencialmente utilizables en la restauración, para poder aplicar estas reglas con suficiente garantía.

Para definir los criterios de selección es imprescindible realizar una zonificación previa del área de actuación en unidades homogéneas de requerimiento y respuesta de la vegetación, es decir, diferenciar zonas, en función de los requisitos mínimos o los umbrales que se consideren limitantes en la selección y los factores que definen la idoneidad de las especies.

La zonificación del área de actuación puede realizarse siguiendo diversos criterios. En el caso de las graveras, quizás el método más útil y sencillo sea diferenciar en una primera fase **unidades ecológicamente homogéneas**, en función de los parámetros ambientales que resulten más significativos, y que suelen ser aquellos que pueden ser limitantes para la supervivencia de las plantas, para después delimitar dentro de cada una de estas unidades **zonas de dedicación específica** previstas dentro del uso final del área, como, por ejemplo, zonas de aparcamiento, estancia, paseo o juegos en un uso recreativo, o zonas de acceso restringido, educativas o de observación de aves, en el caso de un uso natural o de conservación, y señalar dentro de ellas los problemas concretos que deben resolverse mediante el empleo de vegetación, por ejemplo, orillas inestables, superficies de erosión acelerada, etc.

La diferenciación de unidades ecológicas permite concretar las restricciones y condicionantes derivados de las características del medio.

En el caso de las graveras, y fundamentalmente de las graveras húmedas, los dos parámetros fundamentales para la definición de estas unidades son la existencia de láminas permanentes de agua y el grado de encharcamiento del suelo. Su importancia radica no sólo en que son factores limitantes, sino fundamentalmente en que son parámetros que definen tres tipos de

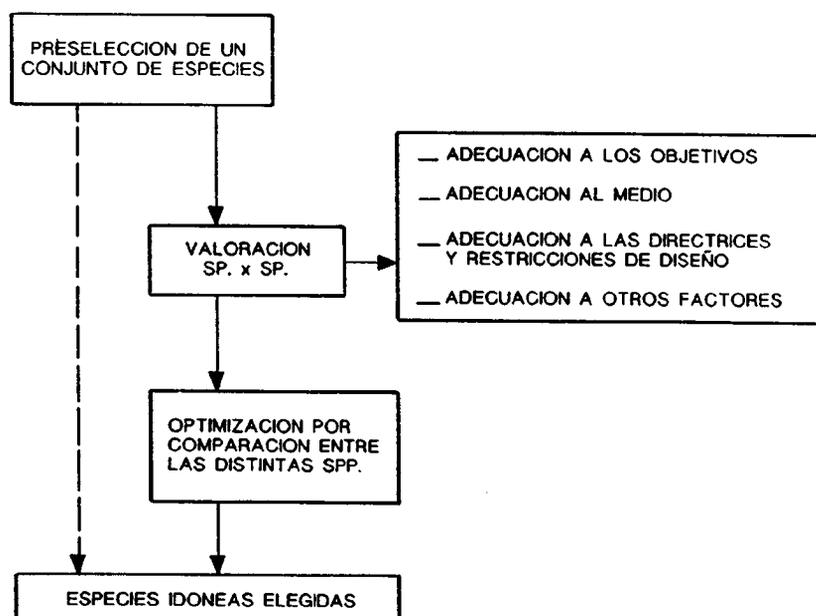


Figura 8.1. Esquema metodológico básico para la selección de especies.

medio netamente diferenciados: terrestre, ribereño y acuático, a los que corresponden tres grupos morfológicos de plantas diferentes: terrestres, freatófitas e hidrófitas y acuáticas.

Dependiendo del grado de influencia de estos dos parámetros, en las graveras pueden existir seis zonas básicas:

- Zonas netamente terrestres, no influenciadas directamente por la capa freática (nivel freático profundo).
- Zonas netamente terrestres con un freático superficial, pero sin encharcamientos estacionales.
- Zonas con un nivel freático superficial encharcadas periódicamente.
- Zonas ribereñas periódicamente inundadas.
- Zonas ribereñas permanentemente inundadas.
- Zonas de aguas libres.

Las condiciones ambientales de cada una de estas grandes zonas se concretarán mediante el contraste de una serie de parámetros de influencia, específicos para cada uno de ellas, Tabla 8.1.

Son unidades ecológicamente homogéneas aquellas que presentan valores similares para cada uno de estos parámetros identificados como clave, y las especies indicadas para ellas son aquellas que mejor cumplen las restricciones impuestas por el conjunto de condiciones que definen cada unidad.

La zonificación por dedicaciones específicas permite definir los criterios de selección derivados del uso y el diseño de la restauración. Cada una de las posibles dedicaciones impone unos condicionantes de utilización y unos requerimientos diferentes.

Pueden preferirse especies espinosas o que proporcionen una cubierta muy densa, para crear barreras vegetales que impidan el acceso a ciertas zonas, especies resistentes al pisoteo para zonas de uso intensivo, especies con variaciones cromáticas estacionales muy llamativas para áreas ajardinadas, especies de sombra en zonas de estancia, etc.

Una vez realizada la división del área en unidades homogéneas, es sencillo definir los criterios de selección a aplicar, ya que cada uno de los parámetros que han servido para tipificar dichas unidades se traducen en condiciones que deben cumplir las especies.

Las características y cualidades de las especies, cuyo conocimiento es necesario para realizar una buena selección, pueden variar en función de las características del medio a tratar y los objetivos de uso.

TABLA 8.1. PARAMETROS AMBIENTALES PARA LA DEFINICION DE UNIDADES ECOLOGICAMENTE HOMOGENEAS

AREAS TERRESTRES
<ul style="list-style-type: none"> <li>— Pendiente</li> <li>— Características edáficas físicas: textura, estructura, densidad, pedregosidad</li> <li>— Características edáficas químicas: pH, toxicidad, nutrientes, salinidad</li> <li>— Profundidad del suelo efectivo</li> <li>— Profundidad de la capa freática</li> <li>— Entorno paisajístico y social</li> </ul>
AREAS ENCHARCADAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>— Temporalidad de las inundaciones</li> <li>— Profundidad de la capa freática en épocas de sequía</li> <li>— Altura del nivel medio del agua</li> <li>— Duración y alcance del encharcamiento</li> <li>— Tipo de sustrato</li> <li>— Pendiente de las orillas</li> <li>— Velocidad de la corriente</li> <li>— Intensidad de luz recibida</li> </ul>
LAMINAS DE AGUA
<ul style="list-style-type: none"> <li>— pH del agua</li> <li>— Trofia del agua</li> <li>— Calidad del agua (contaminación)</li> <li>— Velocidad de la corriente</li> <li>— Profundidad del agua</li> <li>— Tipo de sustrato</li> <li>— Luminosidad</li> <li>— Profundidad del agua</li> </ul>

A continuación se presenta una lista de especies cuya utilización está indicada en la restauración de graveras. No pretende ser una relación exhaustiva de especies, únicamente comprende una lista orientativa de plantas autóctonas y exóticas que tienen alguna cualidad particular que aconseja su utilización para algún fin específico de restauración.

TABLA 8.2. ESPECIES RECOMENDADAS PARA LA REVEGETACION DE GRAVERAS  
PLANTAS SUMERGIDAS

ESPECIE	PROFUNDIDAD	PREFERENCIAS	COMENTARIOS
<i>Chara sp.</i>	Hasta 2 m	—	Buena para hábitat de invertebrados.
<i>Ranunculus aquatilis</i>	Hasta 1 m	—	Semillas utilizadas por las aves acuáticas.
<i>Ceratophyllum demersum</i>	1 m (8,5 m)	—	No enraizada. Buena para hábitat de invertebrados.
<i>Myriophyllum spiratum</i>	0,7-2 m	Aguas ricas en cal.	Excelente como hábitat de invertebrados.
<i>Hippuris vulgaris</i>	Hasta 1 m	Prefiere las aguas ricas en cal	Buena como hábitat de invertebrados. Las aves acuáticas comen sus semillas. Anidamiento de patos.
<i>Callitriche staqualis</i>	Hasta 1 m	—	Buena para hábitat de invertebrados.
<i>Elodea canadensis</i>	0,5-3 m	Aguas tranquilas.	Naturalizada. Excelente como hábitat de invertebrados.
<i>Potamogeton lucens</i>	Hasta 4 m	Aguas alcalinas.	Sus semillas son alimento de aves acuáticas.
<i>P. perfoliatum</i>	Hasta 2 m	—	Sus semillas son alimento de aves acuáticas.
<i>P. crispus</i>	Hasta 2 m	—	Sus semillas son alimento de aves acuáticas.
<i>P. pectinatus</i>	0,5-2,5 m	Prefiere aguas salobres o alcalinas.	Tolera aguas muy contaminadas. Las semillas y los tubérculos sirven de alimento a las aves acuáticas.
<i>Lannichellia palustris</i>	Hasta 2 m	—	Las semillas sirven de alimento a las aves acuáticas.

PLANTAS FLOTANTES

ESPECIE	PROFUNDIDAD	PREFERENCIAS	COMENTARIOS
<i>Nymphaea alba</i>	Hasta 2 m	Aguas tranquilas.	Entre las hojas se refugian las camadas de patos.
<i>Nuphar lutea</i>	1-3 m	Aguas tranquilas.	Entre las hojas se refugian las camadas de patos.
<i>Polygonum amphibium</i>	Hasta 2 m (también en suelos encharcados)	Sitios húmedos.	Buena como hábitat de invertebrados. Las semillas son alimento de aves acuáticas. Refugio de las camadas de patos.
<i>Potamogeton natans</i>	Hasta 3 m	Aguas tranquilas.	Buena producción de semillas.
<i>Lemna sp.</i>	Flotadora libre	Aguas tranquilas.	Las plantas sirven de alimento a las aves acuáticas.

PLANTAS EMERGENTES

ESPECIE	PROFUNDIDAD	PREFERENCIAS	COMENTARIOS
<i>Caltha palustris</i>	Hasta 0,3 m también en zonas encharcadas	—	Entre las hojas se refugian las camadas de patos.
<i>Rorippa amphibia</i>	Hasta 3 m. Sitios húmedos y borde del agua	—	—
<i>Apium nodiflorum</i>	Hasta 3 m. Sitios húmedos	—	—
<i>Rumex hydrolapathum</i>	Hasta 0,5 m y lugares pantanosos	—	Sus semillas sirven de alimento a las aves acuáticas.
<i>Hyosotis scorpioides</i>	Suelos encharcados. Hasta 0,2 m de profundidad	—	—
<i>Mentha aquatica</i>	Suelos encharcados y sombreados	—	—
<i>Alisma plantago aquatica</i>	Hasta 0,75 m	Aguas lentas.	—
<i>Sagittaria sagittifolia</i>	0,3 m	Aguas lentas.	La planta sirve como alimento de las aves acuáticas. El follaje para hábitat de las camadas de aves.
<i>Juncus ssp.</i>	Suelos encharcados	Preferencias edáficas variables en función de las especies.	Semillas para alimento de las aves acuáticas.
<i>Iris pseudocorus</i>	Suelos encharcados	—	Algo tóxica para el ganado.
<i>Acorus calamus</i>	Suelos encharcados. Hasta 0,5 m	—	—
<i>Sparganium sp.</i>	Hasta 1 m	—	Buena como hábitat de invertebrados y producción de semillas.
<i>Thypha latifolia</i>	Hasta 1 m	—	Protección de las orillas. Refugio invernal de las aves acuáticas.
<i>Carex spp.</i>	Hasta 0,5. Algunas especies suelos encharcados	—	Muy buena productora de semillas. Anidamiento de aves. Protección de las orillas.
<i>Phragmites australis</i>	Hasta 1,5 m	—	Refugio invernal para aves. Hábitat específico.
<i>Glyceria fluitans</i>	Hasta 0,5	—	Planta invasora de valor limitado.
<i>Phalaris arundinacea</i>	Hasta 1 m y sitios húmedos	—	—
<i>Lytrum salicaria</i>	Suelos encharcados	—	—
<i>Filipendula ulmaria</i>	Suelos encharcados	—	—
<i>Epilobium hirsutum</i>	Suelos encharcados	Hasta 2 m de altura.	—
<i>Scrophularia aquatica</i>	Suelos encharcados	Hasta 1 m de altura.	Buen néctar y productora de semillas.

## ARBOLES

ESPECIE	SUELO	CLIMA	EXPOSICION	SUSCEPTIBLE AL FRIO	TOLERA SOMBRA	TOLERA			MULTIPLICACION	COMENTARIOS
						SUELO ENCHARCA.	SUELOS PESADOS	SUELOS SUELTOS		
<i>Acer campestre</i>	Indiferente.	Semiseco a húmedo. Templado a frío.	Semisombra.		*		*	*	Semilla, estaca, plantón.	Pantallas. Sitios secos.
<i>A. monspesulanum</i>	Indiferente.	Semiseco a húmedo. Templado a templado.	Semisombra.					*	Semilla, estacilla, plantón.	Pantallas y setos.
<i>A. platanoides</i>	Indiferente.	Subhúmedo a húmedo. Templado-frío.	Semisombra.		*		*		Semilla, plantón.	Idem.
<i>A. pseudo-platanus</i>	Silíceo/ácido.	Subhúmedo a húmedo. Templado-frío.	Semisombra.		*		*	*	Semilla, plantón.	Pantallas y setos, pionera. Regeneración invasora. No permite el crecimiento bajo él.
<i>Arbustus unedo</i>	Indiferente.	Seco a húmedo. Templado a frío.	Media sombra.						Semilla, acodos plantones, estaca.	Pantallas y setos.
<i>Betula celtiberica</i>	Indiferente.	Húmedo a muy húmedo. Frío a templado frío.	Solana.			*		*	Semilla, colonizador.	Colonizador vigoroso.
<i>Castanea sativa</i>	Acido.	Húmedo a muy húmedo. Frío a templado frío.	Semisombra.					*	Semillas, estacas y plantones.	Pantallas.
<i>Celtis australis</i>	Indiferente.	Seco a semiseco. Templado-cálido a templado.	Solana.					*	Semilla y plantón.	Idem.
<i>Frangula alnus</i>	Indiferente.	Subseco a subhúmedo. Templado-cálido a frío templado.	Media luz.			*			Semillas y plantones.	—
<i>Fraxinus angustifolia</i>	Indiferente.	Subseco a subhúmedo. Templado a templado frío.	Semisombra.						Semilla, estaca y acodo.	Requiere suelos profundos y fértiles.
<i>F. excelsior</i>	Indiferente.	Semiseco a húmedo. Templado a templado frío.	Semisombra.	*	*		*	*	Idem.	Valor moderado como hábitat de fauna.

ARBOLES (Cont.)

ESPECIE	SUELO	CLIMA	EXPOSICION	SUSCEPTIBLE AL FRIO	TOLERA SOMBRA	TOLERA			MULTIPLICACION	COMENTARIOS
						SUELO ENCHARCA.	SUELOS PESADOS	SUELOS SUELTOS		
<i>F. ornus</i>	Indiferente.	Seco a semiseco. Templado.	Semisombra.	*					Idem.	Flores muy llamativas.
<i>Populus alba</i>	Indiferente.	Seco a húmedo. Templado a templado frío.	Solana.			*	*		Semilla y estaquilla, plantón.	Pantallas. Valor comercial. Crecimiento rápido.
<i>P. nigra</i>	Indiferente.	Idem.	Solana.			*		*	Idem.	Valor comercial. Pantallas. Arbol clásico de vega.
<i>P. tremula</i>	Indiferente.	Seco a húmedo. Templado a frío-templado.	Solana.			*	*		Semilla, plantón.	Montaña. Demanda luz.
<i>Prunus avium</i>	Indiferente.	Semiseco a húmedo. Templado a templado frío.	Solana.		*			*	Idem.	Pantalla. Frutos comestibles. Floración vistosa. Prospera en la mayoría de los suelos.
<i>Quercus robur</i>	Acido.	Semiseco a húmedo. Templado-cálido a templado frío.	Semisombra.		*		*	*	Semilla.	Suelos profundos.
<i>Salix alba</i>	Indiferente.	Húmedo. Templado a templado frío.	Media luz.			*		*	Estaquillas. Estacones y varetas.	Demanda luz. Pionero. Sujeción de orillas.
<i>S. fragilis</i>	"	"	"			*	*	*	"	Excelentes en sitios húmedos inicialmente por su rápido crecimiento.
<i>S. pentandra</i>	"	"	"			*		*	"	"
<i>S. triandra</i>	"	"	"			*		*	"	"
<i>Sambucus nigra</i>	"	Semiseco a húmedo. Templado a templado frío.	Solana. Media luz		*		*	*	Semillas y estaquillas.	Pantallas. Coloniza rápidamente terrenos desnudos.

## ARBOLES (Cont.)

ESPECIE	SUELO	CLIMA	EXPOSICION	SUSCEPTIBLE AL FRIO	TOLERA SOMBRA	TOLERA			MULTIPLICACION	COMENTARIOS
						SUELO ENCHARCA.	SUELOS PESADOS	SUELOS SUELTOS		
<i>S. racemosa</i>	"	Subhúmedo a húmedo. Templado frío. Frío templado.	Media luz.						Semillas y estaquillas.	"
<i>Sorbus aria</i>	"	Semiseco a húmedo. Frío a templado-frío.	"				*	*	Semillas y plantones.	Pantallas cortavientos.
<i>S. aucuparia</i>	"	"	"		*			*	"	Pionero. Tolera condiciones pobres. Valor moderado para la fauna.
<i>Tamarix africana</i>	"	Seco. Templado cálido a templado.	Solana.	*		*	*	*	Semilla, estaca.	Suelos salinos. Coloniza rápidamente.
<i>T. gallica</i>	"	"	"	*		*	*	*	"	Suelos salinos. Coloniza rápidamente.
<i>Tilia cordata</i>	"	Semiseco a húmedo. Templado frío a frío templado.	Media sombra.		*		*	*	Semilla, plátón, estaca.	Setos cortaviento. Valor moderado para la fauna.
<i>T. platiphyllus</i>	"	"	"		*		*	*	"	Setos. Bosquetes. Valor comercial.
<i>Ulmus glabra</i>	"	"	Media luz.		*			*	"	Pantallas y setos.
<i>Ulmus glutinosa</i>	Indiferente.	Seco a húmedo. Templado-cálido a templado-frío.	Semisombra.			Excelente en sitios encharcados.	*	*	Semillas, estaquilla plátón.	Pionera, necesita luz.
<i>U. minor</i>	"	Seco a húmedo. Templado a templado a frío.	"		*			*	"	Pantallas y setos.

ARBUSTOS Y MATAS

ESPECIE	SUELO	CLIMA	EXPOSICION	SUSCEPTIBLE AL FRIO	TOLERA SOMBRA	TOLERA			MULTIPLICACION	COMENTARIOS
						SUELO ENCHARCA.	SUELOS PESADOS	SUELOS SUELTOS		
<i>Atriplex halimifolium</i>	Salino.	Seco a subhúmedo. Templado cálido a cálido.	"	*		*		*	Esqueje.	Setos.
<i>Cornus sanguinea</i>	Indiferente.	Subhúmedo a húmedo. Templado a templado-frío.	Semisombra.		*		*	*	Semilla y esqueje.	Setos, bosquetes.
<i>Corylus avellana</i>	Indiferente.	Semiseco a húmedo. Templado a frío templado.	Media luz.		*		*	*	Semilla, acodo.	Valor extensivo para la fauna. Valor comercial. Bosquetes. Como sotobosque de arbolado.
<i>Crataegus monogyna</i>	Indiferente.	Húmedo. Frío.	Media luz.				*	*	Semillas. Brote de cepellón.	Setos. Pionero. Bueno como cortaviento.
<i>Erica arborea</i>	Acido.	Húmedo a subhúmedo. Frío templado a frío.	Umbría.		*	*		*	Semilla. Acodo.	Setos.
<i>Euvonymus europaeus</i>	Indiferente.	Subseco a húmedo. Templado a templado frío.	Semisombra.		*		*	*	Semilla, estaca, acodo.	Setos. Plantación con árboles. Valor en jardinería. Flores llamativas. Frutos tóxicos.
<i>Nerium oleander</i>	Indiferente.	Seco a subseco. Cálido a templado frío.	Solana.	*		*		*	Esqueje, acodo, semilla.	Pantallas y setos. Interés estético en jardinería. Pionera.
<i>Prunus padus</i>	Acido.	Húmedo. Frío a templado-frío.	Solana.						Semilla.	—
<i>Rhododendron ponticum</i>	Acido.	Húmedo a subhúmedo. Templado cálido.	Sombra.	*	*	*		*	Semilla.	Tóxica para el ganado. Valor estético.
<i>Salix atrocinerea</i>	Indiferente.	Semiseco a húmedo. Templado a frío templado.	Media sombra.			*	*	*	Estaca, acodo, renuevo.	Setos. Protección de orillas.
<i>S. caprea</i>	Indiferente.	Subhúmedo a húmedo. Templado frío a frío-templado.	Umbría.			*	*	*	Estaca, acodo.	Idem.

## ARBUSTOS Y MATAS (Cont.)

ESPECIE	SUELO	CLIMA	EXPOSICION	SUSCEPTIBLE AL FRIO	TOLERA SOMBRA	TOLERA			MULTIPLICACION	COMENTARIOS
						SUELO ENCHARCA.	SUELOS PESADOS	SUELOS SUELTOS		
<i>S. elaeagnos</i>	Indiferente.	Idem.	Media luz.					*	Idem.	Idem.
<i>S. salvifolia</i>	Indiferente.	Seco a subhúmedo. Templado a templado-frío.	Media luz.			*		*	Estaca, acodo.	Pionera. Interesante para colonizar orillas.
<i>Viburnum opulus</i>	"	Húmedo. Templado a frío. Templado.	"		*	*	*		Semilla, estaca, esqueje.	Valor moderado para la fauna.
<i>Viburnum lantana</i>	Indiferente. Prefiere suelos calcáreos.	Semiseco a húmedo. Templado frío a frío templado.	Media luz.		*		*		Semilla.	Setos. Valor moderado para la fauna.

### 2.1.2. Esquema metodológico

La lista básica de especies "candidatas" a ser seleccionadas para la restauración de un área determinada estará formada por las siguientes, Tabla 8.3.:

— Todas aquellas especies presentes en la actualidad en el área delimitada por la explotación o en sus

cercanías como especies garantes de integración paisajística y ecológica, además, de adaptación a las condiciones macroclimáticas de la zona.

— Las pertenecientes a la serie dinámica potencial del área, para asegurar su evolución ecológica favorable.

— Aquellas que ya han sido utilizadas con éxito en proyectos de restauración de graveras en otras zo-

TABLA 8.3. CONSIDERACIONES GENERALES PARA LA SELECCION DE ESPECIES:  
FASE DE PRESELECCION

FACTOR	CRITERIO DE SELECCION
<p><b>NATURALEZA DEL SUSTRATO</b></p> <p>Altas concentraciones de metales tóxicos.</p> <p>Metales tóxicos transportados por la vegetación herbácea.</p> <p>Extrema alcalinidad o acidez.</p> <p>Alto contenido en sales.</p> <p>Condiciones de sequedad.</p> <p>Bajo contenido en nutrientes.</p> <p>Encharcamiento.</p> <p>Zonas áridas y semiáridas.</p> <p>Temperatura.</p>	<p>Selección de especies tolerantes a los metales. Utilización y fomento de las especies que invaden de forma natural las escombreras.</p> <p>Especies no palatables o sin interés pascícola. Colocación de plantas espinosas alrededor de la zona para impedir el paso a los animales.</p> <p>Especies invasoras selectivas de tales condiciones.</p> <p>Especies tolerantes a las sales. Especies invasoras selectivas de tales condiciones.</p> <p>Especies tolerantes a la sequía. Cultivos tolerantes a la sequía.</p> <p>Uso de leguminosas u otras especies fijadoras de nitrógeno. Especies que crecen en áreas pobres en nutrientes.</p> <p>Especies freatofíticas o resistentes al encharcamiento.</p> <p>Especies nativas o naturalizadas. Transplantes y repiques de especies de bajo crecimiento.</p> <p>Especies comerciales agrícolas forestales u otras. Especular según el uso futuro.</p>
<p><b>USO POTENCIAL</b></p> <p>Establecimiento rápido de la cubierta vegetal.</p> <p>Fauna.</p> <p>Usos tradicionales.</p> <p>Usos recreativos.</p>	<p>Especies agrícolas.</p> <p>Buscar una alta variedad de especies naturales productoras de frutos, semillas, especies con interés pascícola, susceptibles de albergar especies animales cuando crían.</p> <p>Especies naturales. Cultivos de alimentos y producción de madera. Especies adaptadas a la existencia de fuegos. Especies adaptadas a las prácticas forestales.</p> <p>Especies exóticas adaptadas a la zona. Baja productividad. Calidad paisajística.</p>

nas con condiciones ambientales similares, o que están recomendadas en la bibliografía para los usos previstos o los fines específicos de la restauración.

En la fase de valoración se tendrá en cuenta el grado de adecuación a los objetivos, el medio, las directrices de diseño y otros factores de influencia.

- **Adecuación a los objetivos**, planteados de forma más específica que en la fase anterior, Tabla 8.4.
- **Adecuación al medio**. Las especies serán tanto más adecuadas cuanto mayores garantías de permanencia presenten, es decir, se buscan especies

que aseguren la estabilidad de la cubierta vegetal implantada.

La estabilidad va ligada a su adaptación a los factores bióticos y abióticos del medio en el que se pretenden instaurar y a su capacidad para resistir los agentes desfavorables.

La valoración de las especies, en cuanto a su adecuación al medio, se realiza en función de sus exigencias y tolerancias respecto de factores ambientales que pueden resultar limitantes, y de sus características fisiológicas y genéticas que expresan su vitalidad o su capacidad de amortiguación de los efectos negativos.

TABLA 8.4. CRITERIOS DE ADECUACION A LOS OBJETIVOS: FASE DE VALORACION

OBJETIVO	MEDIDA	CARACTERISTICAS DE LAS ESPECIES
Prevención de impactos	Pantallas acústicas. Pantallas para retención del polvo. Aislamiento visual y sonoro de zonas de especial valor ecológico o cultural. Cierre del paso a zonas de protección.	Arboles y arbustos de crecimiento rápido. Preferibles de hoja perenne. Resistentes al polvo. Porte medio y alto. Follaje denso.
Control de procesos	Control de la erosión. Estabilización de orillas. Estabilización de taludes.	Herbáceas de alto poder tapizante. Arboles y arbustos de enraizamiento oblicuo o superficial. Preferible reproducción por estolones. Sistema radical extensivo.
Protección del paisaje	Integración en el entorno. Utilización para ocultación. Creación de especies estéticamente atractivas.	Arboles y arbustos representados en el entorno. Talla media y alta. Que proporcionen una cubierta densa. Especies foráneas estéticamente atractivas por coloración, forma, etc.
Regeneración ambiental	Mejora del suelo. Favorecimiento de la reintroducción de especies superiores. Reconstrucción de hábitats específicos.	Herbáceas y leñosas fijadoras de nitrógeno. Especies pertenecientes a la serie de vegetación. Especies herbáceas frugales y resistentes formadoras de suelo. Especies cuya utilización por la fauna para refugio o cualquier otra función está comprobada.

— **Adecuación a las directrices y restricciones del diseño.** Este bloque de criterios es muy amplio, y hace referencia tanto a los aspectos técnicos, métodos y modos de disponer las especies, como a aspectos funcionales y estructurales del nuevo escenario que se va a crear.

Se consideran características muy diversas, que expresan su cualificación para distintos fines y aplicaciones: tamaño, tipo de follaje, floración, coloración estacional, frutos, morfología, etc.

— **Adecuación a otros factores que pueden condicionar la utilización de una especie.** Aparte de los factores antes mencionados, deben considerarse otros aspectos muy variados, que pueden condicionar la selección: aspectos técnicos, económicos, sociales, culturales e incluso jurídicos.

Entre los factores mencionados destacan:

- **Disponibilidad en vivero.** Son preferibles las que están comercializadas, se conoce su forma de cultivo y aquellas de las que existen estirpes cultivadas en el terreno.

- La falta de conocimientos sobre la **instalación y manejo** de alguna especie puede aconsejar la no utilización para prevenir un eventual fracaso.

En la **fase de optimización** se realizará una valoración comparativa del grado de adecuación de las especies que pasaron la criba anterior, buscando la máxima diversidad biológica, evitando optimizaciones únicas, y considerando la dimensión temporal, efectos y rendimientos a corto, medio y largo plazo, de las especies alternativas.

### 3. METODOS DE IMPLANTACION

#### 3.1. Introducción

Los métodos tradicionales de implantación de la vegetación son la **plantación** y la **siembra**.

La conveniencia de utilizar uno u otro método depende de ciertos factores que pueden resultar limitantes para la ejecución de las diversas técnicas, el tipo de vegetación que se va a implantar y los objetivos de restauración que se pretendan conseguir mediante el empleo de la vegetación, Tablas 8.5, 8.6 y 8.7.

Tabla 8.5. LIMITACIONES DE LOS METODOS DE PLANTACION Y SIEMBRA

	PENDIENTE	TAMAÑO	PRECIPITACION	HUMEDAD TERRENO	PEDREGOSIDAD O AFLORAMIENTOS ROCOSOS	COMPACTACION	ACCESIBILIDAD	EXISTENCIA DE PROCESOS	DISPONIBILIDAD DE AGUA	COSTE
Plantación:										
Manual	—	x	—	—	—	x	x	x	—	x
Mecánica	x	—	x	—	xx	xx	x	x	—	
Siembra:										
En hileras	x(<15_)	—	x	x	x	x	x	—	—	x
A voleo	x(<20_)	—	xx	x	x	xx	x	—	—	x
Hidrosiembra	—	—	xx	x	—	xx	x(50-500m)	—	xx	xx
Aérea	—	x(>10 ha)	x	x	—	—	—	—	xx	xx

x: Limitación media

xx: Muy limitante

TABLA 8.6. METODOS MAS ADECUADOS DE INTRODUCCION DE LA VEGETACION SEGUN DIFERENTES TIPOS DE VEGETACION

NOMBRE	EDAD (años)	TAMAÑO	OBSERVACIONES
<b>ARBOLES</b>			
Plántulas o plantas de semillero	1	50-150 mm	Generalmente cultivadas en contenedor.
Plantas que han sufrido un trasplante o repique	≥ 2	300-700 mm	Tallo único (1-1,2-1).
Latizales	≥ 2	900-1.500 mm	Tallo único (1-2-1; 1-2-2;2-2).
Arboles con tallo recto que sostienen la copa	5	1-1,5 m (rama pral.)	Diámetro mínimo a 75 cm suelo: 20 mm. Copa bien desarrollada.
Arboles de tamaño estándar	5-10	1,75-2 m (rama pral.)	Diámetro a 75 cm del suelo: 20 mm.
Arboles cuya copa está desarrollada desde la base	> 10	2,4-2,7 m 1,8-3 m	Guía bien formada recta y vertical con ramas laterales.
<b>ARBUSTOS</b>			
Pequeño tamaño	≥ 2	Depende de cada especie	
Desarrollado	—	30-75 cm	Copa bien desarrollada.

TABLA 8.7. METODOS MAS CONVENIENTES POR OBJETIVOS: VENTAJAS E INCONVENIENTES

	PLANTACION	SIEMBRA
OBJETIVOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Creación de pantallas y setos.</li> <li>— Introducción inmediata de ejemplares desarrollados de especies superiores de crecimiento lento.</li> <li>— Tratamiento de zonas donde se busca un efecto visual inmediato.</li> <li>— Tratamiento de zonas donde, por razones de diseño, se busca que la posición de cada planta y las densidades a conseguir sean lo más exactas posible.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Control de la erosión y otros factores perjudiciales (inestabilidad, deslizamientos, etc.) a corto plazo.</li> <li>— Tratamiento de zonas difíciles: gran pendiente, suelo pobre y excesivamente somero, alta pedregosidad, etc.</li> <li>— Tratamiento de zonas de difícil acceso.</li> <li>— Introducción de especies pioneras y mejoradoras de suelo, que posibilitan la reinstalación progresiva de especies superiores, de forma natural.</li> </ul>
VENTAJAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>— La germinación y las primeras fases del desarrollo de la planta son controladas en el vivero, lo cual aumenta la probabilidad de supervivencia de las mismas.</li> <li>— Se necesita un gasto menor de semillas que si se utiliza el método de siembra.</li> <li>— Los árboles o arbustos se colocan en el lugar deseado o adecuado: el efecto visual es más rápido.</li> <li>— Una vez arraigadas las plantas, su sistema radicular protege al suelo de los procesos erosivos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Método barato.</li> <li>— Requiere poca mano de obra.</li> <li>— Resultados positivos a corto plazo.</li> <li>— Mejor y más rápida adaptación de las especies empleadas a las condiciones del lugar.</li> <li>— Escaso riesgo de deterioro o pérdida durante el almacenamiento y manipulación de las semillas.</li> </ul>
INCONVENIENTES	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Coste elevado de producción de las plantas en vivero.</li> <li>— Mayor necesidad de operarios y equipos.</li> <li>— Mayores cuidados durante el transporte de las plantas hasta el lugar de implantación.</li> <li>— Riesgos de pérdida durante el almacenamiento y la manipulación.</li> <li>— Generación de suelo y control de riesgos a largo plazo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Se precisan grandes cantidades de semilla para compensar las pérdidas causadas por la depredación de los animales, las condiciones climáticas y edáficas adversas, la caída de semillas si se siembra en superficies pendientes, y el crecimiento de maleza competidora.</li> <li>— Dificultades de control sobre la disposición de las plantas en el terreno y la densidad de cubierta.</li> <li>— Dificultades en la obtención de semillas.</li> <li>— Dificultades para la protección del terreno tratado.</li> <li>— Requiere mayores cuidados en la preparación del terreno.</li> </ul>

La elección de un método de instauración implica el conocimiento exhaustivo de los factores del medio físico y socioeconómico de la zona que pueden influir en dicha elección. En cualquier caso, siembra y plantación

no son dos métodos excluyentes, sino que es conveniente combinarlos dentro de una misma zona para optimizar los resultados de la restauración.

### 3.2. Plantación

Es la técnica por excelencia para trasplantar especies arbóreas y arbustivas. Es posible plantar ejemplares completos en distinto nivel de desarrollo, desde plantones de un año de edad hasta árboles maduros, o partes de la planta capaces de dar lugar a otra nueva.

Generalmente se utilizan plantas cultivadas en vivero, pero puede suceder que no estén comercializadas algunas de las especies seleccionadas para la plantación. En estos casos, se puede utilizar la vegetación natural de la zona o de áreas adyacentes para obtener material de plantación: esquejes, rizomas, bulbos u otro tipo de propágulos o ejemplares completos para trasplantar a los sitios más convenientes.

El trasplante de la vegetación natural es una operación difícil y costosa, que solamente deberá intentarse con los ejemplares que, por su tamaño o desarrollo, posean un "valor especial", y que además reúnan las condiciones fisiológicas adecuadas para asegurar el éxito de la operación.

En caso de que se den estas condiciones, debe ser considerada su aplicación sistemática como medida preventiva de protección de la vegetación, en la zona a explotar, durante las labores de preparación del terreno.

Las especies de hoja caediza podrán trasplantarse a raíz desnuda cuando el diámetro del tronco sea inferior a 20 cm (medido a un metro del suelo). En individuos de tamaño superior sólo se deberán trasladar en situación muy concreta y con el sistema radicular protegido por el cepellón.

En cuanto a las especies de hoja persistente, siempre se trasplantan con cepellón y hay menos restricciones en cuanto al tamaño del ejemplar.

En el caso de que la planta sea grande, no se plante en el momento o haya que trasladarla a un lugar alejado, se deberá inmovilizar el cepellón, bien rodeándolo con una envoltura de yeso o escayola, bien con duelas de madera muy apretadas contra la tierra. En cualquier caso será conveniente cortar las raíces que sobresalgan del cepellón.

La obtención y utilización de propágulos procedentes de la vegetación natural del área, por el contrario, no implica riesgos, y además asegura la utilización de plantas perfectamente adaptadas a las condiciones ambientales del área a tratar. Por otro lado, la mayoría de las plantas de ribera y de zonas inundadas (sauces, chopos, etc.) producen vigorosos brotes de cepa y raíz, que pueden ser aislados y trasplantados, y la mayoría de los hidrófitos se producen bien por estolones o bulbos, los cuales pueden ser recolectados y utilizados posteriormente. En la Fig. 8.2. se ilustra el procedimiento de obtención de nuevas plantas:

- A. Seleccionar una rama limpia de raíces adventicias y ramillas de un árbol situado cerca de la capa freática.
- B. Cortar manteniendo este ángulo y sin rebasar las tres cuartas partes del diámetro de la varilla.
- C. Cortar entre 2 y 2,5 cm por encima del suelo (7-10 cm con ramas gruesas).
- D. Cortar de forma ascendente de A a B.
- E. Cortar la parte saliente una vez que la rama ha sido colocada.

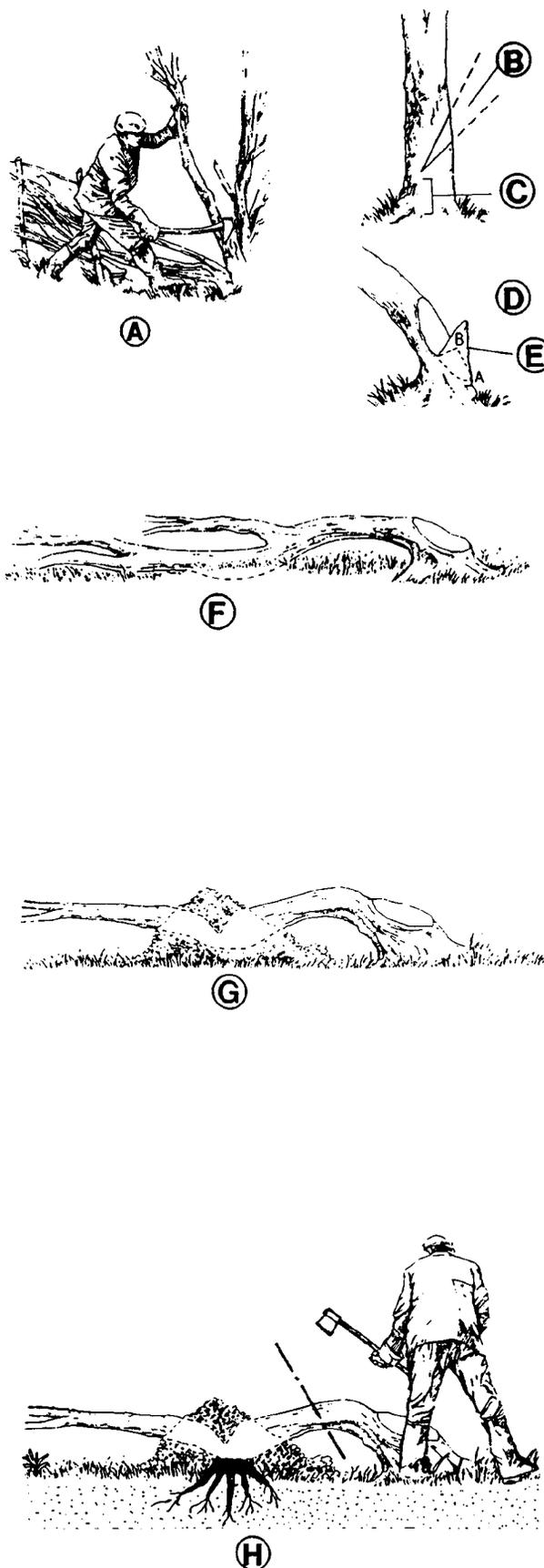


Figura 8.2. Obtención de una planta nueva a partir de un ejemplar adulto.

- F. Tumbiar la rama hasta que toque el suelo. Limpiar de maleza la zona de contacto y excavar un pequeño surco para enterrarla hasta la mitad.
- G. Hacer una muesca en la parte superior de la rama, en el punto donde ha sido enterrada, y amontonar tierra sobre ella.  
Si el peso de la rama no es suficiente para que se mantenga en esta posición, es conveniente sujetarla con un gancho al suelo.
- H. Las raíces se desarrollarán donde la rama ha quedado enterrada, entonces puede cortarse la rama entre estas raíces y las viejas, creciendo una planta independiente, que eventualmente puede ser trasplantada a otro lugar.

### 3.2.1. Tipo y tamaño de planta

Respecto a las especies comercializadas, el tamaño y tipo de planta es función del tiempo de permanencia en vivero o madurez del vegetal, y de la forma de cultivo, respectivamente.

Los tamaños de planta más comunes disponibles en vivero y las dimensiones con los que se les caracteriza en los catálogos de venta, se han esquematizado en la Fig. 8.3.

A la hora de seleccionar el tamaño de planta, conviene tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- **Plantones.** Su precio de compra es bastante barato, aunque su utilización se encarece, ya que requieren un mantenimiento largo y costoso. Son muy sensibles a las agresiones de la fauna (conejos, topos, etc.), y a la competición con especies invasoras. Se requieren medidas de protección de las plantaciones (vallados, redes, etc.) y tratamientos periódicos con herbicidas o desbroces, para eliminar la vegetación competidora.

Su efectividad completa sólo se consigue a medio y largo plazo, aunque los ejemplares plantados por este sistema suelen estar mejor adaptados y ser más resistentes que los que son trasplantados a una edad más madura.

Los plantones son muy apropiados para plantaciones a gran escala con fines productivos o de repoblación. Suelen plantarse mecánicamente, en surcos previamente abiertos.

- **Fustales.** Ofrecen varias ventajas, incluido su bajo coste, la sencillez de su manejo, su capacidad de adaptación a las condiciones del lugar de trasplante. Requieren un mantenimiento menor que los plantones y resisten mejor la competencia con las malas hierbas.

Están indicados para la plantación de pequeñas superficies donde no es posible abrir surcos, por dificultades de acceso de la maquinaria o por un sustrato inadecuado.

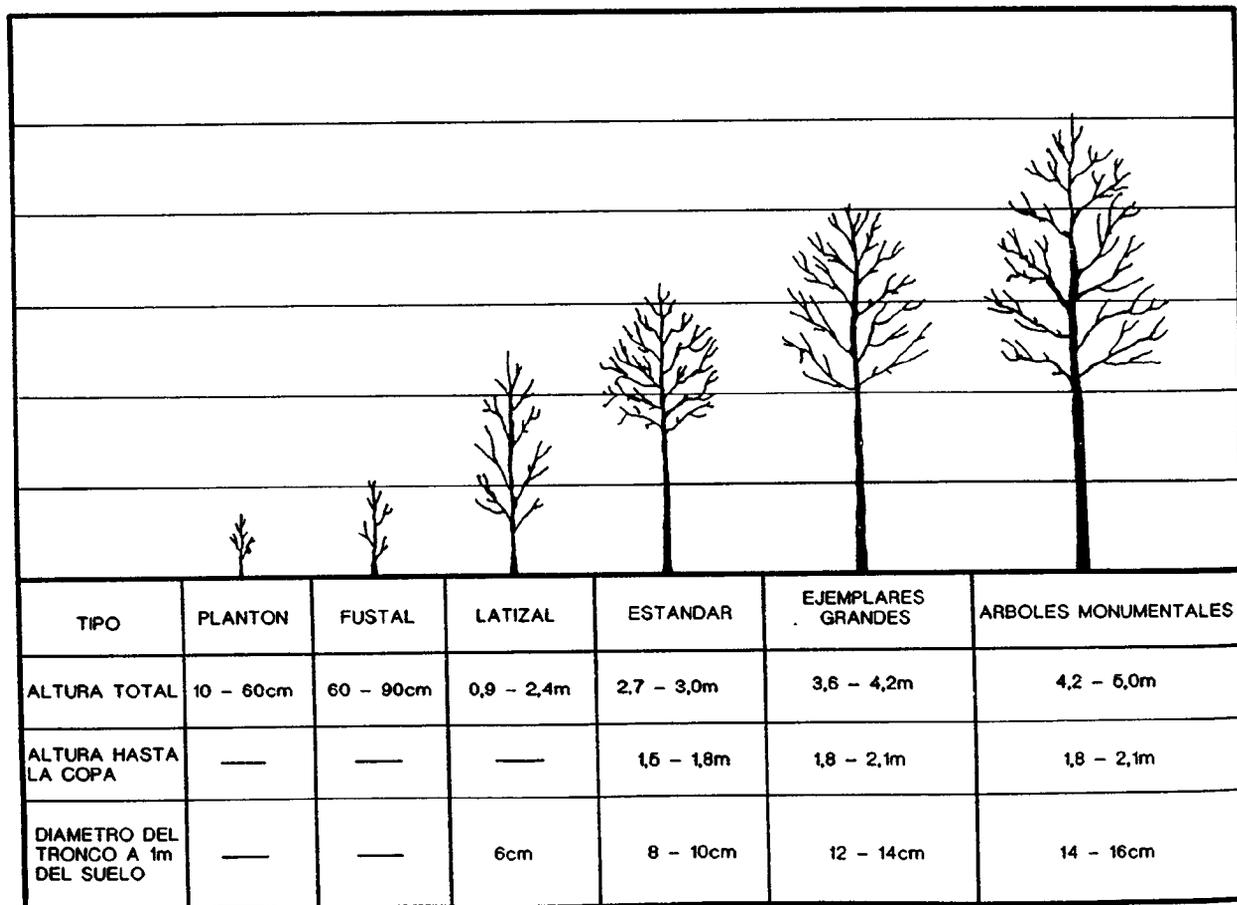


Figura 8.3. Tamaños de planta más característicos disponibles en vivero.

— **Latizales.** Requieren pocos cuidados iniciales y de preparación del sustrato y arraigan bien, aunque su coste es superior al de los fustales.

Están indicados para la creación de pantallas o la plantación de zonas donde se requieren resultados a corto plazo.

Es necesaria la colocación de tutores, con lo cual se encarece el coste de la operación de plantación.

— **Arboles de tamaños estándar y grande (2,4 a 5 m).** Están disponibles en una variada gama de tamaños. Estos tamaños de planta están indicados para la plantación de árboles individuales, setos, pantallas y bosquetes.

Con su utilización se obtienen resultados a corto plazo, aunque son muy caros y las posibilidades de que arraiguen y se desarrollen convenientemente son bastante inferiores a las de las plantas más jóvenes. Su utilización no está indicada en zonas expuestas a condiciones extremas o con suelos muy pobres.

Es necesaria la colocación de fuertes tutores para mantener la verticalidad del tronco y evitar malformaciones, y la adopción de otras medidas de protección que incrementan los gastos de plantación. El tipo de planta más utilizado, por los buenos resultados que se suele obtener con su empleo, es la planta con cepellón, presentada en maceta, contenedor o bolsa. La tierra del cepellón asegura la protección de las raíces durante el transporte y almacenamiento de las plantas, impide su desecación y permite tiempos más largos de almacenamiento sin que la planta sufra daños; además el trasplante resulta mucho menos traumático, ya que la planta no es arrancada del espacio donde se ha producido su germinación y desarrollo, sino que se traslada y reimplanta con el recipiente donde fue cultivada. Con ello se favorece la supervivencia de las especies y se aumenta el éxito en los trabajos de revegetación.

Entre los inconvenientes que presenta su empleo hay que destacar su elevado precio y que, generalmente, sólo hay disponibles en vivero plantas jóvenes de hasta 1 año y medio de edad (el tamaño estándar de los contenedores es de 70 a 150 mm de longitud, por 20 a 80 m de diámetro).

### 3.2.2. Técnicas de plantación y procedimiento

#### Plantación de semillas en bolsa y plantones

La superficie de plantación debe ser desbrozada previamente y rociada con algún producto herbicida, como por ejemplo el glifosfato, para reducir la vegetación competidora.

Los cuidados culturales del terreno antes de la plantación sólo son necesarios en las zonas más compactadas.

La plantación puede hacerse por medios manuales o mecánicos, en hoyos o surcos, Fig. 8.4. La plantación mecánica está indicada para superficies grandes y presenta unos rendimientos mayores, aunque se tiene menor control sobre la ubicación de las plantas, ya que los

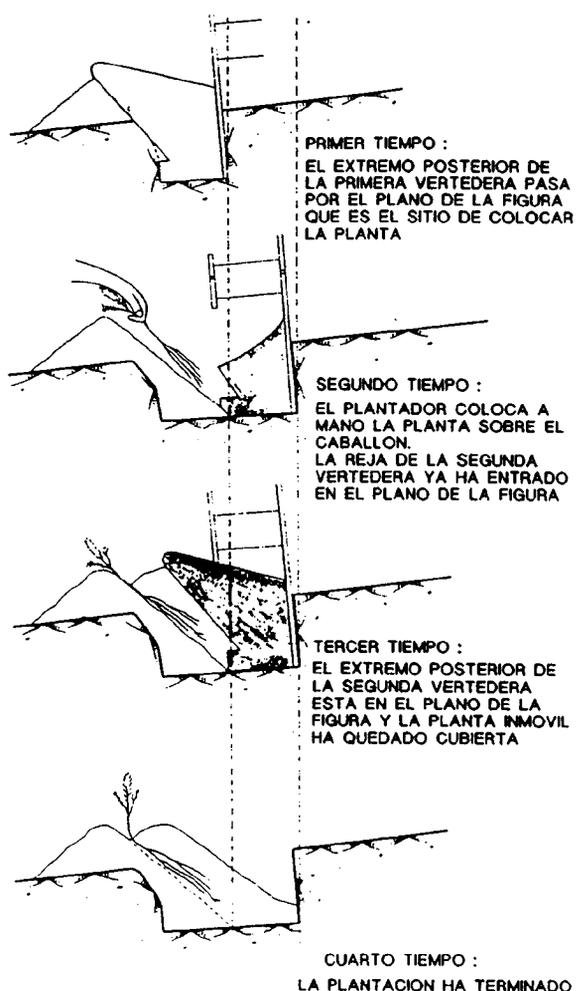


Figura 8.4. Esquema de la plantación simultánea con arado y perfil resultante en el terreno.

puntos donde ha de asentarse la planta están predeterminados a lo largo de la línea de plantación.

La pedregosidad y la pendiente y la mala accesibilidad son factores que limitan el empleo de este método.

La plantación manual está indicada para zonas con pendientes elevadas, superficies pequeñas y terrenos fácilmente compactables (suelos arcillosos, pesados, encharcables, etc.), donde no es posible la utilización de maquinaria.

Los hoyos no deberán ser menores de 30 cm de diámetro por 30 cm de profundidad; en cualquier caso, el tamaño dependerá de las especies y el grado de desarrollo que pueden alcanzar. El hoyo puede efectuarse con un azadón, azada de pico o zapapico, plantamón, barrón y, en casos especiales, mediante perforadoras o barrenas de acción mecánica transportadas en tractores. El plantamón está indicado para terrenos pedregosos o compactados y el barrón para plantación de estaquillas, Fig. 8.5.

El hoyo ha de ser suficientemente profundo para que las raíces no se dañen o deformen. Una vez instalada

la planta de forma adecuada, el hoyo se vuelve a rellenar de manera que el tallo no quede tapado, dejando una pequeña hondonada para recoger el agua de lluvia o la de riego.

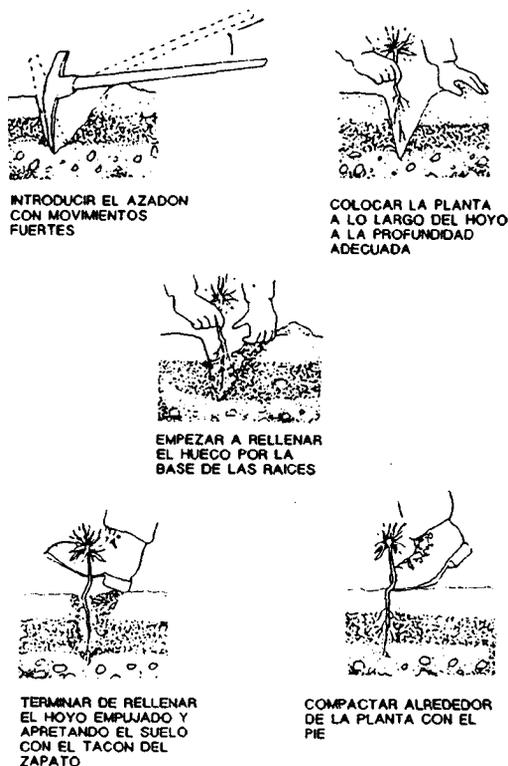


Figura 8.5. Sistema de plantación con azada de pico (VOGEL, 1987).

#### Plantación de latizales, fustales y árboles de tamaño estándar

La técnica más apropiada para estos tamaños de planta es la plantación en hoyo, por medios manuales o

mecánicos, Fig. 8.6. Las limitaciones y las condiciones que aconsejan el empleo de uno u otro método son los mismos que en el caso de los plantones.

El hoyo excavado debe ser suficientemente grande para acoger las raíces de la planta sin dañarlas y permitir su desarrollo posterior. Generalmente se excavan hoyos de entre 0,45 x 0,45 x 0,45 m y 0,60 x 0,60 x 0,60 m.

Cuando se plantan árboles de tamaño superior a 1 m de altura, es necesario colocar un tutor. El tutor debe clavarse firmemente en el fondo del hoyo, a una profundidad mínima de 30 cm, antes de colocar la planta, y debe sobresalir, al menos, 50 cm sobre la superficie del suelo.

Los sistemas de fijación entre el tutor y el árbol han de ser suficientemente amplios para permitir que el árbol crezca sin que se produzcan daños en la corteza ni heridas. El proceso de plantación se ha esquematizado en la Fig. 8.6.

En condiciones adversas (climas áridos, sustratos muy pobres o excesivamente pedregosos) es necesario añadir al hoyo de plantación una serie de aditivos para corregir estas deficiencias, Tabla 8.8.

#### Plantación de estaquillas y/o esquejes

Especies tales como chopos (*Populus sp.*) o sauces (*Salix sp.*) a menudo son plantadas mediante esquejes o estaquillas. El hoyo de plantación se hará manualmente, bien con plantamón o zapapico, bien con barrón, y debe tener la suficiente profundidad para que se pueda introducir 2/3 de la longitud total de la estaquilla, que se insertará con los brotes hacia arriba. La plantación deberá efectuarse durante el período de latencia, antes de que broten las yemas.

#### Plantas acuáticas

La mayoría de las plantas acuáticas tienen un crecimiento muy vigoroso y se desarrollan y propagan por ellas mismas sin necesidad de recibir excesivos cuida-

TABLA 8.8. ENMIENDAS RECOMENDADAS PARA LA PLANTACION

Sustratos excesivamente pobres	Fertilización: Turba:	2 a 5 g de nitrógeno por hoyo. 15 a 20 litros por hoyo.
Climas áridos	Mulches:  Fertilización:	Capa de 75 mm de espesor y 90 cm de diámetro en árboles grandes.  Capa de 50 mm de espesor y 50 cm de diámetro en plantas pequeñas.  50 g de N-P-K cada primavera.
	Cubrición del hoyo de plantación con plástico, Fig. 8.7.	
Sustratos excesivamente pedregosos	Relleno del hoyo con materiales ricos en materia orgánica, capaces de retener la humedad (turba, limo, etc.).	

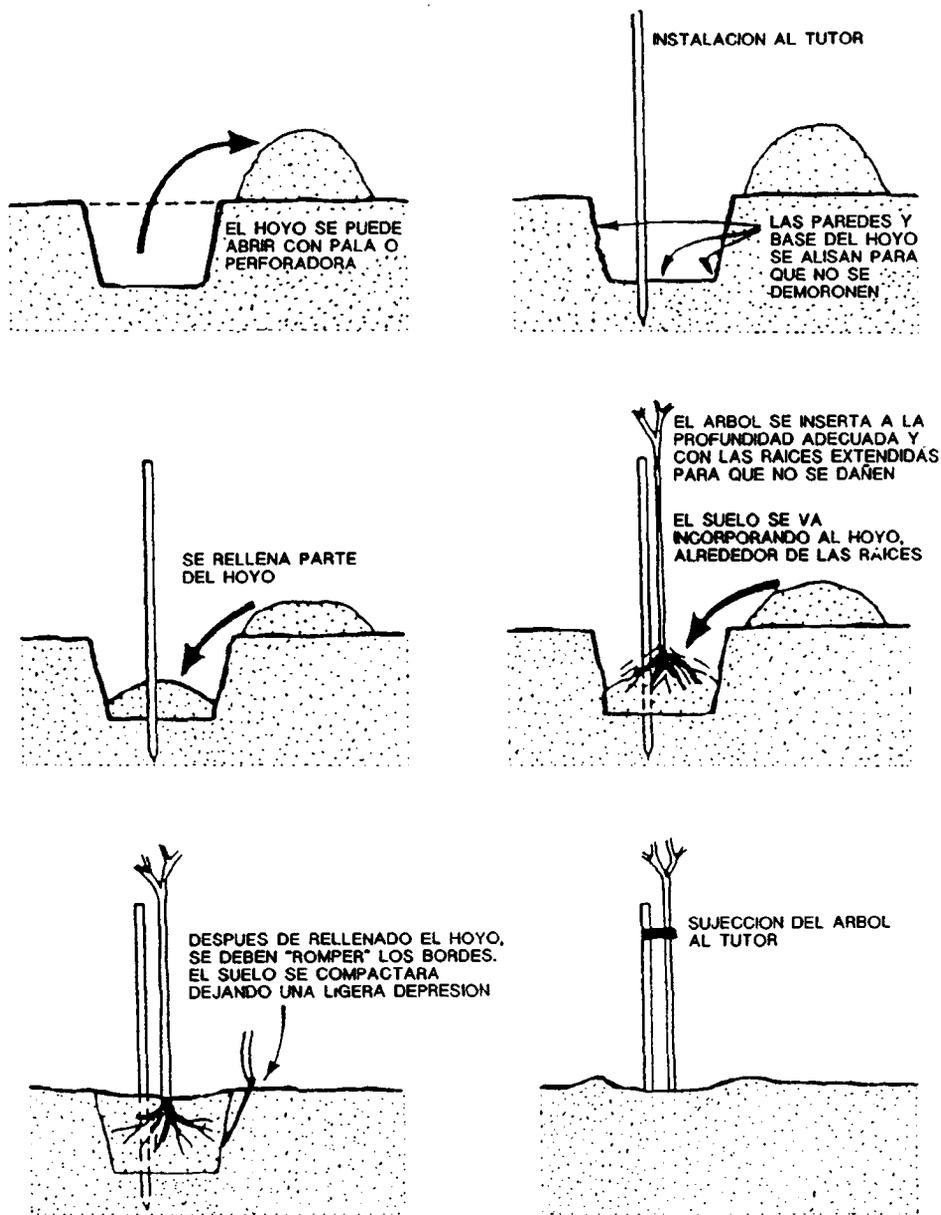


Figura 8.6. Método de plantación de especies con altura superior a 1 m (COPPIN Y BRADSHAW, 1982).

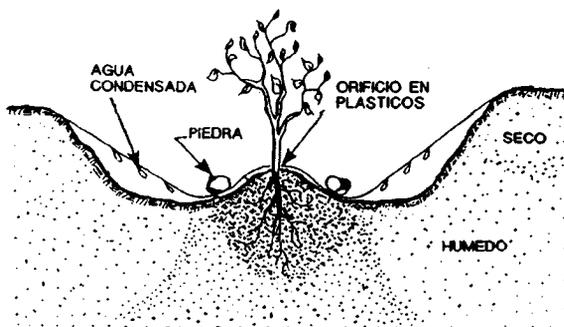


Figura 8.7. Sistema de condensación del agua con una lámina plástica en zonas áridas.

dos. Por ello, la introducción de este tipo de plantas no tiene por qué ser extensivo y con plantaciones poco densas, puede obtenerse en poco tiempo una cubierta continua y bastante compacta.

Las plantas acuáticas provistas de tubérculos o rizomas pueden ser plantadas directamente en el fondo, en zonas con una profundidad de entre 30 cm y 1 m. La plantación progresará después de forma natural hacia zonas más profundas hasta que se instale de forma estable.

Para plantar en zonas más profundas, las plantas se lastran introduciendo las raíces y los tallos en bolas de arcilla, o atando firmemente grupos de plantas a piedras de un tamaño apropiado y después se dejan caer dentro del agua desde una barca.

## Plantación de cañaverales en márgenes inundadas

Las cañas, carrizos y juncos (*Tipha sp*, *Carex sp*, *Juncus sp*, *Scirpus sp*, *Phragmitex sp*, etc.) pueden plantarse de diversas maneras.

La plantación con cepellón, Fig. 8.8, es la más tradicional y puede ser aplicada a todas las plantas propias de esta zona.

Primero se siegan los órganos aéreos de los ejemplares a trasplantar, y se extraen cepellones en forma de cubo que se introducen en tiestos preparados a tal efecto. Estos tiestos se colocan en el sitio previsto dentro de hoyos abiertos con anterioridad, en una zona y a una profundidad tal que queden sumergidos dos tercios o más.

La plantación por rizomas y esquejes, Fig. 8.8, está indicada para especies de los géneros *Phalaris*, *Typha*, *Juncus*, *Acorus*, *Iris* y *Glyceria*, entre otras. Este método exige un número menor de plantas que los cepellones.

Los ejemplares se pueden obtener directamente en cañaverales naturales durante el período de reposo, después de haber segado su parte aérea. Los rizomas y esquejes deben ser cuidadosamente desenterrados, protegiendo sus yemas y extremidades en crecimiento.

El material así obtenido se introduce, generalmente de tres en tres, en hoyos o zanjas de 30 a 50 cm de profundidad, previamente excavadas en la línea del nivel medio del agua, de forma que solamente emerjan del suelo las partes aéreas.

En terrenos compactos o muy pedregosos, los hoyos deben ser abiertos con plantamón.

Las especies de *Phalaris* y *Glyceria* pueden también ser semisembradas en suelos muy húmedos, siempre que exista la seguridad de que la superficie no se va a inundar durante los primeros seis meses después de la siembra.

Con estos métodos, muchas veces no se consigue el efecto protector buscado, y es necesario utilizar materiales inertes en combinación con estas estructuras vivas. El método más utilizado son los rollos de cañas,

Fig. 8.8. El método de ejecución es el siguiente: detrás de una hilera de estacas se excava una zanja de 40 cm de ancho y otros tantos de profundidad. De ambos lados se desenrolla una alambrada sobre la que se deposita el material de relleno, que puede ser grava, y después se introducen los cepellones, cosiendo luego la alambrada con dos costuras de alambre galvanizado. La parte superior de los rollos no debe sobrepasar más de 5 cm el nivel del agua. Acto seguido se cubre toda la estructura con tierra y restos de cepellones y se retiran las estacas.

Se puede también combinar la plantación de cañaverales con pavimentados, empedrados o gaviones, plantando los esquejes o los rizomas en las juntas a la altura del nivel de aguas bajas.

## Plantación de sauces en las orillas

Como ya se ha indicado, casi todas las especies ribereñas brotan bien de cepa, y los sauces, además, son capaces de desarrollar raíces secundarias de sus troncos y ramas cortadas.

Un método de plantación muy utilizado para los sauces es introducir en el suelo ramas secundarias cortadas de ejemplares adultos de los alrededores del área, en forma de esquejes, varas o pértigas, trenzadas entre sí, o sujetas con alambre formando fajinas o rulos de fajinas, Fig. 8.9. A.

El trenzado se dispone en estera o en bardal y debe ser introducido a 20 cm del suelo para que pueda enraizar y dar renuevos.

Las fajinas y rulos de fajinas, Fig. 8.9. A, son cuerpos cilíndricos de 4 a 20 cm de longitud y de 10 a 40 cm de diámetro que contienen estaquillas, lo menos ramificadas posible, ligadas entre sí por un alambre bien apretado. Se disponen sobre el terreno de forma que las partes que van a enraizar estén fuera del agua, en contacto con el suelo. Para mejorar el contacto con el suelo y retener la humedad se cubren con tierra. Los rulos de fajinas se cubren de grava o pellotes de hierba.

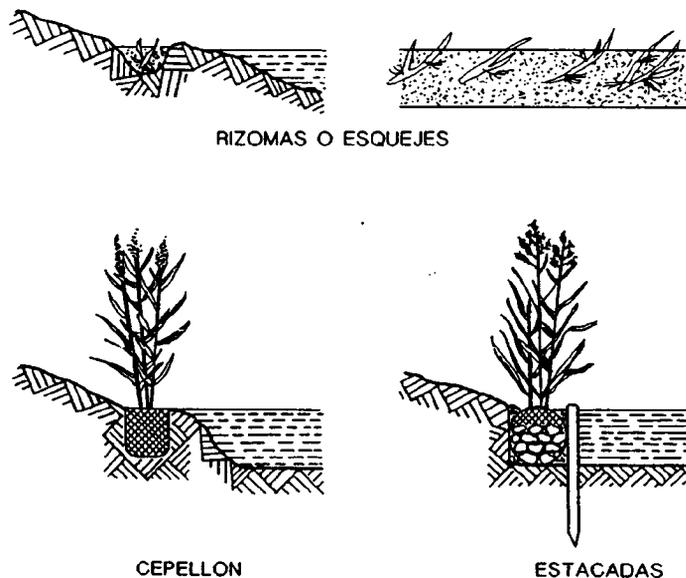


Figura 8.8. Técnicas de plantación de cañaverales.

Para aumentar la efectividad de la plantación pueden utilizarse anclajes, cañizos o fajinas embaladas, Fig. 8.9 B y C.

Los anclajes se hacen con vergas de sauce de 2 a 3 años, de 1,50 a 2 m de largo, dispuestas paralelamente con una separación de 1 a 5 cm, y perpendiculares a la dirección de la corriente, o enclavadas contra la dirección del agua. La base de las vergas se pone en una zanja longitudinal de 15 cm de profundidad que se cierra después de la instalación.

Las varas de sauce instaladas se fijan fuertemente con alambre, fajinas o esteras de sauce. Se emplean estacas de 0,60 a 1 m para la fijación con alambre, y para el anclaje al suelo de las gruesas esteras de sauce se introducen antes de instalar las vergas de tal forma que todavía emerjan de 10 a 20 cm. Después de la colocación de las varas, las estacas se unen entre ellas con alambre galvanizado y después se introducen de nuevo hasta que la cama de vergas se fije completamente al suelo.

Si se utilizan fajinas o esteras de sauce para la consolidación, su separación será de 1 a 1,20 m. La cama se cubre ligeramente de tierra, de forma que el ramaje quede tumbado, pero no totalmente cubierto. En cuanto al cañizo, se compone de capas anchas de 10 a 20 cm de haces fijados por fajinas espaciadas de 60 a 80 cm, tumbadas paralelamente al sentido de la corriente o haciendo con él un ángulo de 30°. Las extremidades de la capa inferior recubren la base de la capa situada encima; la fila inferior está sujeta en la base dentro de una zanja excavada previamente al pie del talud. Se cu-

bre todo con tierra o grava fina con un espesor de 15 a 25 cm.

Las fajinas embaladas, Fig. 8.9 B, se componen en lo esencial de camas de ramaje sujetadas con un espesor de 20 a 30 cm, cubiertas de fajinas de ramas verdes, fijadas por piquetas y a ser posible por ramas horquilladas. Entre las fajinas el relleno quedará asegurado por grava, piedras y tierra; después se pone una cama de 20 a 30 cm por encima. Las fajinas embaladas están especialmente indicadas para la restauración de orillas con fuertes variaciones estacionales en el nivel del agua.

En los puntos en que la orilla no esté lo suficientemente protegida por la repoblación hasta el desarrollo completo de su sistema radical, debe ser asegurada su protección provisional con materiales inertes: empedrado o pavimentado, Fig. 8.9 D.

### 3.2.3. Epoca de plantación

La época de plantación depende de las condiciones climáticas de la zona (pluviosidad, vientos dominantes, etcétera) y del tipo de vegetación a instalar.

Lo fundamental es efectuar la plantación durante el período de reposo vegetativo de las plantas. Este período suele coincidir con los meses más fríos, desde finales de octubre a principios de abril.

La plantación sólo podrá realizarse en invierno si se evitan los días de heladas intensas. Por el contrario,

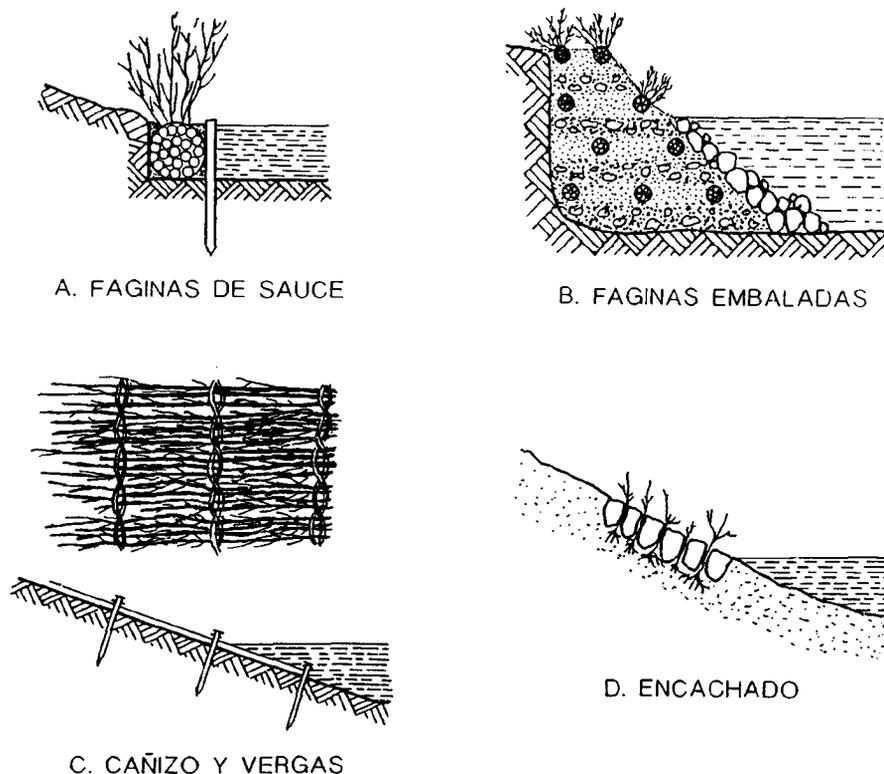


Figura 8.9. Técnicas de plantación de sauces.

durante el verano no es conveniente plantar, a menos que sea factible efectuar riegos periódicos y seguidos.

La frecuencia de períodos de sequía puede ser limitante para el desarrollo de la nueva vegetación, incluso tomando precauciones, como es el extendido de una capa de mulch que disminuya la evaporación.

La época idónea queda restringida al final del otoño para especies arbóreas nobles, y comienzos de la primavera para coníferas.

Algunos especialistas señalan que el invierno suele ser la estación más adecuada para plantar árboles y arbustos a raíz desnuda, mientras que las especies cultivadas en cepellón y en contenedores o macetas podrán transplantarse en cualquier época del año siempre y cuando sean regadas durante los meses más secos del verano.

### 3.2.4. Densidad de plantación

La densidad y forma de plantación depende de la localidad, del uso propuesto y de las exigencias de la propia especie.

En general, la revegetación con fines productivos acepta mayor densidad de arbolado que otras cuyo objetivo sea la recuperación natural o el uso recreativo. Sin embargo, siempre debe tenerse en cuenta el entorno natural donde se integra la zona a recuperar y tomarse como modelo o "pattern" de distribución las formaciones vegetales próximas.

Los árboles y arbustos pueden ser plantados de muy diversas maneras: aleatoriamente, las especies se mezclan sin ningún orden establecido; plantación de hileras, Fig. 8. 10 (separación entre hileras de 6 a 8 m) o mezcla de hileras, cada especie se planta en una fila o grupo de filas junto a otras de distinta especie; y plantación en grupos, es la forma que mejor reproduce el bosque natural. En general, y en particular en el caso de la plantación en hileras, se deberá evitar toda regularidad, colocándose las plantas de manera que no queden signos de linealidad.

En plantaciones con fines comerciales la densidad debe ser tal que permita el paso de maquinaria y no se produzcan daños en la forma y desarrollo de las especies. Por regla general las coníferas se plantan más juntas que las caducifolias. Una densidad aproximada de 1.900 a 2.400 ejemplares/ha asegura una producción óptima.

Una separación adecuada de árboles es de 2 a 2,5 m, aunque estará condicionada por la densidad final que se quiera obtener. En la Tabla 8.9 se indica la relación entre distintas separaciones de árboles y las densidades correspondientes.

TABLA 8.9

SEPARACION (m)	DENSIDAD (pies/ha)
1,5 x 1,5	4.450
2 x 2	2.500
2,5 x 2,5	1.600
6 x 6	270

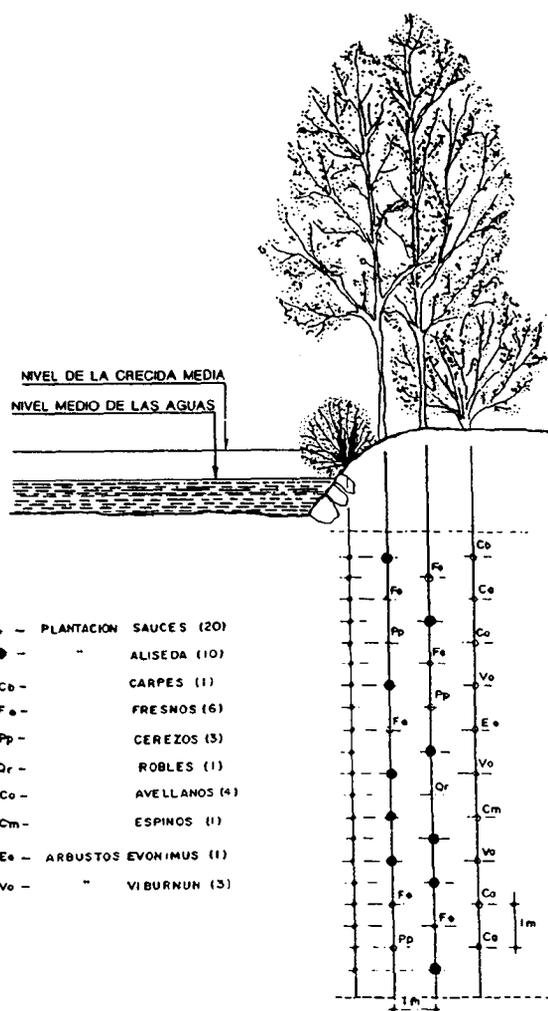


Figura 8.10. Esquema de plantación de árboles y arbustos en una ribera.

A continuación se indica, según VOGUEL, la separación entre árboles para algunas de las especies más usadas en la vegetación de terrenos alterados:

- Coníferas: 1,5 x 1,5 ó 1,8 x 1,8 m.
- Chopos: 2,4 x 2,4 m.
- Alternancia de chopos con coníferas, alisos o acacias: 2,1 x 2,1 m.
- En caso de utilizar la plantación como medida para disminuir la erosión se recomienda una separación de 1,2 a 1,5 m y una distancia entre hileras de 1,5 a 1,8 m.

En la formación de pantallas vegetales se deberán utilizar especies arbóreas y arbustivas de follaje denso. Deberán ser lo más tupidas posible, dejando la mínima separación que permita el desarrollo adecuado de las plantas.

### 3.2.5. Protección de las plantaciones

Es conveniente proteger las plantaciones de daños ocasionales causados por diferentes animales, como roedores, conejos, vacas, ovejas, etc.

Los conejos en particular suelen estar presentes en gran número en los alrededores de las graveras, ya que para la construcción de sus madrigueras prefieren las zonas arenosas descubiertas y los taludes de escasa altura.

Algunos de los sistemas de protección más utilizados son los siguientes:

- **Protectores de polipropileno en espiral.** Útiles para plantas pequeñas (60 cm-2,5 m de altura). Tienen al menos 60 cm de altura.

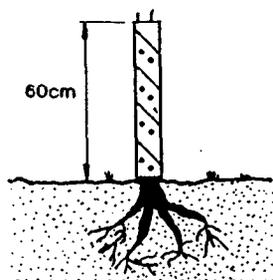


Figura 8.11. Protector en espiral.

- **Protectores de netón.** Son más caros, pero proporcionan un espacio más amplio, que facilita el desarrollo de la planta. Están indicados para plántones y para algunos arbustos. Si es necesario pueden fijarse al suelo mediante una varilla o tutor.

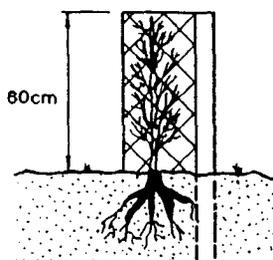


Figura 8.12. Protector de netón.

- **Redes anticonejos.** Están indicadas para plantaciones a gran escala. Son mallas plásticas perforadas, con aperturas de no más de 30 mm, que deben elevarse hasta al menos 60 cm y enterrarse en el suelo hasta una profundidad conveniente para evitar que los conejos excaven galerías por debajo de la red. Este tipo de estructura no protege contra los animales más grandes.
- **Vallas contra el ganado.** Cuando las plantaciones se han realizado en áreas cercanas a pastizales y prados, deben rodearse de una valla perimetral que impida el acceso de los animales hasta la zona plantada. Los protectores individuales no son útiles frente a este tipo de animales.
- **Tubos "Tuley".** Son tubos de plástico de hasta 2 m de alto que protegen los árboles del ataque de conejos y otros animales pequeños.

- **Repelentes químicos.** Es una alternativa a los sistemas de protección físicos, aunque generalmente son poco recomendables, ya que pueden tener efectos secundarios en las cadenas tróficas que alteren el equilibrio del ecosistema.

### 3.3. Siembra

La siembra consiste en depositar en el terreno, previamente preparado, semillas de las especies seleccionadas para revegetar las zonas a recuperar. Las especies que generalmente se introducen mediante este método son herbáceas vivaces, aunque, como ya se ha indicado, también pueden sembrarse semillas de árboles y arbustos.

Los métodos de siembra más comunes son en hileras y a voleo, que requieren herramientas agrícolas tradicionales, mientras que la hidrosiembra y siembra aérea necesitan equipos más sofisticados y caros.

Al igual que en la plantación, la elección del método de siembra está condicionada por los factores climáticos, edáficos y económicos de la zona a recuperar. En la Tabla 8.10 se indican las limitaciones para la realización de la siembra en hileras, a voleo o mediante hidrosiembra.

La aplicación de la siembra en hileras queda limitada a zonas de topografía suave que permitan el paso de maquinaria y con suelos bastante fértiles y libres de piedras. Dadas las características exigidas, no es un método adecuado para utilizar en terrenos degradados, donde la presencia de materiales poco consolidados y fácilmente compactables impide el uso de maquinaria.

La siembra a voleo incluye la siembra a voleo manual o por medios mecánicos, la hidrosiembra y la siembra aérea. El primer método es el más barato, recomendado para terrenos difíciles donde no es aconsejable cultivar.

En materiales de textura gruesa las semillas se introducen de forma natural entre las pequeñas grietas y hendiduras del terreno, donde el microclima es más favorable para la germinación.

En cuanto a la siembra aérea, se suele realizar con avionetas equipadas con los mismos materiales que las utilizadas para abonar. Se trata de un método muy caro que sólo compensa su utilización en caso de superficies extensas, o zonas muy pendientes e inaccesibles a otros equipos de siembra.

La hidrosiembra es un método específico de la siembra a voleo y está esencialmente indicado para sembrar superficies de elevada pendiente, terrenos poco consolidados y espacios inaccesibles a la maquinaria convencional.

La hidrosiembra se basa en la aplicación a gran presión, sobre la superficie del terreno, de una suspensión homogénea de agua y semillas con otros aditivos opcionales como fertilizantes, mulches y estabilizadores químicos, Fig. 8.13. Es un método cada vez más utilizado.

Otro método de siembra de especies arbóreas consiste en efectuar la apertura de un hoyo de 10 a 15 cm de profundidad, añadiendo en el fondo fertilizante de liberación lenta (2 g de fertilizante nitrogenado de 5% de N). El número de semillas que se pueden colocar por hueco depende del tamaño de las mismas, Tabla 8.11.

TABLA 8.10. 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°.	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 de mulch en el período 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 las semillas	Uniforme: en hileras.	Aleatoria.	Aleatoria.
• Establecimiento de las semillas	Muy efectiva.	Resultados variables.	Resultados variables.
• 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 de bajo precio.	Muy barato. La adición de mulch puede encarecer la técnica.	Caro.

Fuente: COPPIN, N. J., and BRADSHAW, A. D. 1982.

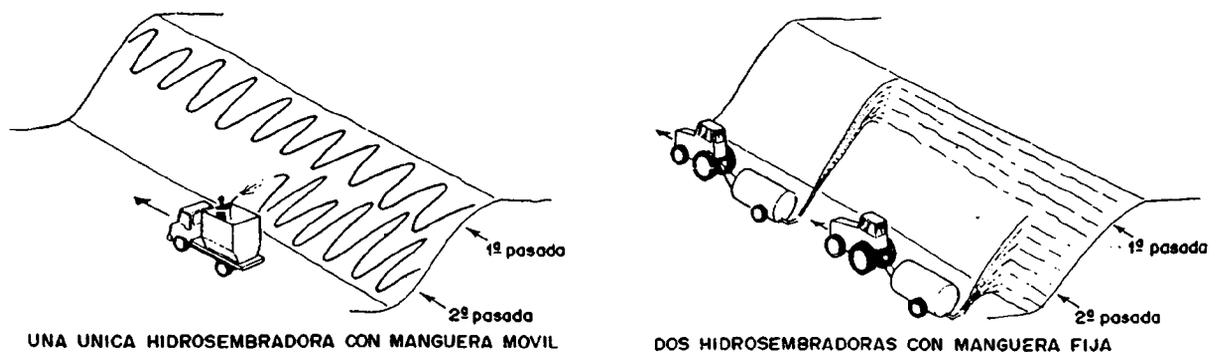


Figura 8.13. Método de hidrosiembra en taludes (COPPIN BRADSHAW, 1982).

**TABLA 8.11. RELACION ENTRE EL TAMAÑO DE LAS SEMILLAS Y EL NUMERO QUE PUEDEN DEPOSITARSE EN CADA HOYO**

DIAMETRO (cm)	NUMERO DE SEMILLAS
< 1,5	20
1,5 - 3	10
3 - 6	5
6 - 12,5	3

Fuente: COPPIN, N. J., y BRADSHAW, A. D. (1982).

Para crear unas condiciones ambientales idóneas es conveniente extender, alrededor del agujero, una capa de mulch que retenga la humedad del suelo (en una superficie de 0,6 a 1 m de diámetro).

En el segundo año se extraen las plántulas desarrolladas, dejando únicamente un ejemplar en cada hoyo. Se requieren controles periódicos de humedad y fertilización.

Otra técnica alternativa a la hidrosiembra, y específica para sembrar árboles y arbustos, consiste en lanzar, bien de forma mecánica, bien de forma manual, cuando la zona es pequeña, una mezcla de semillas, fertilizante y mulch (fibra vegetal) sobre pequeñas superficies, de 9 cm de ancho y 13 cm de longitud y a intervalos determinados de antemano y controlados por la maquinaria. Este método es más barato que la plantación manual de especies vegetales criadas en vivero.

### 3.3.1. Época de siembra

Los factores que condicionan la época de siembra son principalmente las características climáticas y microclimáticas locales de la zona, además de la técnica de implantación elegida, el acondicionamiento del terreno y las características mesológicas de las especies a sembrar.

De forma general, la época idónea de siembra coincide con el comienzo de la estación de desarrollo: la semilla necesita germinar y establecerse antes de que se inicie el período de latencia y las condiciones atmosféricas se vuelvan adversas. Normalmente coincide o precede a la época de lluvias.

Las semillas tienen que tener la suficiente humedad para germinar y no deben someterse a períodos de es-

trés hídrico. Ello indica que el verano es la estación menos adecuada para proceder a la siembra, incluso si se dispone de un sistema de riego intenso.

En general, en la Península Ibérica la mejor época de siembra coincide con los comienzos de la primavera y el final del otoño, antes de que comiencen los fríos y heladas del invierno. Sin embargo, dada la diversidad climática que existe en la Península, dicha época dependerá de las condiciones concretas de la zona donde vaya a efectuarse la siembra.

El final del otoño puede ser una época poco adecuada para la siembra de algunas especies leguminosas, susceptibles a ser atacadas por hongos.

Las áreas de montaña que cuentan con períodos de germinación cortos y con épocas relativamente largas en que el suelo permanece encharcado, la siembra se deberá efectuar a finales de otoño, pero sin coincidir con el comienzo de las nevadas.

Las especies arbóreas o arbustivas que necesitan un tratamiento natural de frío para poder brotar, se deberán plantar al comienzo del invierno para que puedan germinar en la primavera siguiente.

La revegetación tiene más éxito cuando se efectúa inmediatamente después de preparado el terreno. En caso de que esto no pudiera llevarse a cabo sería conveniente fertilizar la zona y sembrarla con especies herbáceas que protegen el suelo. La mezcla principal de semillas se sembraría en una segunda etapa durante el otoño o la primavera siguiente.

### 3.3.2. Dosis de siembra

La cantidad de semilla que debe emplearse para cubrir una zona varía según los condicionantes de la misma; es decir, en función del uso que se pretenda, el tipo de vegetación seleccionada, la técnica de implantación que vaya a emplearse y, naturalmente, las condiciones físicas del terreno, Tabla 8.12.

A la hora de calcular la dosis de siembra, siempre hay que hacerlo con un amplio margen, ya que no todas las semillas que vayan a ser sembradas germinarán, bien por no encontrar las condiciones ambientales más adecuadas para ellas (falta de humedad, helada, pérdida por erosión, etc.), bien porque no tengan un nivel de germinación adecuado.

Cuanto mayor sea la tasa real de germinación de las semillas (TRG = % pureza x % germinación), mayor será la probabilidad de supervivencia de la semilla. La

**TABLA 8.12. NIVELES DE SIEMBRA**  
(1 kg = 1.000 semillas)

METODO	CULTIVO PROTECTOR (kg/ha)	ESPECIES NATURALES (semillas/m <sup>2</sup> )	GRAMINEAS LEGUMINOSAS (kg/ha)	ARBOLES ARBUSTOS (semillas/m <sup>2</sup> )
• Siembra en hileras	10	10	25- 40	5
• Siembra a voleo o hidrosiembra:				
— Fuertes pendientes (con mulch)	10- 50	20	80-100	5-10
— Pendientes medias (sin mulch)	50-100	20	150	5-10
— Pendientes ligeras o zonas llanas (sin mulch)	10	10	50	5-10

Fuente: COPPIN, N. J., y BRADSHAW, A. W. 1982.

cantidad real necesaria para sembrar una hectárea de terreno viene determinada por:

$$\text{Dosis real (kg/ha)} = \frac{\text{TRG}}{\text{kg/ha estimada}} \times 100$$

La mezcla de semillas debe ser equilibrada, de tal manera que no se produzca competencia entre especies, ni se inhiba el desarrollo de algunas. Por ejemplo, las especies herbáceas anuales no deberán tener una gran representatividad, ya que ello podría retardar el establecimiento de especies permanentes, de mayor interés.

#### 4. CUIDADOS POSTERIORES A LA IMPLANTACION

Durante los años inmediatamente posteriores a la implantación es necesario efectuar una serie de cuidados que garanticen el desarrollo adecuado de la vegetación hasta que pueda mantenerse por sí sola.

El período de tiempo durante el cual es necesario efectuar las labores de mantenimiento está en función del tipo de vegetación instalada, de la calidad del sustrato sobre el cual se asienta y de las condiciones atmosféricas de la zona. Los primeros dos años son los más críticos, aunque generalmente es conveniente prolongar el período de mantenimiento hasta los cinco años siguientes a la implantación.

De forma general, puede indicarse que los cuidados mínimos que deben llevarse a cabo son:

- Riego.
- Fertilización: requerimientos nutricionales de las plantas.
- Control de plagas y malas hierbas.
- Reposición de mallas.
- Colocación de vientos y tutores.
- Plazo de garantía y repetición de las hidrosiembras.
- Análisis edáficos periódicos, especialmente en zonas contaminadas; presencia de elementos tóxicos, salinidad, etc.
- Aclareo de zonas plantadas y siega de superficies sembradas.

##### 4.1. Riego

Es una labor fundamental en zonas extremadamente áridas con precipitaciones inferiores a 350 mm/año. También es necesario la aplicación de riegos periódicos en áreas donde se hayan implantado especies arbóreas muy sensibles a la sequía.

La periodicidad en los riegos y la cantidad de agua a emplear en cada uno de ellos están limitadas por la disponibilidad hídrica de la zona.

La dosis de riego depende de los requerimientos de agua de las distintas especies vegetales implantadas y de la composición textural del sustrato. A continuación se exponen las necesidades de agua para distintos materiales, según su contenido en arcillas, Tabla 8.13.

TABLA 8.13

MATERIAL	DURACION DEL RIEGO	FRECUENCIA DEL RIEGO
> 50% de arcillas	8 horas	Todos los días
30-50% de arcillas	6 horas	Cada 6 días
< 30% de arcillas	4 horas	Cada día

Fuente: VOGEL, W. G. (1987).

En periodos de fuertes sequías, durante el verano principalmente, sería conveniente efectuar dos riegos semanales de 8 h cada uno, con volumen de agua de 9-7 litros/hora (si la sequía no es demasiado intensa se puede reducir a 1 riego de 7 horas/semana). El volumen de agua y la frecuencia de riegos se puede reducir gradualmente en el segundo año.

Los sistemas de riego de uso más frecuente son el riego por goteo y el riego por aspersión. En la Tabla 8.14 se indican las ventajas e inconvenientes más importantes de cada una de las técnicas de riego indicadas.

El riego se debe efectuar en las primeras horas de la mañana o a las últimas de la tarde, y nunca coincidiendo con días de fuertes vientos, para evitar una evaporación intensa del agua.

##### 4.2. Fertilización

Se deberán efectuar chequeos anuales para asegurarse que las plantas no presentan deficiencias nutricionales. Síntomas tales como amarilleamiento del follaje, aparición de calveros, disminución en el tamaño de los ejemplares, presencia de árboles muertos, observación de parásitos u hongos, etc., pueden ser indicativo de que las especies vegetales están mal nutridas o tienen deficiencia en algún elemento esencial.

Dado que el sustrato no suele presentar una calidad adecuada debido a que se trata de terrenos degradados, las muestras se tomarán de las plantas directamente, haciéndose análisis foliares. Ello no significa que no sea adecuado analizar el sustrato, pero este tipo de muestreo está más encaminado al conocimiento de la presencia de elementos tóxicos, valor del pH, etc.

En los suelos fértiles no es preciso efectuar abonados periódicos de mantenimiento, pero en zonas degradadas o poco productivas es esencial la aplicación de fertilizantes nitrogenados, sobre todo en terrenos exentos o pobres en especies leguminosas. La aplicación podrá ser de 5 g N/árbol o 50 g N/ha en superficies sembradas a voleo, durante una o dos veces al año y en un periodo de 2 a 3 años después de realizada la implantación.

Los fertilizantes pueden ser añadidos en forma de abonado foliar o diluidos en el agua de riego.

El tipo de fertilizante que es aconsejable aplicar depende de las carencias nutricionales que se hayan presentado, del tipo de material sobre el que se planta, del pH, de la presencia de especies vegetales competidoras, etc., pero básicamente estarán formados por nitrógeno, fósforo y potasio, que son los elementos nutritivos fundamentales para el desarrollo: fertilizantes complejos de tipo N-P-K de liberación lenta.

TABLA 8.14. COMPARACION ENTRE EL RIEGO POR GOTEO Y EL RIEGO POR ASPERSION

SISTEMA DE RIEGO	VENTAJAS	INCONVENIENTES
Goteo	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Necesita 1/3 de agua menos que el riego por aspersión.</li> <li>— Evaporación mínima.</li> <li>— Produce el lavado de sales en zonas con alto contenido en <math>\text{CO}_3\text{Ca}</math>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— La efectividad del sistema está condicionado por la calidad del agua (sedimentos, sales, etc).</li> <li>— Necesidad de mantenimientos periódicos.</li> <li>— Sistema poco móvil.</li> <li>— Corta vida de los equipos de riego.</li> <li>— Uso limitado en zonas de alta densidad de plantación.</li> <li>— Sistema caro.</li> </ul>
Aspersión	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Sistema flexible y móvil: se puede colocar donde se quiera.</li> <li>— La vida media del equipo es más larga que la del sistema por goteo.</li> <li>— Menor trabajo de mantenimiento.</li> <li>— Sistema más económico.</li> <li>— No está limitado por la densidad de plantación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— El agua se evapora más fácilmente.</li> <li>— Se necesitan grandes cantidades de agua.</li> <li>— Se debe aplicar con mayor frecuencia.</li> </ul>

#### 4.3. Reposición de marras

Durante el verano siguiente a la plantación (6 meses aproximadamente) se deberá comprobar la presencia de ejemplares arbóreos o arbustivos muertos por cualquier causa. El número de plantas secas o la proporción de superficie respecto al total donde no se ha desarrollado la vegetación, es indicativo del tipo de problema que ha podido producir la muerte de las plantas: enfermedad, mala calidad de la vegetación, problemas de toxicidad, empleo inadecuado de la técnica, competencia de otras especies, etc.

En cualquier caso será necesario reponer los pies muertos, excepto en situaciones en que la mortalidad afecte a más del 70% del total y cuando se observen grandes calveros entre la plantación, ya que ello puede ser indicativo de que tal especie no es adecuada para la zona.

Si pasados dos meses después de efectuada la hidrosiembra no se observa ningún brote de vegetación, es necesario repetir la actuación de nuevo.

#### 4.4. Colocación de vientos y tutores

Cuando las plantas alcanzan una altura de 1 m es conveniente, como ya se ha indicado, sujetarlas con un tutor.

En el caso de especies vegetales de hoja persistente o muy desarrolladas, el tutor no es una medida suficiente de sujeción. Entonces es necesaria la colocación de vientos; se trata de cuerdas o cables que se atan por un extremo al tronco del árbol a la altura conveniente y por otro al suelo, la corteza se deberá proteger convenientemente.

Los soportes deberán reemplazarse cada 3 años, si el árbol todavía no puede sostenerse por sí mismo.

En las visitas periódicas se irán abriendo los enganches entre los vientos o tutores y plantas, para permitir un crecimiento adecuado.

#### 4.5. Control de la calidad del sustrato

Estos controles periódicos están especialmente indicados cuando se trata de terrenos fuertemente contaminados por elementos tóxicos; valores extremos de pH, concentración de sulfuros, hierro, sales, etc. En cada situación concreta se procederá a realizar las operaciones oportunas; pH reducido: aporte de caliza; concentración elevada de sales: riegos periódicos (con cuidado para no producir la pérdida de nutrientes); presencia de elementos tóxicos: neutralización; etc.

#### 4.6. Aclareo y eliminación de las malas hierbas

En zonas con una densidad de población excesivamente alta o superior a la señalada inicialmente como adecuada para cubrir los objetivos propuestos (cada uno necesita una densidad de plantación diferente), es necesario efectuar un aclareo de la vegetación con el fin de conseguir el volumen de plantación deseado.

Normalmente, en las zonas donde la vegetación haya sido introducida mediante plantación no será necesario efectuar aclareos. Este tipo de prácticas suele ser aplicado en superficies sembradas a voleo, donde no es fácil predecir la distribución espacial de las especies.

Una actuación esencial en la plantación es suprimir la vegetación anual que crece alrededor de los ejemplares plantados. Es más importante controlar dicha vegetación que la que crece entre los "pies". Ello se debe a que la competencia por la humedad y los nutrientes

del suelo es más intensa en las proximidades de la zona radical de la planta.

La eliminación de las malas hierbas se puede efectuar de diferentes maneras:

1. Antes de ejecutar el hoyo de plantación.
2. Inmediatamente después de plantado el ejemplar.
3. Repetir las visitas una o dos veces durante la estación de crecimiento y si es necesario aplicar herbicidas.
4. En plantación de especies jóvenes podrá ser conveniente efectuar visitas durante los dos o tres primeros años, si la vegetación competitiva es muy densa.

El sistema de eliminación de la vegetación puede ser manual, mecánico, químico, etc. Siempre deberá aplicarse el método menos perjudicial para el entorno y la propia planta. También se tomarán las medidas oportunas en cuanto a la seguridad de los operarios que manejan los herbicidas y en algunas ocasiones será necesario cubrir los árboles para protegerlos del efecto de éstos.

TABLA 8.15. METODOS DE ERRADICACION DE LA VEGETACION COMPETITIVA

METODO	OBSERVACIONES
Manual (hoz. azadilla)	Método caro: no es perjudicial para la planta.
Mecánica (segadoras, rodillos)	Pueden afectar al árbol.
Químicos (uso limitado): Sprays, Paraquat Dalapon Glifosato, Altracina	De contacto: acción foliar, no sistemático. Control de gramíneas: sistemático. Aplicación en invierno: alto espectro; sistemático.
Granulados: Clorotiamida, Propizamida y Diclobenil	Sólo se aplican en invierno. No son perjudiciales ni producen problemas residuales. Baratos.

Fuente: COPPIN N. J., and BRADSHAW, A. J. 1982.

#### 4.7. Siegas

En las superficies hidrosembradas o sembradas a voleo con especies de carácter encespedante, la vegetación se desarrolla rápidamente. Si no se efectúan algunas siegas periódicas, se pueden producir acúmulos de vegetación muerta, perjudiciales para el desarrollo futuro y alteraciones en el paisaje circundante (agostamiento de la hierba crecida, amarilleamiento, calveros, etcétera).

La frecuencia de las siegas depende del tipo de vegetación instalada y del uso final que se pretenda; por ejemplo, en zonas destinadas a áreas deportivas y recreativas, la vegetación herbácea deberá ser cortada

cada dos o tres semanas. Durante el verano son preferibles varias siegas ligeras que una demasiado intensa.

#### 4.8. Mantenimiento de lagunas y áreas marginales

La mayoría de las plantas acuáticas y marginales son invasoras y, si no se controla su desarrollo, pueden llegar a ocupar la mayor parte de la superficie del agua de las lagunas, induciendo una serie de efectos negativos en el ecosistema acuático.

Otro problema muy común, y que es necesario prevenir, es el desarrollo de poblaciones excesivas de algas.

Para controlar el crecimiento desmesurado de las plantas acuáticas es necesario realizar limpiezas periódicas de los fondos para eliminar la vegetación sobrante. Este tipo de actuación es especialmente necesario en aquellas zonas que están dedicadas a pesca o navegación.

En las zonas de aguas someras (< 1 m) es necesario realizar intervenciones periódicas para evitar que los juncos y las cañas invadan toda la superficie del agua formando una cubierta continua.

El desarrollo de los carrizos y cañas puede controlarse mediante desbroces anuales, seguidos de la retirada de los restos vegetales del fondo, a fin de eliminar los propágulos e impedir el desarrollo de los renuevos, Fig. 8.14.

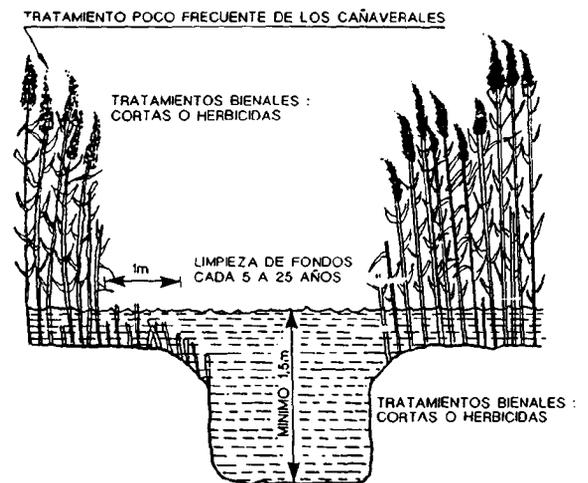


Figura 8.14. Limpieza de márgenes.

Estos desbroces generalmente son poco eficaces, a menos que se inunde el área inmediatamente después de la limpieza, elevando el nivel del agua para "ahogar" la vegetación.

Un método tradicional de manejo de los cañaverales son las quemas periódicas. Este método no es recomendable, por el daño que se ocasiona a la fauna y la dificultad que entraña el control de los fuegos.

Las actuaciones sobre la vegetación de estas zonas deben llevarse a cabo de forma rotativa, tratando cada temporada un área limitada que no debería exceder el 10% del total de la superficie.

Los herbicidas son un método barato y eficaz para mantener el desarrollo de las plantas marginales y acuáticas dentro de unos niveles óptimos.

Hay que señalar que el empleo de herbicidas es peligroso y debe realizarse con cautela, desde el conocimiento de las indicaciones específicas de cada uno de

ellos y los posibles efectos secundarios que pueden inducir, Tabla 8.16.

Para controlar el desarrollo de las poblaciones de algas existen dos métodos: el empleo de herbicidas específicos y mantener un bajo nivel de nutrientes en el agua.

TABLA 8.16. ELECCION DEL TIPO DE HERBICIDA Y AMBITO DE ACTUACION

PLANTAS	FOSAMINA AMONIUM	ASULAM	HIDRACIDA MALEICA CON 2,4 - D - AMINA/CLOPROFAM	2,4 - D - AMINA	HIDRACIDA MALEICA CON 2,4 - D - AMINA	HIDRACIDA MALEICA	GLIFOSATO	DALAPON	DIQUAT/DIQUAT ALGINATO	DICLOBENIL GSR	DICLOBENIL	TERBUTRINA
ALGAS	●			○								
PLANTAS SUMERGIDAS	●	●	●	●								
PLANTAS FLOTANTES DE HOJA PEQUEÑA	●			●								
PLANTAS FLOTANTES DE HOJA GRANDE		●	●			●			○	○		
CARRIZOS					●	○				●		
CAREX					○	●						
HERBAS Y JUNCOS						●	●	●		●		
ARBOLES Y ARBUSTOS												●

● MORTAL

○ MODERADAMENTE RESISTENTES

## 5. BIBLIOGRAFIA

- ANDREWS, J., y KINSHAN, D. (1990): "Gravel Pit Restauración for Wildlife. A Practical Manual". Royal Society for the Protection of Birds. Tarmac Quarry Products Limited. KPC Group. Ashford.
- BANKS, P., y BICKEL, R. (1981): "Reclamation and Pollution Control: Planning Guide for Small Sand and Gravel Mines". Bureau of Mines, U.S. Department of the Interior.
- BRADSHAW, A. D., y CHADWICK, M. J. (1982): "The Restoration of Land". Black-well Scientific Publications.
- COPPIN, N. J., y BRADSHAW, A. D. (1982): "Quarry Reclamation". Mining Journal Books. England.
- CARR, S., y BELL, M. (1991): "Practical Conservation Boundary Habitats". Open University. Nature Conservancy Council. Hodder y Stoughton. Londres.
- EPM (1989): "Manual de restauración de terrenos y evaluación de impactos ambientales en minería". Serie: Ingeniería Geoambiental. ITGE. Ministerio de Industria y Energía. Madrid.
- FURNISS, P., y LANE, A. (1992): "Practical Conser-

vation Water and Wetlands". Open University. Nature Conservance Council Hodder Stoughton. Londres.

- GREEN, J., et al. (1992): "A User Guide to Pit and Quarry Reclamation in Alberta". Alberta Land Conservation and Reclamation Council. Alberta.
- LOPEZ CADENAS, F., y RABADE, J. M. (1988): "Diseño de estructuras para la corrección y estabilización de cursos torrenciales". TRAGSA. Madrid.
- NAVARRO GARNICA, M. (1975): "Técnicas de forestación". Monografías n.º 9, ICONA. Ministerio de Agricultura. Madrid.
- RMC GROUP (1987): "A Practical Guide to Restoration". Ed. RMC. Group plc. Feltham.
- RMC (1988): "Bush Farm, Upminster, Essex. Final report (Main report). 1982-1987". Londres.
- TANDY, C. (1979): "Industria y Paisaje". Instituto de Estudios de Administración Local Madrid.
- VOGEL, G. W. (1987): "A Manual for Training Reclamation. Inspectors in the Fundamentals of Soil and Revegetation". Soil and Water Conservation Society.
- WILLIAMS, L.: "Soil-less Restoration to Agricultural Amenity After-Use of Worked Out Mineral sites". Mineral Planning.

# USO AGRICOLA Y FORESTAL

## 1. INTRODUCCION

Las alternativas de uso dentro de la dedicación agrícola comprenden los cultivos arables, los pastos, el forraje y los pastos extensivos, y el uso forestal, repoblaciones de coníferas o caducifolias de turno corto, medio o largo, para el aprovechamiento maderero de las masas, o para la obtención de diversos productos forestales: resina, frutos (piñones, bellotas, etc.), corcho, etc.

Los condicionantes y requerimientos de cada una de estas opciones son diferentes, pudiendo variar, también, en cada caso particular el grado de adecuación o la idoneidad de cada uno de ellas a las características de su entorno.

Por ello, las restauraciones con estas dos finalidades agrícolas deben examinarse en el marco del ambiente, en el sentido más extenso de la palabra, en que está inserta la explotación, y en función de los diferentes condicionantes que en ella concurren.

Toda decisión de reutilización agrícola y/o forestal está influida y debe tener en cuenta diversos factores, tales como su entorno natural social y económico, las vocaciones tradicionales del territorio, y los planes previstos de gestión, urbanismo y desarrollo regional y local del área.

El examen de estos factores debe acompañar la definición del plan de restauración, para asegurar que el resultado final queda perfectamente integrado en el entorno donde se ubican las graveras.

Además, el plan de restauración debe asegurar que las condiciones en que quede el terreno tras la explotación, las técnicas de restauración y los trabajos culturales previos a la implantación del uso, y el programa posterior de gestión del terreno, son los más adecuados para el tipo de aprovechamiento elegido.

## 2. CONSIDERACIONES GENERALES PREVIAS AL DISEÑO DE LA RESTAURACION

Antes de proceder al diseño de la restauración es conveniente considerar de forma previa una serie de factores, con el fin de asegurarse de que la opción de uso es la más adecuada a las condiciones particulares del lugar, detectar la posible existencia de condicionantes que resulten limitantes para el desarrollo del uso y

determinar las técnicas de restauración más adecuadas y su viabilidad.

### 2.1. Factores sociales, económicos y legales

Antes de desarrollar el plan de restauración es necesario garantizar que los **planes de ordenación** vigentes en el área permiten la implantación de nuevos cultivos, ver si el área está incluida en algún plan de desarrollo, y, en caso afirmativo, qué tipo de actividades se pretende potenciar en la zona a medio plazo, para determinar si la agricultura va a ser compatible con ellas o, por el contrario, es un uso que no conviene desarrollar.

Los tipos de dedicación de las áreas adyacentes a la explotación a menudo afectan o limitan las opciones de uso.

Por ejemplo, la creación de un pastizal en una zona de economía eminentemente ganadera, en la cual la mayoría del territorio está dedicada a pastos, puede ser lo más adecuado; por el contrario, esta opción no estaría indicada en una zona cerealística.

También conviene determinar el peso que estos dos sectores tienen en la **economía del área** y la **demandasocial** de tierras de cultivo y pastos. No es lógico habilitar nuevas zonas de cultivo en áreas donde el índice de tierras de labor abandonadas es muy alto, y la mayoría de la población activa se dedica a otros sectores, o donde la dedicación de la población al sector forestal sigue una curva decreciente.

Cuando se decide reutilizar una gravera ya sea con fines agrícolas o forestales, la recuperación no concluye con la aplicación de la última técnica prevista en el plan de restauración, sino que tiene una dimensión temporal mucho más amplia. El objetivo último de toda restauración de este tipo es obtener unos rendimientos aceptables de los terrenos restaurados durante un período de tiempo dilatado.

Por ello, deben valorarse previamente las opciones que existen de explotación y gestión de las nuevas tierras (explotación directa por la compañía minera, venta, arrendamiento, etc.). Y si no hay posibilidades claras de mantener en cultivo el terreno restaurado y se corre el riesgo de que quede abandonado, podrá ser conveniente descartar la dedicación agrícola como uso final de la gravera.

## 2.2. Capacidad agrícola

La capacidad agrícola del terreno restaurado y el tipo de cultivo que en él va a poderse implantar dependen de diversos factores que determinan su potencial productivo y la existencia de restricciones o problemas de fertilidad, pendiente, pedregosidad, etc., y que pueden limitar el desarrollo del uso. Para su solución deben aplicarse técnicas específicas de restauración cuya viabilidad será necesario valorar.

Existe otro grupo de factores que indican los requerimientos de las distintas opciones de reutilización, tales como superficies mínimas, accesibilidad, disponibilidad de agua, etc.

### 2.2.1. Tamaño, pendiente y profundidad de la gravera

Las dimensiones del área afectada por la explotación tienen gran influencia, tanto en las alternativas de recuperación como en los costes.

La forma y el tamaño de las graveras están condicionadas por la geología de los yacimientos de arena y grava, y muchas veces no tienen los valores más idóneos para la restauración agrícola y la mecanización de los cultivos.

Con el fin de aumentar los rendimientos mediante la mecanización de dichas labores agrícolas, se recomienda que las áreas destinadas a tales usos tengan formas rectangulares y sean lo mayores posible, Fig. 9.1. Es por eso que a veces sea conveniente anexionar fincas colindantes y proceder a una nueva parcelación.

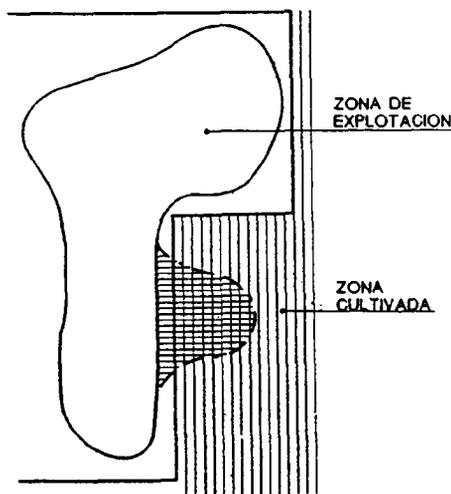


Figura 9.1. Incorporación de un área de explotación dentro

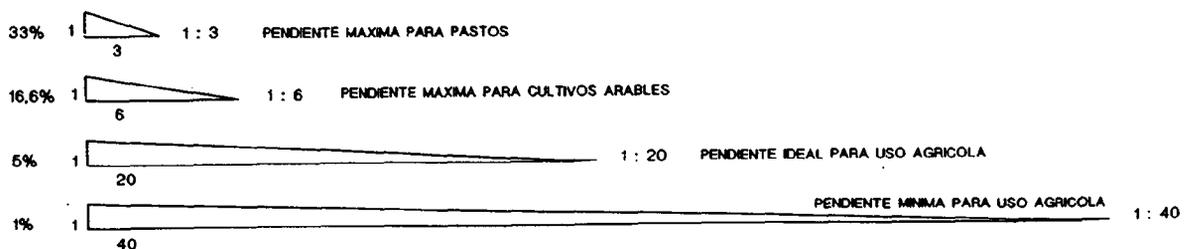


Figura 9.2. Escala de pendientes y su idoneidad para agricultura.

La pendiente es un factor fuertemente limitante para el uso agrícola, Fig. 9.2. El rango de pendientes óptimo se sitúa entre 1:40 (1%) y 1:3 (33%). En pendientes cercanas al límite inferior pueden originarse problemas de encharcamiento, y suele ser necesaria la instalación de sistemas de drenaje.

En pendientes superiores a 1:3 sólo es posible la implantación de pastizales extensivos, y en ellos no puede utilizarse maquinaria agrícola. Si se llega a este extremo, será necesario remodelar el terreno para darle un gradiente superficial adecuado.

En los huecos profundos de más de 3 m este uso está desaconsejado. En estos casos las condiciones microclimáticas, sobre todo en lo referente al índice de insolación, son poco favorables para el desarrollo de los cultivos, y además el acceso de la maquinaria se dificulta bastante.

El uso agrícola está especialmente indicado para graveras muy extensas y poco profundas. Es el caso de aquellas graveras donde el material aluvial útil está dispuesto en capas de grosor medio o pequeño.

### 2.2.2. Características morfológicas del entorno

La morfología del entorno de la gravera también puede influir en el éxito de la restauración y desaconsejar la implantación de ciertos usos. Por ejemplo, una explotación ubicada en un área deprimida, que recibe las aguas de escorrentía de los terrenos adyacentes, puede resultar demasiado húmeda para cultivos de cereal y para algunos tipos de pasto.

### 2.2.3. Características del sustrato

Las características del sustrato que se va a emplear en la restauración determinan en gran medida la capacidad agrícola del terreno y el tipo de cultivo que en él va a poderse implantar.

Antes de iniciarse la explotación es necesario conocer el tipo de suelo existente en el área que va a verse afectada, y que luego va a ser utilizado en la restauración, su profundidad y su distribución.

De esta manera podrán determinarse:

- El volumen de suelo disponible para la restauración. Los requerimientos de profundidad de suelo

varian entre 150 cm en los cultivos arables hasta 50 cm en los pastizales extensivos.

El que no se disponga de suficiente volumen de suelo puede resultar restrictivo por razones económicas para aquellas opciones de cultivo que requieren mayores profundidades de suelo fértil, ya que la utilización de préstamos encarece sustancialmente la restauración.

- Los métodos más apropiados de retirada, almacenamiento y extendido del suelo, aumentando con ello las posibilidades de éxito de la restauración.
- Las enmiendas edáficas y algunos de los trabajos culturales previos que va a ser necesario realizar para acondicionar el sustrato, y su viabilidad técnica y económica.

La falta de nutrientes puede suponer un serio condicionante. No obstante, puede solucionarse el problema mediante la adición repetida de fertilizantes, aunque los costes de tal práctica pueden hacer no rentable el efectuar este uso.

Un factor que impone limitaciones físicas al uso agrícola es la **pedregosidad**, ya que las piedras en la superficie del terreno interfieren la gestión agrícola, Tabla 9.1.

TABLA 9.1. PEDREGOSIDAD

% SUPERFICIE	LIMITACIONES FISICAS
0,01	No existen.
0,01-15	Existen dificultades, pero es posible el desarrollo del uso.
15	Es imposible el desarrollo del uso.

El origen de este problema puede estar en que el horizonte superior del suelo sea muy pedregoso, o más frecuentemente porque lo sean los horizontes inferiores, y durante las labores de descompactado la maquinaria remueva las piedras contenidas en ellos, y éstas afloran a la superficie.

Si no se está ante una situación límite (el contenido en finos sea prácticamente nulo), será suficiente con despedregar el terreno de forma manual o mecánica, Fig. 9.3, antes de proceder a la siembra. En el caso de cultivos arables suele ser necesaria la repetición de esta operación al principio de cada campaña.

Por otro lado, el encharcamiento y el drenaje deficiente imponen limitaciones serias al desarrollo de los cultivos. El nivel freático debe estar situado a 50 cm como mínimo, por debajo de la superficie de cultivo, y el suelo aportado debe garantizar un buen nivel de evacuación del agua.

Este problema puede aparecer cuando el suelo a utilizar en la restauración tiene un contenido excesivo en arcilla, las pendientes finales del terreno son demasiado pequeñas, o el material de relleno del hueco es impermeable e impide el movimiento vertical del agua.

### 2.3. Capacidad forestal

La capacidad para la producción forestal de un terreno alterado por la extracción de gravas depende, en

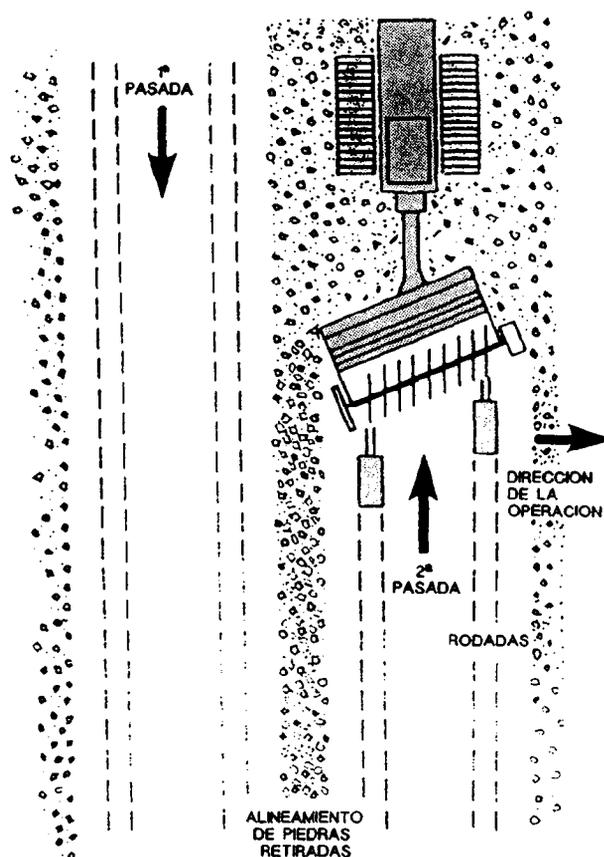


Figura 9.3. Despedregado mecánico.

principio, de diversas características morfológicas de la gravera, entre las que destacan el tamaño, la forma y la profundidad del hueco.

El tamaño de las graveras es uno de los factores decisivos a la hora de considerar el uso forestal de los terrenos. Generalmente, las zonas a recuperar de menos de dos hectáreas no se consideran para producción forestal, simplemente debido a que son antieconómicos para mecanizar por su reducido tamaño. Sólo se contemplará esta alternativa de recuperación cuando en las zonas adyacentes el uso del suelo sea forestal y la zona afectada pueda recuperarse con las mismas especies arbóreas.

La forma de las graveras no es necesariamente un factor limitante para la producción forestal; sin embargo, las parcelas rectangulares son habitualmente más aptas para la mecanización de los trabajos de plantación o aprovechamiento.

En cuanto a los taludes, los que poseen pendientes de 5:1 o mayores no son adecuados para la plantación de árboles, pensando en su aprovechamiento forestal.

En lo referente a la profundidad del hueco, cuando el fondo de las graveras haya quedado muy próximo al nivel freático, podrá ser aconsejable proceder al relleno parcial del hueco, con vistas a reducir la humedad del suelo, pues muchas especies de árboles necesitan una zona drenada para su plantación y desarrollo radicular.

### 3. TECNICAS DE RESTAURACION

#### 3.1. Remodelado

El riesgo de erosión de suelos es el factor principal que debe tenerse en cuenta en la elección de los taludes de las zonas restauradas.

Los equipos agrícolas que se utilizan para cultivar, sembrar y fertilizar, así como la maquinaria pesada de restauración, pueden trabajar en pendientes de hasta 2:3,5 (16°), pero ésta trabaja más eficientemente en terrenos horizontales.

Si dentro del plan de recuperación está previsto el desarrollo de un área para producir pasto o forraje, se recomienda que los taludes máximos no excedan de 1:5. Los terrenos cultivados donde se desee obtener cosechas anuales se aconseja que tengan pendientes inferiores a 1:14, pues éstas permiten reducir la erosión y al mismo tiempo que las máquinas operen a pleno rendimiento.

Las zanjas de drenaje se diseñarán perimetralmente, Fig. 9.4, con taludes de 1:10 y un perfil suave para permitir el paso de la maquinaria.

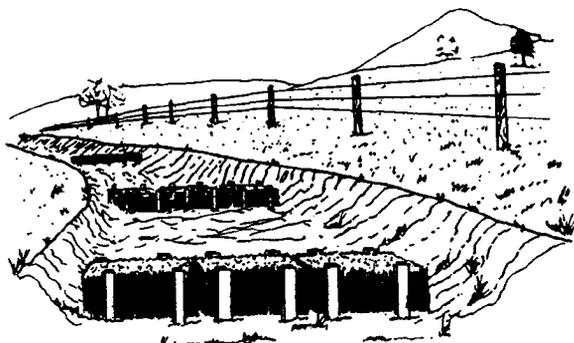


Figura 9.4. Zanjas de drenaje en una zona agrícola. Las balas de paja evitan la erosión y actúan de barrera de sedimentos.

Los taludes perimetrales que hayan quedado más escarpados deberán ser remodelados, bien mediante descabezamiento o con materiales de relleno colocados en el pie de los mismos. Cuando los taludes presenten gran longitud, se interrumpirá su continuidad mediante pequeñas bermas o terrazas, con el fin de evitar el riesgo de erosión, Fig. 9.5.

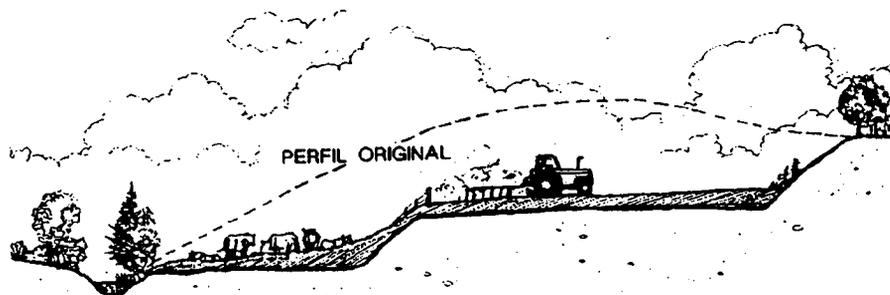


Figura 9.5. Explotación recuperada para uso agrícola.

#### 3.2. Aporte y extendido de suelos

El suelo puede disponerse directamente sobre el fondo del hueco de explotación o sobre el hueco relleno, total o parcialmente. En este último caso, deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

- El nivel del suelo reconstruido debe quedar por encima del nivel freático.  
Si el fondo del hueco está por debajo o justo al nivel de la capa freática, tomando un período de retorno de diez años como referencia, será necesario rellenar hasta una altura suficiente para evitar el encharcamiento del suelo aportado y posibles inundaciones.  
Para ciertos cultivos especiales como la horticultura será necesario calcular el nivel de aguas más altas conocidas, y tenerlo en cuenta al realizar el relleno.
- En principio todo tipo de material es útil para el relleno del hueco (estériles, residuos del lavado de los áridos, etc.), aunque se debe evitar un empleo excesivo de materiales arcillosos.  
En caso de utilizar residuos orgánicos, deben aplicarse las normativas vigentes para este tipo de vertidos, y disponer una serie de dispositivos para prevenir los efectos adversos que los gases producidos pueden ocasionar en las plantas.
- La operación de relleno debe realizarse por tongadas sucesivas que no superen los 2 m de espesor, siendo compactados seguidamente para evitar hundimientos posteriores. Los materiales más gruesos se colocarán en el fondo, y se evitará situar los materiales más arcillosos en la superficie.  
Debe tenderse a lograr una cierta homogeneización del relleno, a gran escala, y evitarse la zonificación por granulometrías.
- La permeabilidad de la masa de relleno debe permitir la libre circulación del agua subterránea a través de ella, y la percolación vertical del agua de lluvia.

Antes de aportar el suelo fértil, tanto en el caso de que el hueco haya sido relleno como en caso de que se disponga directamente en el fondo de la gravera, la superficie de contacto debe ser nivelada previamente

para evitar pérdidas de suelo y asegurar que el grosor del suelo extendido sea homogéneo en toda la superficie.

La superficie sobre la que se extiende el suelo también debe permitir la evacuación del agua contenida en la capa de suelo fértil, para evitar que se originen zonas de acumulación y encharcamiento. Este problema puede ocasionarse por dos motivos:

- Sobre sustratos permeables, por acumulación de finos a cierta profundidad, que luego se van compactando por el paso continuado de la maquinaria, hasta formar una capa impermeable. Una escarificación profunda o un ripado pueden mejorar la capacidad de infiltración del terreno.
- Sobre sustratos impermeables que impiden la percolación del agua. La acumulación del agua puede prevenirse dando al terreno una pendiente de caída adecuada y dotándola de un sistema de drenaje.

Un objetivo importante es reconstruir el suelo de forma homogénea, tanto en profundidad como en calidad de los materiales, de forma que luego sea posible delimitar parcelas de cultivo con características agrícolas homogéneas, siempre que la extensión de la gravera sea suficiente.

### 3.3. Drenaje

El control y el restablecimiento de las redes de drenaje en el área restaurada es un componente importante en los planes de restauración para este tipo de usos.

Los sistemas de drenaje cumplen las siguientes funciones:

- Minimización de la erosión, la pérdida de suelo y la sedimentación ocasionadas por el agua de escorrentía.
- Control del riesgo de inundación y el encharcamiento.
- Eliminación de obstáculos para el trabajo de la maquinaria agrícola.

Para drenar la zona restaurada pueden utilizarse diversos métodos, incluyendo:

- Drenajes de intercepción y siembra de céspedes densos para disminuir la velocidad del agua de escorrentía y prevenir la erosión o disminuir su intensidad.
- Desviar temporalmente el agua de escorrentía para evitar su entrada en aquellas zonas en las que se acaba de extender el suelo o que están recién sembradas.
- Disponer un sistema de balsas de decantación que recojan las aguas procedentes del área restaurada para evitar la contaminación por sólidos en suspensión de los cursos de agua cercanos. El tamaño y la localización de las balsas es función de los volúmenes de escorrentía que se generen, la intensidad de la erosión y el tiempo de residencia requerido para que la decantación sea completa.

En explotaciones en operación, el sistema de drenaje suele ser casi siempre cerrado, y alimenta una balsa de decantación central situada en el fondo de la gravera.

En terrenos agrícolas, el número de balsas de decantación está limitado por la necesidad de reducir obstáculos que dificulten el trabajo de la maquinaria. Estas balsas pueden también utilizarse para disponer de un suplemento de agua para el ganado u otros usos, riego, consumo doméstico, etc.

El mantenimiento de franjas de vegetación natural sin alterar a lo largo de caminos, arroyos, o dispuestas perimetralmente alrededor de la explotación, Fig. 9.6, es otra medida de control posible. Estas franjas de amortiguación disminuyen la velocidad de la escorrentía, retienen los sedimentos y facilitan la infiltración.

Otra medida que mejora el drenaje del área es reparar el material de cobertera repuesto antes de proceder a extender el suelo vegetal. El ripado es más efectivo si se ejecuta perpendicularmente a la línea de máxima pendiente.

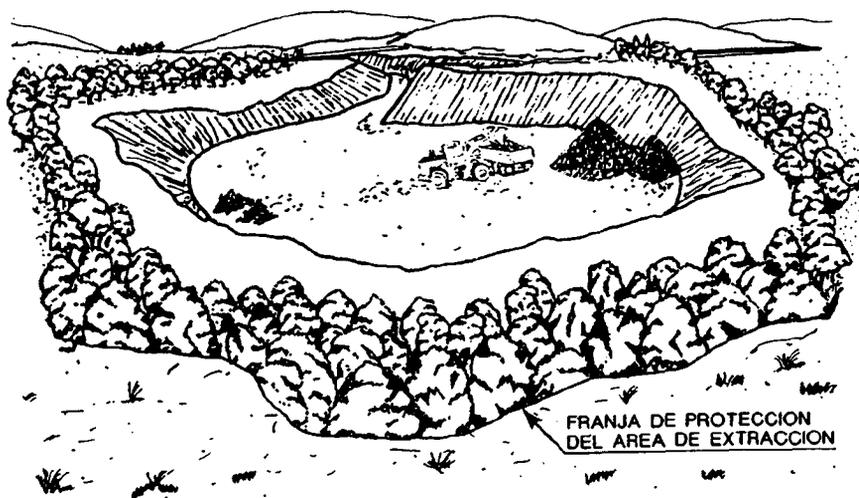


Figura 9.6. Franja de amortiguación para protección del suelo y control de la escorrentía.

### 3.4. Siembra

Las especies a utilizar dependen del tipo de dedicación que se pretende dar al suelo.

Para la creación de pastos, las mezclas pluriespecíficas de gramíneas o gramíneas y leguminosas, permiten un período de aprovechamiento mucho más prolongado que mezclas monoespecíficas.

Las diversas especies presentan distintas cualidades que las hacen más apropiadas para un uso u otro. Al diseñar la mezcla de siembra deben considerarse los valores de cada especie y combinarlos de forma adecuada para optimizar los resultados.

En suelos restaurados, profundos y sin excesivos problemas, se pueden utilizar mezclas de especies "dedicadas", que requieren arados y resemebrados anuales o bienales, pero que proporcionan pastos de muy buena calidad.

En suelos que necesitan un largo período de tiempo para recobrar su estabilidad estructural, la capa freática está muy cercana a la superficie o el suelo fértil es muy somero, es preferible utilizar especies más resistentes, que no requieran cuidados hasta pasados cuatro o cinco años. Estas especies suelen proporcionar pastos de inferior calidad.

La dosis de semillas recomendada oscila generalmente entre 100 a 200 semillas/100 m<sup>2</sup>.

Cuando el suelo es suficientemente profundo puede dedicarse a cultivos cerealísticos. Esta dedicación requiere de mayores cuidados que los pastos y la aplicación de fertilizantes, fungicidas y pesticidas, pero en muchos casos proporcionan una cubierta mejor, 2 millones y medio de plantas/ha, y un sistema radical que penetre más profundamente en el sustrato.

La dosis de siembra recomendada es de 40 kg/ha, que es aproximadamente la mitad de la dosis normal para este tipo de cultivos.

La implantación de cultivos hortícolas también es posible, aunque requiere suelos profundos, con gran contenido en materia orgánica y sin problemas de drenaje.

Este uso es bastante menos beneficioso para la restauración que los pastos o el cereal; la cubierta que proporciona es sensiblemente inferior, y, además, muchos de los vegetales se cosechan en invierno y primavera, y el paso de maquinaria puede dañar el suelo húmedo.

Por otro lado, este uso requiere de un manejo mucho más intensivo y de inversiones también mucho mayores (sistemas de riego, suelo vegetal, etc.), con lo que, si se fracasa, la pérdida económica es mucho más fuerte que en el caso de los pastos y los cereales.

### 3.5. Plantación

En la elección de las especies a implantar deben considerarse las condiciones de la zona a restaurar y la

demanda del mercado, evaluando qué productos forestales son los que mejor salida van a tener.

Si las superficies que van a ser plantadas han sido revegetadas con herbáceas para prevenir la erosión, deberán desbrozarse sectores o bandas de terreno, antes de proceder a plantar los ejemplares hasta que los plantones prosperen, se deberá mantener limpia de hierbas una franja de, al menos, 0,5 m, a cada lado del área.

La plantación puede realizarse por medios manuales o mecánicos. Esta última resulta más rentable si la superficie a tratar es grande, aunque la supervivencia de las plantas es mayor si se realiza de forma manual.

La gestión de las zonas dedicadas a producción forestal incluye:

- La eliminación periódica de malas hierbas que puedan ser competidoras con las plantas jóvenes y dificultar su crecimiento.
- Control de plagas, mediante el empleo de pesticidas, químicos o biológicos, u otros métodos.
- Aclarado periódico de la masa.
- Fertilización.
- Prevención de incendios, mediante desbroces y limpiezas periódicas del sotobosque y/o la construcción de cortafuegos y su mantenimiento.

## 4. BIBLIOGRAFIA

- BANKS, P., y NICKEL, R. (1981): "Reclamation and Pollution Control: Planning Guide for Small Sand and Gravel Mines". Bureau of Mines, U.S. Department of the Interior.
- EPM (1989): "Manual de restauración de terrenos y evaluación de impactos ambientales en minería". Serie: Ingeniería Geoambiental. ITGE. Madrid.
- GREEN, J., et al. (1992): "A User Guide to Pit and Quarry Reclamation in Alberta". Alberta Land Conservation and Reclamation Council. Alberta.
- MINISTERE DE L'URBANISME ET DU LOGEMENT-MINISTERE DES TRANSPORTS (1984): "Remise en état des carrières et gravières à des fins agricoles".
- RMC GROUP (1987): "A Practical Guide to Restoration". Ed. RMC. Group plc. Feltham.
- RMC (1988): "Bush Farm, Upminster, Essex. Final report (Main report) 1982-1987". Londres.
- UNION NATIONALE DES PRODUCTEURS DE GRANULATS (1982): "L'Affectation des sols de carrières de granulats après exploitation". Collection Technique, n.º 2. Paris.
- WILLIAMS, L.: "Soil-less. Restoration to Agricultural. Amenity After-Use of Worked Out Mineral Sites". Mineral Planning.

## USO NATURAL: RECUPERACION DE HABITATS

### 1. INTRODUCCION

Las graveras ofrecen, en la mayoría de los casos, una oportunidad única para la construcción artificial de hábitats con fines conservacionistas, debido a que los objetivos finales de la restauración pueden ser planificados de antemano, antes de que empiecen las labores extractivas de los áridos.

Este tipo de espacios, una vez restaurados, pueden además ser utilizados con fines educativos, reduciendo la presión sobre otras zonas naturales más sensibles. Dado que el número de graveras es cada vez mayor, pueden convertirse en campos de experimentación sobre gestión de zonas húmedas y proyectos concretos de conservación de animales o plantas de estos hábitats, que cada vez son más raros en sus ambientes naturales.

Cuando se diseña una gravera con fines de recuperación conservacionista, debe tenderse a obtener la máxima diversidad de hábitats posible, tanto acuáticos como terrestres.

Si la zona va a ser utilizada con fines educativos, no será necesaria tanta diversidad y sí un sistema más simplificado, con pocas especies animales y vegetales.

En cualquier caso, las graveras son lugares ideales para ser convertidos en reservas naturales, dadas las condiciones ambientales favorables.

### 2. FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DESARROLLO DEL USO

En el diseño de las restauraciones para la vida silvestre deben tenerse en cuenta una serie de consideraciones previas.

#### 2.1. Uso de los terrenos adyacentes

Aunque las restauraciones para la vida silvestre, especialmente en el caso de las graveras secas, pueden ser realizadas en el sitio más remoto y salvaje o en la periferia de una ciudad, se pueden crear interferencias y conflictos con los usos de los terrenos adyacentes:

- La fauna reintroducida puede ocasionar daños en los cultivos cercanos.

- Si la gravera está situada en un área dedicada a pastos para el ganado, puede verse dañada la vegetación del área restaurada por sobrepastoreo.
- Si la gravera está situada en una zona residencial bastante frecuentada, los destrozos por vandalismo y la persecución de las aves y otros animales suelen ser bastante frecuentes.

Para evitar estos problemas es conveniente cercar el área restaurada para limitar el acceso.

En el caso de que existan carreteras cerca, habrá también que considerar el riesgo de muerte de los animales por atropello. Los vallados también están indicados en este caso. Pueden disponerse de forma que se impida el paso de los animales por las zonas más peligrosas, conduciéndolas hacia zonas de paso habilitadas especialmente a tal efecto.

#### 2.2. Interés naturalístico del área

Es importante conocer qué tipo de fauna existe en el área y su abundancia y distribución para determinar qué especies podrán beneficiarse de las condiciones ofrecidas por la restauración.

En general, los proyectos de restauración deben enfocarse a recrear los hábitats de aquellas especies que sean más comunes en el área. Sin embargo, en algunos casos puede ser más conveniente desarrollar hábitats para especies amenazadas o poco comunes.

#### 2.3. Tamaño, profundidad y pendiente de la gravera

En principio, estos parámetros no imponen ningún tipo de restricción para el desarrollo del uso. Las condiciones del medio técnico únicamente son limitantes en cuanto al tipo de hábitat a desarrollar.

Las graveras que presenten mayor variabilidad en cuanto a pendientes y profundidad y tengan contornos irregulares y quebrados son las mejores, Fig. 10.1.

El tamaño del área restaurada impone limitaciones en cuanto al tipo de animales que podrán utilizar los terrenos restaurados. Los animales grandes, como el ciervo, necesitan superficies importantes (más de 10 ha) de árboles y arbustos, combinadas con zonas

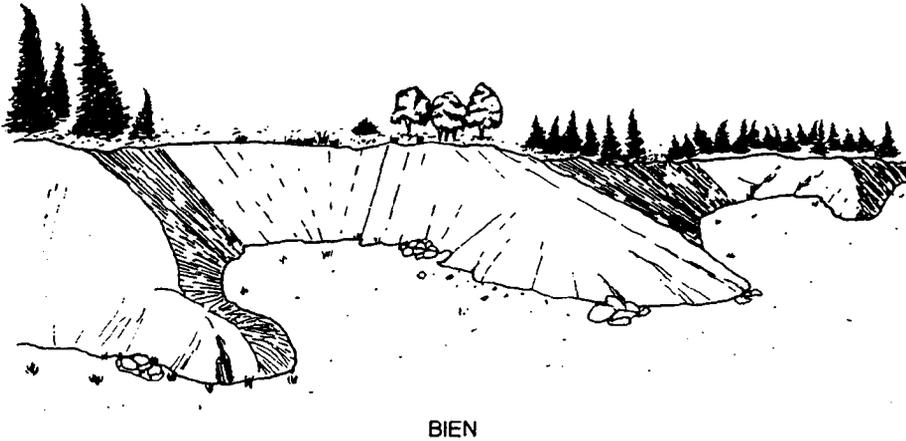
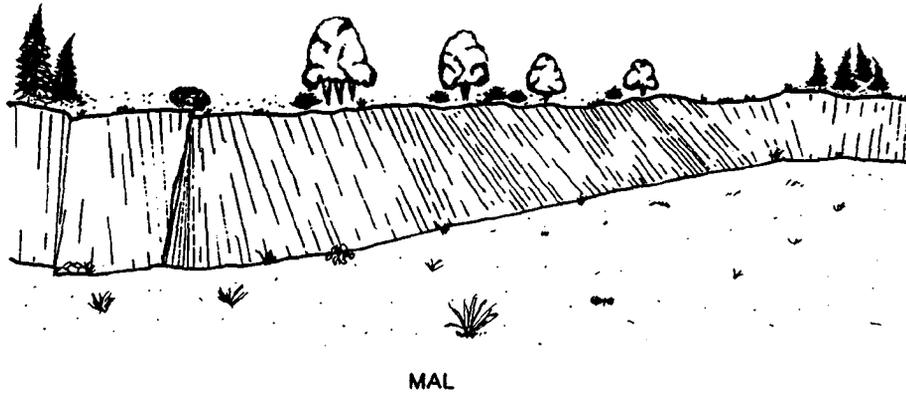


Figura 10.1. Las graveras de contornos irregulares son preferibles a las excavaciones geométricas.

abiertas de pastizal. Los animales pequeños (aves, micromamíferos, conejos, etc.), se acomodan casi a cualquier tamaño y tipo de gravera.

Las paredes altas y verticales pueden ser utilizadas por algunas aves (avejarucos y aviones zapadores). Para ser útiles deben ser compactas y estables. Si en el plan de restauración se pretende mantener estas zonas, deberán tomarse medidas preventivas de seguridad, tales como señalización, vallado o acceso restringido a los visitantes.

#### 2.4. Restauración progresiva y simultánea con la explotación

El desarrollo progresivo de la restauración, desde las etapas más tempranas, permite la convivencia de animales que requieren hábitats en distinto grado de desarrollo, aumentando con ello la diversidad del área.

De esta manera también será posible retirar árboles y arbustos de las zonas que vayan a ser explotadas y transportarlos directamente a las áreas ya restauradas.

La creación de formas finales adecuadas durante la explotación es de vital importancia, pues decisiones equivocadas conllevan gastos de remodelado prohibitivos.

### 3. PREPARACION DEL PLAN DE RESTAURACION

#### 3.1. Prioridades de conservación

Las distintas clases de animales y plantas tienen diferentes requerimientos habitacionales, que además pueden variar estacionalmente.

Para las plantas, el tipo de suelo, su fertilidad, la disponibilidad de agua y el riesgo de encharcamiento son los factores de mayor peso. Para los animales, la estructura y composición de la vegetación tienen gran influencia. Unos son muy estrictos, y otros son menos selectivos y sólo necesitan tener mínimamente cubiertas sus necesidades de comida y refugio.

Ahora bien, es poco menos que imposible reproducir en una restauración los hábitats de todas y cada una de las especies implicadas en un ecosistema. Las restauraciones son costosas, y la variabilidad de condiciones que habría que considerar, excesivamente amplia.

Conviene, pues, limitar el desarrollo del trabajo y concentrar los esfuerzos en las necesidades de un grupo pequeño de especies, o un grupo de plantas y criaturas que, por diferentes caminos, puedan explotar el mismo tipo de hábitat.

Proveyendo hábitats para estas especies, que va-

mos a denominar clave, indirectamente se crean las condiciones necesarias para que otras especies secundarias o acompañantes se introduzcan en el área de forma natural. Por ejemplo, si se desarrollan hábitats para aves acuáticas, muchas otras especies propias de zonas palustres y acuáticas, tales como anfibios y ciertos reptiles, aparecerán en la zona sin necesidad de crear sus hábitats específicos.

Para seleccionar las especies clave en las cuales va a estar centrada la restauración, es importante determinar una serie de prioridades de conservación.

Los dos factores más importantes a determinar son su abundancia y las tendencias de crecimiento. Así, una especie que sea muy abundante y con una población en estado progresivo tendrá una prioridad de conservación menor que otra especie más escasa y que además tenga tendencia regresiva, o esté amenazada.

Cuando sea imposible establecer estas prioridades de conservación, por ejemplo por falta de información, la restauración deberá diseñarse en función de las necesidades de una o un grupo de las especies más comunes.

Las restauraciones diseñadas para la creación indiscriminada de una gran variedad de condiciones ambientales, esperando atraer a una gran diversidad de animales, generalmente resultan excesivamente costosas para los resultados tan mediocres que se obtienen. Los hábitats creados están mal situados, tienen una estructura errónea, las plantas están mal seleccionadas,

no se reúnen las condiciones adecuadas para las especies más exigentes, y al final no atraen más que a la fauna más común y con menor valor naturalístico.

Una vez decididos los objetivos de la restauración, será necesario conocer las necesidades de la especie o grupo de especies seleccionadas, y con ello realizar un prediseño para determinar si las ideas básicas del plan son realizables y sentar las bases para la redacción del plan definitivo. Este prediseño debería incluir:

- La lista de especies clave y sus requerimientos habitacionales: superficie mínima requerida, hábitos alimenticios, profundidad, estacionalidad o calidad de agua, morfología del terreno, clima, etc.
- Una lista de las especies secundarias que pueden verse beneficiadas indirectamente.
- Un breve informe de la situación de cada especie en la Península y la contribución que va a suponer la restauración planeada a su conservación.
- Una aproximación a las estructuras, operaciones, etcétera, que van a ser necesarias para cubrir las necesidades habitacionales de las especies clave y su viabilidad técnica y económica.

### 3.2. Necesidades de la fauna silvestre

En este epígrafe se exponen las necesidades de varios grupos faunísticos. En la Tabla 10.1 se indican

TABLA 10.1. PRINCIPALES REQUERIMIENTOS HABITACIONALES PARA LA FAUNA

	REFUGIOS CONTRA EL VIENTO	SOL	AGUAS SOMERAS	ZONAS RIBEREÑAS	MARJALES	CHARCAS	PLANTAS SUMERGIDAS	VEGETACION EMERGENTE	HERBAZALES	ARBOLES Y ARBUSTOS	ISLAS Y BALSAS	TRANQUILIDAD
ESPECIES												
LIBELULAS	●	●	●			●	●	●	●	●		
MARIPOSAS	●	●							●	●		
PECES			●				●					
ANFIBIOS		●	●	●	●	●	●	●	●			
ZAMPULLIN Y SOMORMUJO			●				●	●				●
GARZA REAL			●		●							●
CISNE			●				●				●	●
ANATIDAS	●		●	●	●		●	●	●		●	●
AVES MIGRATORIAS			●	●	●						●	●
MARTIN PESCADOR	●		●									●
NUTRIA			●	●	●		●	●	●			●

también diversos grupos de animales inferiores situados en la base de las cadenas tróficas, y cuya presencia es importante, ya que constituyen la fuente alimenticia principal de otros animales superiores, Fig. 10.2.

El examen de la citada tabla revela que existen ciertos factores que se repiten como importantes para la mayoría de las especies y grupos faunísticos considerados.

Los refugios contra el viento (pantallas cortaviento) son necesarios no sólo para las aves acuáticas, sino también para los insectos y algunos mamíferos (murciélagos). Los herbazales son precisos como zona de anidamiento y como espacio de caza para una amplia gama de criaturas.

Las aguas poco profundas son también esenciales: éstas son las zonas más productivas y ricas en recursos alimenticios y las más accesibles para las aves acuáticas.

Finalmente, el que el área esté libre de la influencia humana es vital para que muchos pájaros y mamíferos puedan reproducirse y alimentarse convenientemente.

Estas cuatro condiciones, generalmente, están ausentes en la mayoría de las restauraciones, pero pueden conseguirse con un Plan de Restauración adecuado.

En los epígrafes siguientes se resumen las necesidades de diversas especies y grupos faunísticos ligados al agua y las interacciones existentes entre ellos, junto con algunas recomendaciones importantes para que la creación de sus hábitats tenga éxito.

### 3.2.1. Quironómidos

Este grupo de insectos es uno de los más abundantes y ampliamente extendidos en los ríos y arroyos. Sus requerimientos en cuanto a pH varía de unas especies a otras. En general, fuera del rango de pH 6-9 la diversidad de las poblaciones cae drásticamente.

Colonizan prácticamente cualquier tipo de sustrato. En sedimentos orgánicos y en la superficie de las plan-

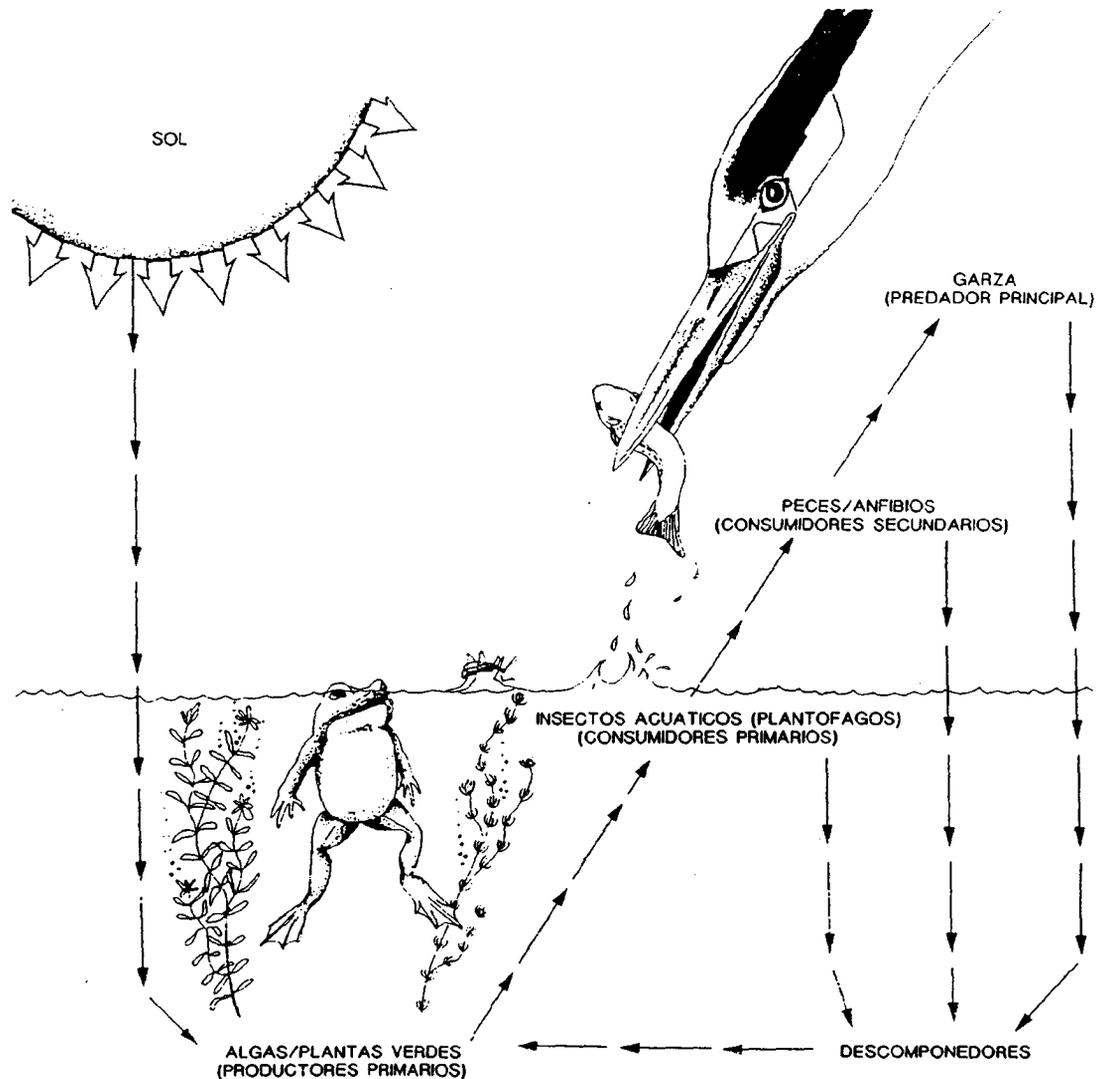


Figura 10.2. Cadena trófica en una zona húmeda.

tas la densidad de sus poblaciones es muy grande, mientras que en sustratos arenosos y con gravas las poblaciones son bastante menos densas, a menos que estos materiales estén cubiertos por algas.

Las larvas de algunas especies son depredadas por pequeños invertebrados, como gusanos o pequeños crustáceos, mientras que las larvas, pupas y ejemplares adultos son el alimento básico de muchas aves.

Algunas recomendaciones para la creación y gestión de sus hábitats son las siguientes:

- Es conveniente que las poblaciones de este tipo de insectos sean abundantes y diversas, sobre todo en la época de emergencia de las aves acuáticas, para que las crías dispongan de un complemento alimenticio suficiente.
- El pH del agua debe estar entre 6 y 9; si es inferior, será necesario aplicar enmiendas de carbonato cálcico.
- Durante los primeros años de su restauración, los fondos de las graveras suelen ser relativamente pobres en restos orgánicos y plantas acuáticas. En estas condiciones las poblaciones de quironómidos son muy escasas.  
La adición de suelo vegetal en las zonas de aguas someras mejora las condiciones del hábitat y promueve el aumento de las poblaciones. Existen dos medidas complementarias que ayudan a mejorar la producción de quironómidos. La primera es aportar material orgánico, tal como cañas o paja de cereal. El efecto más importante que produce esta medida es incrementar el área colonizable en el fondo de la gravera mientras que el detritus orgánico se va acumulando poco a poco de forma natural.  
La segunda medida es la adición de fosfato y nitrato a las lagunas que son pobres en nutrientes para estimular el desarrollo del fitoplancton y de las algas que constituyen el alimento principal de las larvas de este grupo de invertebrados.
- La vegetación densa y baja en las orillas protege a los individuos adultos de la desecación. Los árboles y arbustos proporcionan protección contra el viento.
- Algunos árboles y arbustos ribereños, especialmente los sauces y los alisos, son una valiosa fuente de alimento. Sus hojas caídas se degradan rápidamente y sobre este detritus se desarrolla una microfauna de bacterias, hongos y protozoos que sirve de alimento a larvas y adultos.
- La presencia de plantas sumergidas generalmente está correlacionada con una alta densidad de población y una gran diversidad de quironómidos.

### 3.2.2. Peces

La capacidad de las graveras de acoger poblaciones piscícolas va cambiando con el paso de los años.

En los primeros años la reserva de residuos orgánicos descompuestos es muy limitada y los invertebrados escasos; en estas condiciones los peces son incapaces de sobrevivir por falta de alimento.

Pasados algunos años, las lagunas de inundación se hacen más productivas, y la población de invertebrados se incrementa, así como la de los peces que se alimentan de ellos, aunque las densidades de población toda-

vía siguen siendo bajas, no llegando a superar los 50 kg de pescado por hectárea.

Estas poblaciones van creciendo progresivamente a medida que el alimento disponible se va incrementando. Aparece de forma típica un pico de crecimiento de las poblaciones de peces algunos años después de la inundación inicial de la gravera, y luego el crecimiento decae hasta un nivel estable, bastante inferior al inicial.

Una gravera de 20 años de edad puede contener entre 300 y 500 kg de pescado por hectárea.

Dependiendo del tipo de gravera y de la forma de extracción, los huecos inundados tienen distintas características que son favorables para unas u otras especies de peces.

Las graveras en las cuales el material se ha extraído en seco, generalmente, tienen los fondos duros, las aguas limpias y una exuberante vegetación acuática.

Este tipo de gravera es la más apta para la tenca (*Tinca tinca*), la bermejuela (*Rutilus rutilus*), la perca (*Perca fluviatilis*) y el carpín (*Cerassius cerassius*), especies todas ellas que prefieren los fondos herbosos.

Las explotaciones en las cuales se ha extraído el material con el hueco inundado, suelen ser poco profundas, con fondos blandos de arcilla y limo que son constantemente removidos por los peces y la acción del viento. El enturbiamiento del agua producida por la remoción de los sedimentos, y las frecuentes y densas "apariciones" de algas que propicia el gran contenido nutritivo del agua, impiden la penetración de la luz, con lo cual la vegetación sumergida es muy escasa.

Este tipo de graveras, con sus fondos cenagosos, son perfectas para la carpa (*Cyprinus carpio*), la cual escarba en los sedimentos en busca de larvas de insectos, gusanos y moluscos.

Algunas consideraciones importantes a tener en cuenta en la restauración de una gravera como hábitat piscícola son las siguientes:

- La profundidad del agua es un factor importante en el desarrollo de este uso. Debe proporcionarse al área una variedad de profundidades adecuadas a las necesidades de cada una de las fases del ciclo vital de los peces. Como regla general puede decirse que:
  - Debe existir una o más zonas de al menos 5 a 8 m de profundidad.
  - Aproximadamente un tercio de la superficie del agua debe tener una profundidad de entre 0,5 y 1,5 m.
  - Conviene dotar al resto de la laguna de profundidades variables comprendidas entre estos dos extremos.
- La forma y la pendiente de los fondos y las orillas deberán ser variadas. Pueden construirse además refugios con diversos materiales (ramas, troncos, piedras, ladrillos, neumáticos viejos, etc.), Fig. 10.3.
- La sombra es vital para la mayoría de las especies. Las orillas deben estar bien vegetadas con árboles y arbustos, especialmente en las zonas poco profundas, para evitar el sobrecalentamiento del agua.
- Se deben crear zonas apropiadas para el desove y la freza. Por ejemplo, en el caso de la trucha deben disponerse zonas con gravas finas, y oxigenar el



Figura 10.3. Refugios subacuáticos artificiales para peces.

agua alrededor de estas áreas para remover los sedimentos y evitar así que se depositen sobre los huevos.

- Si los niveles de la laguna varían mucho estacionalmente, será necesario bombear un volumen de agua en las épocas más secas.
- Si los niveles de oxígeno disminuyen excesivamente poniendo en peligro las poblaciones de peces, existen dos soluciones: excavar zonas profundas (5 a 8 m ó más) que proveerán de un suplemento de oxígeno, o airear el agua inyectando oxígeno mediante compresores, Fig. 10.4.
- Si los peces no se introducen en la gravera de forma natural durante las inundaciones invernales, ésta debe ser repoblada con especies seleccionadas.
- Es necesario además favorecer el desarrollo de la vegetación acuática y de los quironómidos y otros invertebrados para proporcionar alimento suficiente a los peces.
- Los fondos herbosos con una vegetación acuática bien desarrollada en aguas someras y sombreadas proporcionan refugio y alimento a los alevines.
- Cuando las poblaciones de peces se hacen tan numerosas que sobrepasan la capacidad de la gravera y ejercen una presión excesiva sobre las comunidades de aves (depredación, competencia alimentaria, destrucción de fuentes alimenticias, etc.), es preciso poner en marcha medidas de control.

Una de las medidas más eficaces es bajar el nivel de la laguna cada 3 ó 4 años, y retirar todos los grandes peces. La bajada periódica del nivel del agua incrementa además la productividad del ecosistema después de su reinundación.

- Los trabajos de gestión y mejora de las graveras para mantener buenas poblaciones de peces, generalmente, incluyen también la reserva de algunos ejemplares grandes y la eliminación de un gran número de pequeños peces, a fin de reducir una competencia excesiva por el alimento que podría significar el decaimiento del potencial de crecimiento.

Las interferencias que se producen entre peces y aves son una cuestión a tener en cuenta en la gestión de estos espacios.

Entre las poblaciones de peces y de aves acuáticas existen tres formas principales de interacción:

### 1. Predación de aves por los peces

Este es probablemente el fenómeno más común y generalizado. Las aves más afectadas son las crías de pato, somormujo, zampullín chico y polla de agua, entre otras.

Los principales depredadores de crías de ave son los lucios de tamaño medio (2-3 kg), las anguilas grandes

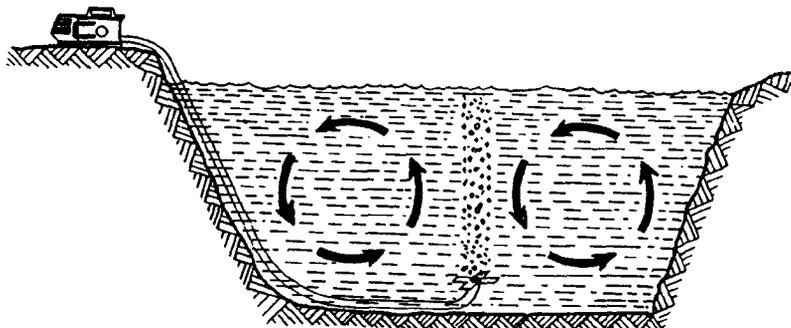


Figura 10.4. Aireación del agua.

(> 2 kg) y los peces gato, que puede llegar a alcanzar hasta 20 kg de peso.

## 2. Predación de peces por aves

Los bancos de alevines de bermejuelas, cachos y otros peces que viven en las aguas sombreadas y con vegetación suponen un abundante suministro de comida para un gran número de pájaros piscívoros: somormujo lavanco, zampullín chico, garza, martín pescador, etc.

## 3. Competición alimenticia entre peces y aves acuáticas

Donde el objetivo principal de la restauración es el favorecimiento de la avifauna acuática, se puede evitar la competencia entre aves y peces, cuando la base alimenticia de ambos coincide, eliminando los ejemplares adultos de peces.

Para ello lo más eficaz es disminuir el nivel de la laguna, concentrar los peces en zonas más o menos cerradas, de poca profundidad, y entonces proceder a pescarlos con redes. Utilizando mallas de más de 2 cm los ejemplares más pequeños no son atrapados en la red, con lo cual queda un remanente de alimento para las aves piscívoras en aquellas zonas.

### 3.2.3. Anfibios

Este grupo incluye ranas, sapos y salamandras. Sus hábitos alimenticios incluyen zooplancton y pequeños invertebrados.

Necesitan zonas aptas para hacer la puesta, áreas para pasar el invierno y zonas donde les sea fácil alimentarse.

Como puntos más importantes en la creación y gestión de sus hábitats cabe destacar los siguientes:

- Necesitan charcas de cualquier tamaño por encima de 0,1 ha, con una profundidad máxima de 1-2 m.
- Las márgenes deben ser poco profundas, y, donde el tamaño de la laguna lo permita, es conveniente que la orilla descienda con una pendiente muy suave, hasta alcanzar el agua 2 m de profundidad a 5 m del borde. Alternativamente, esta profundidad puede alcanzarse con orillas escalonadas.
- Es preferible una serie de tres o cuatro pequeñas lagunas que una sola de gran superficie. De esta manera es posible obtener una mayor variedad morfológica de orillas, y proporcionar más tipos de microhábitats diferentes.
- Las lagunas que se secan estacionalmente o en las cuales el nivel del agua desciende periódicamente son muy buenas para los anfibios, porque en estas condiciones disminuye el número de predadores acuáticos, especialmente los peces.
- Si las lagunas mantienen sus niveles durante todo el año, conviene eliminar periódicamente los ejemplares adultos de los depredadores de anfibios más voraces (espinoso, perca y lucio).
- Debe establecerse una orla de vegetación emer-

gente que no sobrepase el 50% del perímetro de la laguna. Conviene evitar el carrizo, que es invasor y de difícil control.

La vegetación emergente proporciona hábitat para los insectos que sirven de alimento a las ranas, salamandras y otros anfibios.

- Debe también introducirse plantas sumergidas para proporcionar a los anfibios refugio ante los depredadores, zonas para la freza y la puesta y alimento.
- Conviene evitar las plantaciones de árboles muy cerca de las orillas, ya que sombrean el agua disminuyendo su temperatura. Para beneficiar a los anfibios, las zonas de solana (S y E) deben permanecer expuestas para que la temperatura del agua se incremente lo máximo posible.
- Una vez que la gravera ha sido restaurada, deberá evitarse cualquier actuación que resulte perturbadora. En caso de que sea necesario llevar a cabo labores de mantenimiento, éstas deberán realizarse durante los meses de invierno y otoño, y evitarlas desde el comienzo de febrero hasta el final de septiembre.
- Las acequias y los canales son buenos lugares para los anfibios. Deberían ser tan profundos como anchos y con las orillas tendidas. En algunas zonas el agua puede ser represada para crear pozas más profundas de aguas quietas.
- Las rocas y los montones de troncos, hojas y materia orgánica semidescompuesta proporcionan comida y refugio a los anfibios. Pueden disponerse montones artificiales de estos materiales en una franja marginal, cercana a la orilla.
- Las graveras pueden repoblarse con huevos o renacuajos. Como los anfibios tardan tres años o más en madurar, no se conseguirá que la nueva colonia alcance un desarrollo pleno hasta pasados 10 años.

### 3.2.4. Aves

Las aves, y en especial las aves acuáticas, colonizan rápidamente nuevas áreas si en ellas encuentran unas condiciones favorables. En el transcurso de un año, miles de pájaros de muy variadas especies pueden haber pasado sobre una gravera, y el que colonicen el área o no, depende de si encuentran allí comida y refugio.

En el diseño de una restauración para acoger aves es importante tener presentes las condiciones que cada una de las especies requiere e intentar proporcionárselas, Fig. 10.5.

En general todas las aves necesitan una fuente de alimentos suficientemente abundante para mantener sus poblaciones, zonas aptas para la puesta y la cría a cubierto de los predadores, otras áreas, también seguras, con alimento abundante y alejadas de la influencia humana, para realizar la muda, y otras zonas tranquilas donde las aves encuentren refugio y comida, para descansar y alimentarse.

En los apartados siguientes se han resumido los requerimientos y hábitats de una selección de aquellas aves que es posible atraer a las graveras. Esta selección no pretende ser exhaustiva, ni mucho menos, sólo se intenta reflejar el rango de requerimiento de algunas de las aves que más comúnmente colonizan las graveras húmedas.

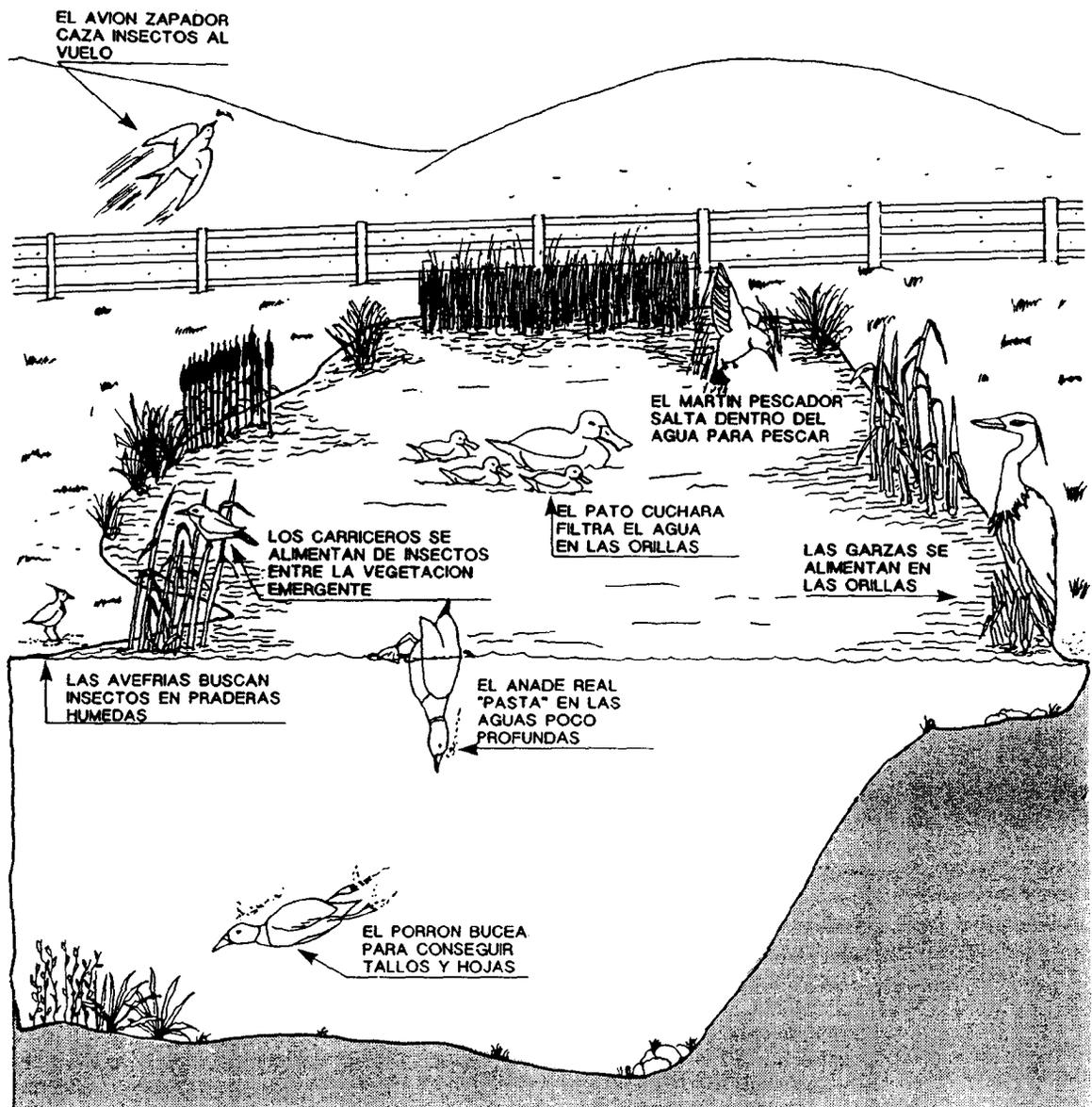


Figura 10.5. Hábitat de alimentación de aves acuáticas.

#### ZAMPULLIN CHICO (*Tachybaptus ruficollis*)

La superficie mínima que necesita una pareja es de entre 0,1 y 0,2 ha, aunque, probablemente por las interferencias que se crean entre parejas adyacentes, no suelen darse densidades de población que superen los cinco pares por hectárea.

Existen tres factores críticos que definen el hábitat de esta especie:

- **Profundidad del agua:** los zampullines bucean para obtener su comida. Por ello, en aguas muy profundas les es difícil alimentarse. Las profundidades que no superan 1 m son las más adecuadas.
- **Abundante vegetación sumergida,** ya que en este tipo de vegetación se desarrollan los invertebrados y pequeños peces que les sirven de alimento.
- **Vegetación emergente** para construir sus nidos.

Como recomendaciones para la creación y el manejo de sus hábitats pueden reseñarse las siguientes:

1. Requieren superficies continuas de al menos 0,2 ha, con una profundidad máxima del agua de entre 0,75-1,25 m. A esta profundidad la penetración de la luz es óptima, lo cual favorece el crecimiento de la vegetación sumergida y propicia una alta productividad de insectos y pequeños peces.
2. Orillas provistas de vegetación emergente. La superficie con vegetación necesaria para proporcionar sitios adecuados para que aniden no es bien conocida, aunque parecen ir bien las orillas poco profundas con franjas de plantas emergentes, carrizos, eneas, etc., de al menos 40 m de longitud y 1-2 m de anchura, en las que es aconsejable aportar una capa de suelo vegetal para favorecer

el desarrollo de la vegetación. Estas zonas deberían estar alejadas de la influencia humana.

3. El que haya plantas flotantes situadas en el borde de la orla de vegetación emergente no parece suponer un problema. Los árboles ribereños también son tolerados. A menudo sus hojas caídas y restos orgánicos favorecen el crecimiento de las poblaciones de insectos y otros invertebrados, aumentando el valor del área como hábitat del zampullín, ya que estos pequeños animales les sirven de alimento.
4. En zonas húmedas naturales el zampullín prefiere los fondos cenagosos, pero en el caso de las graveras parece innecesario utilizar suelo vegetal para crear estas condiciones, ya que la vegetación sumergida se desarrolla rápidamente sobre cualquier sustrato.
5. A menudo los nidos quedan flotando o se desuelgan a causa de variaciones bruscas en el nivel del agua, provocando la pérdida de la pollada. Deben controlarse por tanto estas fluctuaciones del nivel del agua.

#### **SOMORMUJO LAVANCO (*Podiceps cristatus*)**

El principal alimento del somormujo son los peces, a los cuales atrapa buceando, en profundidades que no superan los 4 m.

Construye sus nidos entre los cañaverales o entre las ramas flotantes de los sauces, siempre a ras de agua. Durante la cría de sus pollos, cada pareja necesita una área de 1 ha o más.

Es muy susceptible a las perturbaciones y siempre prefiere los sitios tranquilos y alejados de la influencia humana.

Algunas cuestiones a tener en cuenta si se pretende atraer al somormujo lavanco a una gravera restaurada son las siguientes:

1. La mayoría de las graveras ofrecen condiciones suficientes para la pervivencia de los ejemplares adultos, pero carecen de los recursos alimenticios que requieren los pollos y los ejemplares jóvenes: (pequeños peces, insectos, etc.). Para conseguir aumentar la productividad de la laguna es aconsejable que la profundidad no sea mayor de 2 m. En estas condiciones la vegetación sumergida se desarrolla rápidamente, y con ello su microfauna asociada.
2. Se requieren zonas de vegetación emergente para que construyan sus nidos. Este tipo de vegetación puede ser implantada en aguas cuya profundidad no supere 1 m. La anchura de esta banda de vegetación debe ser suficiente para asegurar que la zona de anidamiento queda inaccesible a los predadores terrestres. La extensión óptima de las zonas de anidamiento no es conocida. En la naturaleza los somormujos prefieren anidar en pequeñas zonas aisladas.

#### **GARZA REAL (*Ardea cinerea*)**

La garza real se acomoda fácilmente a una gran diversidad de hábitats, siempre que tenga suficiente alimento. Puede vivir en aguas poco profundas, marjales

y lagunas, embalses, graveras, e incluso ríos de aguas lentas.

Su alimento fundamental son los peces de entre 10 y 16 cm, aunque también come regularmente insectos, anfibios, reptiles, pequeños mamíferos y, menos a menudo, crustáceos, moluscos, gusanos y pequeños pájaros, incluidas crías de pato.

Como criterios para la creación y gestión de su hábitat se reseñan los siguientes:

1. Suele ser innecesario repoblar específicamente la gravera con peces u otros de los animales que forman parte de la dieta de esta ave para favorecer la entrada de las garzas en la gravera, ya que en poco tiempo éstos se introducen de forma natural.
2. Como las garzas se adaptan a una amplia gama de hábitats, las restauraciones pensadas para atraer a otras aves acuáticas son buenas también para ellas. En general, necesita tramos de orilla abiertos razonablemente largos y cercanos a zonas de aguas someras (por encima de 30 cm). La longitud mínima de orilla con estas características debe ser de 20 a 25 m.
3. Las orillas deben ser de pendiente suave. La garza, normalmente, no usa las zonas con orillas escalonadas que bajan bruscamente por debajo de 60 cm de profundidad del agua.
4. No tolera bien la presencia humana. Necesita zonas tranquilas y alejadas.
5. Si existen colonias de garzas cerca de un área donde se pretende abrir una explotación, es necesario dejar una ancha franja de terreno inalterado para aislar la zona de anidamiento de la zona de trabajo. Si a corto plazo se va a explotar el área de anidamiento, será necesario concentrar los trabajos de explotación fuera del período de cría, aproximadamente de julio a diciembre inclusive.
6. No es fácil conseguir que las garzas entren en un terreno recién restaurado. Necesitan que exista un arbolado maduro y bien desarrollado, y esto no es posible hasta pasados entre 15 y 25 años. El que la gravera sea colonizada por las garzas o no, depende en la mayoría de los casos de si existen poblaciones cercanas, y de otra serie de factores que se escapan del control humano.

#### **ANADE REAL O AZULON (*Anas platyrhynchos*)**

El ánade real o azulón es común en la Península Ibérica, pero sólo abundante en las zonas que disponen de amplias marismas y otro tipo de zonas palustres importantes.

Se adapta a criar en casi todo tipo de masas de agua, aunque éstas sean muy reducidas, siempre que cuenten con un mínimo de cobertura vegetal y las aguas estén remansadas: lagos, lagunas, embalses, marismas e incluso balsas de riego.

Durante la muda o mancada busca amplios marjales con densa vegetación palustre en la que ocultarse, ya que pierde simultáneamente todas sus plumas remeras

y queda incapaz de volar hasta que le crecen las nuevas.

Su alimentación es básicamente vegetariana. Come una amplia gama de productos, tanto en tierra como en el agua: bulbos, tallos tiernos o brotes, semillas, granos, etc.

A continuación se dan algunas recomendaciones para la creación y gestión de sus hábitats:

1. Los azulones toleran un considerable nivel de perturbación y rápidamente colonizan y explotan cualquier hábitat mínimamente favorable.

En la mayoría de las graveras húmedas con pocas y fáciles modificaciones se consigue dar respuesta a sus necesidades.

Para alimentarse, el requerimiento principal es disponer de áreas extensas de aguas de 40 cm de profundidad máxima. Las zonas de más de 1 m de profundidad de agua únicamente las utiliza para pasar la noche, por lo que la mayoría de la superficie de laguna debería remodelarse de forma que queden conformadas como áreas de aguas poco profundas.

En las zonas de mayor profundidad deberán acondicionarse refugios contra el viento, bien a sotavento de las islas, bien mediante la creación de pantallas cortaviento.

2. Las orillas no deben superar 1:10 de pendiente.
3. Es conveniente disponer tanto por debajo como por encima del nivel máximo del agua, sustratos variados (suelo vegetal, cobertera, rocas, gravas, arena y lodo) para diversificar al máximo los tipos de microhábitats, y que el rango de alimentos disponibles sea también máximo.

4. Es conveniente acondicionar en los alrededores de la laguna, lo más cerca posible de la zona de aguas someras, áreas de pasto o de matorral bajo como hábitat de nidificación y cría. De esta manera los patitos no tienen que recorrer grandes distancias en sus primeras incursiones para alimentarse.

No es conveniente disponer los hábitats de anidamiento en franjas lineales, ya que esta disposición de los nidos es depredada muy fácilmente por los zorros y otros animales.

5. Deberían, también, acondicionarse zonas de césped, playas de grava o islas para que sirvan como zonas de descanso.

6. Para la cría es necesario disponer de una serie de islas. Para reducir la depredación de los mamíferos, éstas deberían estar situadas tan lejos como sea posible de la orilla.

Aunque se trata de una especie muy social, para la cría las parejas se dispersan y se hacen territoriales. Es conveniente, pues, disponer de un buen número de islas espaciadas entre sí (20-30 m de separación) y con las orillas irregulares, formando bahías y playas, para aumentar el aislamiento de las parejas.

En algunas circunstancias, las balsas sembradas de césped pueden ser la única posibilidad para crear islas y la mayoría de las veces dan buenos resultados.

7. Para maximizar la variedad de alimentos disponibles, la zona ribereña puede plantarse con una mezcla diversa de plantas, incluyendo: plantas

herbáceas propias de zonas encharcadas (verónicas, menta, junco florido, nomeolvides, etc.), plantas acuáticas emergentes (lirio de agua, carrizos, espadañas, etc.), cada una en bloques monoespecíficos. Si se plantan como mezcla de especies, se corre el riesgo de que una de ellas se haga dominante, y la diversidad específica se reduzca.

Las zonas de aguas someras deben plantarse con especies acuáticas arraigadas de hojas flotante (nenúfares, potamogeton, poligonum, etc.), y las de agua más profundas con plantas sumergidas (*Chara, sp., Ceratophyllum, Myriophyllum, etc.*).

8. En términos generales, una gravera restaurada para acoger al ánade real o a cualquier otra anátida, debería tener el 60% de su superficie bien vegetada, con un *pattern* vegetal que incluya plantas emergentes, plantas de hojas flotantes y subacuáticas. Con estas condiciones, los huecos de graveras poco profundos son los más adecuados para este tipo de restauración.

## OTRAS ANATIDAS

En general, todas las anátidas que nidifican en la Península son capaces de colonizar y explotar los mismos hábitats que el ánade real, aunque cada una de ellas tiene además unos requerimientos específicos.

### Cerceta común (*Anas crecca*)

En las restauraciones para la cerceta común debe incrementarse la proporción de agua muy poco profunda, y utilizar las balsas colmatadas de lodos para constituir áreas fangosas llanas y vegetadas con plantas palustres de bajo crecimiento.

Si se dispone de terreno en los alrededores de la gravera, pueden excavar una serie de huecos pequeños (0,2-1 ha), poco profundos, para crear zonas pantanosas salpicadas de pequeñas islas dispersas (por ejemplo, 30 x 10 m) y densamente vegetadas, a fin de crear zonas de anidamiento.

La presencia humana debe ser mínima en el área.

### Pato cuchara (*Anas clypeata*)

El pato cuchara coloniza rápidamente los espacios restaurados para el ánade real, ya que es capaz de explotar las zonas más profundas, especialmente en primavera cuando se incrementa el nivel de nutrientes del agua.

La vegetación ribereña de árboles y arbustos no debe ser tan densa que cierre el acceso a la orilla del agua. El mejor hábitat de nidificación se crea permitiendo al ganado pastar cerca de las orillas al final del otoño, y cerrando el terreno en abril-junio, para evitar la destrucción de los nidos por pisoteo.

### Anade friso (*Anas strepera*)

Esta especie se adapta sin problemas a la mayoría de las graveras restauradas siguiendo los requerimientos del ánade real.

## MARTIN PESCADOR (*Athedo athis*)

El martín pescador es un ave solitaria y territorial. Cada pareja suele ocupar al menos de 0,8 a 1,5 km de orilla como territorio de cría.

Construye sus nidos en taludes verticales o escalonados situados muy cerca del agua. Prefieren los taludes firmes, estables y sin piedras grandes. Suelen excavar el nido a 1 ó 2 m sobre el nivel normal del agua.

Se alimentan de pequeños peces, junto con una variada gama de insectos acuáticos, que obtienen buceando hasta una profundidad máxima de 1 m.

Sus requerimientos habitacionales básicos son:

1. Para alimentarse necesitan áreas poco profundas y con agua clara, libres de vegetación emergente.
2. Necesitan zonas donde puedan posarse y desde ellas lanzarse a pescar, situadas sobre el agua o en zonas muy próximas. Pueden utilizarse ramas o postes para construir estos posaderos.
3. Es absolutamente necesario que existan taludes verticales de al menos 1,5 m de altura, situados preferentemente cerca del agua, y si no es posible en un radio que no supere los 250 m de la orilla.

Estos taludes pueden crearse de forma intencionada durante la excavación o formarse como resultado de la erosión de las olas.

Deben tomarse medidas para que la erosión en la base del talud sea mínima durante la época de cría, aunque, por otro lado, unos procesos erosivos no demasiado intensos pero mantenidos, de forma que impidan el establecimiento de árboles y arbustos en las orillas, son muy beneficiosos.

4. La extensión de las orillas no es un factor crítico; sin embargo, debe tratarse de que sean lo mayores posible.
5. Fluctuaciones rápidas en el nivel del agua durante la época de cría pueden ocasionar la pérdida de las polladas por inundación.

## AVION ZAPADOR (*Riparia riparia*)

El avión zapador llega a la Península a primeros de abril, siempre en grupos más o menos grandes.

Es un ave gregaria, que forma colonias que pueden variar desde una docena de parejas hasta varios cientos.

Tiene un carácter altamente antropófilo y es oportunista en la elección de sus zonas de nidificación. Generalmente prefiere taludes arenosos cercanos al agua. Si el sustrato es estable, y las galerías en las que instala sus nidos se mantienen, año tras año vuelven a la zona.

La altura del talud donde nidifica varía bastante. Puede construir nidos casi a nivel del suelo si no hay superficies más adecuadas, o utilizar taludes de 4 y 5 m o más.

Se alimenta fundamentalmente de insectos: larvas de efímeros, libélulas, mosquitos, etc., que captura al vuelo.

Sus requerimientos habitacionales básicos son:

1. Si ya existen colonias de avión zapador en el área, la medida más efectiva es preservar y pro-

teger los taludes en los que ellos tienen instalada su colonia. A largo plazo el grado de conservación y el valor de la colonia dependerá de la estabilidad del talud y la efectividad de las medidas que se hayan tomado para prevenir su erosión.

2. Donde no existen previamente colonias, es posible crear o mantener, tras el cese de la explotación, orillas y taludes adecuados para que nidifiquen. Aunque esto no significa que vayan a acomodarse en ellos.

Para maximizar la posibilidad de que suceda, las orillas o los taludes deben ser verticales, estables y con 3-4 m de altura. El área situada frente a ellos debe estar limpia de vegetación arbórea y arbustiva e impedirse el acceso directo de las personas a las zonas de nidificación.

3. Si anidan en época de aguas bajas, por debajo del nivel medio de la laguna, deberían tomarse medidas para impedir que el agua inunde los nidos durante la época de cría, al alcanzar la laguna su nivel normal.
4. El desarrollo de áreas extensas de carrizos y otras plantas emergentes, las cuales favorecen que aumente la población de insectos, puede ayudar a atraer a estas especies a esta área restaurada.

## 3.2.5. Mamíferos

Los alrededores de las graveras húmedas, y en general los lugares cercanos a las orillas de arroyos o ríos, provistos de abundante y variada vegetación, son muy aptos para un gran número de mamíferos.

La mayoría de las especies de pequeño tamaño son muy comunes, y su distribución está generalizada por toda la Península (musarañas, ratones de campo, ratas de agua y otros micromamíferos). Su principal valor para la conservación radica en que son el alimento básico de otros animales de mayor tamaño: comadrejas, lechuzas y búhos, víboras, etc.

Raramente es necesario un enfoque de la restauración específicamente encaminada a promover su desarrollo. Son capaces de colonizar rápidamente cualquier tipo de hábitat: bosque, matorral, herbazales de talla alta, etc.

Sin embargo, en algunos casos la rareza a nivel local o nacional de algunos de estos animales puede justificar la creación de hábitats específicos para ellos. Es el caso de la nutria, especie antes abundante y que ha tenido una drástica regresión en los últimos años.

## NUTRIA (*Lutra lutra*)

Las nutrias, antes muy abundantes en nuestros arroyos, han sufrido una fuerte reducción, llegando a desaparecer en extensas zonas.

Los factores que explican este proceso de desaparición son, básicamente, la contaminación de los ríos, la destrucción del hábitat de la especie y la captura de sus ejemplares.

Su dieta se compone principalmente de peces, aunque también consume anfibios, aves acuáticas, crustáceos e incluso reptiles y mamíferos.

No construye madrigueras, sino que aprovecha hue-

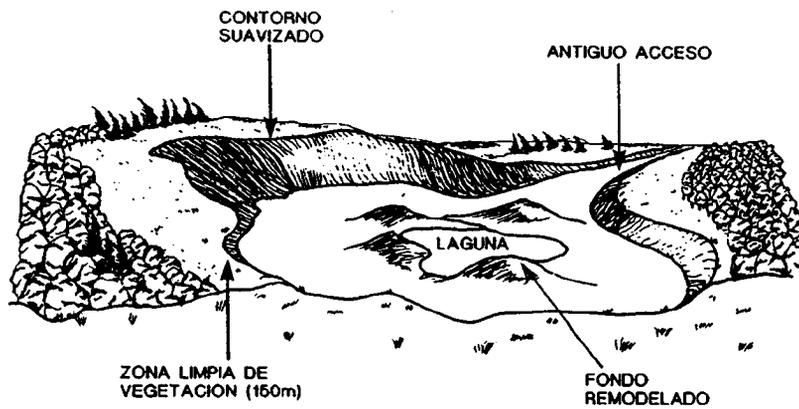


Figura 10.7. Remodelado de una gravera seca.

Además, el fondo de la gravera se puede hacer más variado y atractivo formando, con estéril o material sobrante, formas onduladas con "valles y colinas", y disponiéndolo en la base de las paredes del hueco, para que el enlace entre el talud y la zona llana sea gradual (pendiente 1:5), Fig. 10.7.

Otras medidas para crear nuevas zonas atractivas para la fauna son:

- Diseñar los caminos de acceso a la gravera con el mínimo desnivel posible, para facilitar la entrada de los animales al hueco.
- Formar caballones irregulares de 2 a 3 m de altura en las zonas llanas o a lo largo de los taludes, Fig. 10.8.
- Descabezar la parte superior del hueco para suavizar la transición de éste con el terreno natural, Fig. 10.7.
- Crear pequeñas depresiones mediante excavación en las zonas llanas o de poca pendiente.
- Banquear los taludes, si éstos son excesivamente largos y pendientes.
- Disponer en el fondo de la gravera una serie de montones de 1 a 4 m de altura, contruidos con piedras grandes. Este tipo de apilamiento es muy útil para los pequeños mamíferos.
- Con el material estéril o el de cobertera también



Figura 10.8. Caballón irregular creado para diversificar los hábitats.

pueden construirse pantallas, que aislen visualmente la zona restaurada de la zona en explotación, Fig. 10.9.

En las restauraciones para hábitats acuáticos mediante el remodelado deberá dotarse al área no sólo de una diversidad suficiente de biotopos, Fig. 10.10 (pendiente de las orillas, islas, perfil de costa y del fondo de la gravera), sino que debe tenerse en cuenta también un factor fundamental: la profundidad del agua.

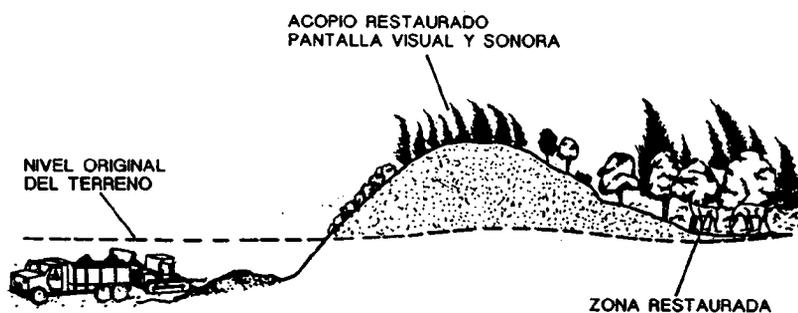


Figura 10.9. Barrera de aislamiento creada con estéril.

cos de rocas, cavidades bajo raíces o madrigueras abandonadas de otros mamíferos.

Sus principales requerimientos de habilitación son:

1. Necesitan una superficie mínima de 0,5 ha ocupada por especies palustres de talla alta: carrizos, cañas, glycerias, arbustos densos o una mezcla de ambos tipos de vegetación.

Es aconsejable dejar alrededor del área corredores estables de vegetación densa, que actúen como tampón contra posibles perturbaciones.

2. Las zonas dedicadas a la nutria deben estar libres de la presencia humana. Suele ser necesario cercar el área o aislarla mediante diques o zanjas inundadas.
3. Pueden construirse madrigueras artificiales con montones de troncos con potencial de enraizamiento (sauces y alisos).

También pueden construirse con ladrillo, disponiendo una serie de pasadizos radiales que partan del habitáculo central, Fig. 10.6, recubriendo toda la estructura con suelo y plantando encima. Si la madriguera va a ser utilizada para la cría, es necesario que esté situada junto a una lámina de agua de, al menos, 6 ha de superficie, rodeada de vegetación y con islas.

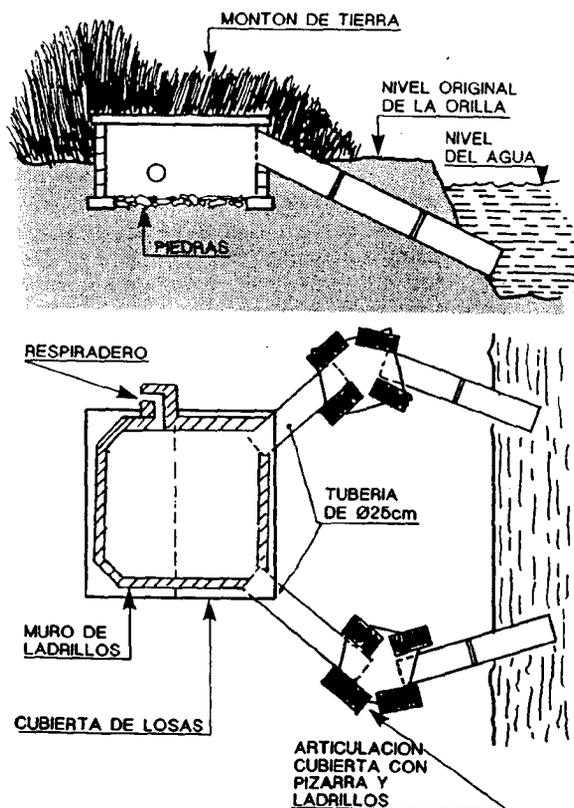


Figura 10.6. Madriguera artificial.

## 4. TECNICAS DE RESTAURACION

### 4.1. Introducción

El objetivo principal de las restauraciones encaminadas a la recuperación de hábitats es proporcionar a las criaturas silvestres alimento suficiente, refugio y zonas aptas para su reproducción.

Las técnicas empleadas para ello derivan en su mayoría de la agricultura y la silvicultura, aunque tienden a hacerse más complejas en cuanto a que los objetivos también son más complejos que el mero hecho de alcanzar un determinado nivel de productividad en un espacio.

En la restauración de graveras uno de los principales objetivos es dotar al espacio de las condiciones físicas que existirían en zonas húmedas naturales para permitir que los procesos ecológicos de colonización y sucesión se desarrollen en él de forma natural.

Si se conocen las necesidades de las diversas especies implicadas y se diseña la restauración de forma que esas necesidades básicas queden cubiertas, el sistema podrá desarrollarse y mantenerse por sí mismo.

Estas condiciones pueden conseguirse mediante un diseño adecuado y la aplicación de técnicas específicas de remodelado, revegetación, mantenimiento y gestión.

Finalmente, señalar que todos los tipos de hábitat sufren cambios sucesionales que alteran su carácter inicial, si no se produce intervención humana. Por ejemplo, los pastizales pueden transformarse rápidamente en matorrales, los matorrales, algo más lentamente, en bosques, y los bosques mantener indefinidamente su condición, siempre que las condiciones climáticas sean adecuadas (precipitación, fundamentalmente) y si no ocurre ninguna catástrofe (por ejemplo, incendios o inundaciones). Este efecto debe tenerse en cuenta a la hora de decidir qué tipo de hábitats se van a crear y su forma de gestión.

### 4.2. Remodelado

Tanto cuando el proyecto de restauración se refiere a la creación de hábitat para la fauna terrestre como para fauna acuática o ligada al agua, el objetivo fundamental del remodelado es aumentar el número de hábitats existentes en la gravera y acomodar las características topográficas del terreno a los requerimientos específicos de los animales que se pretende atraer.

En el caso de las graveras secas, la cuestión clave del remodelado es evitar la homogeneidad en las formas del terreno, y dotar al espacio de la máxima diversidad posible de biotopos, tanto a escala normal como microtopográfica.

El acondicionamiento del terreno debe comenzar ya durante la fase de explotación. De esta manera es posible crear una variedad mucho mayor de formas, a la vez que los costes disminuyen.

Hay multitud de maneras de incrementar el potencial faunístico de la gravera durante esta fase.

En primer lugar, conviene evitar los huecos geométricos, de contornos rectilíneos y taludes continuos muy pendientes. Son preferibles los huecos irregulares, de paredes sinuosas y con pendientes variadas, Fig. 10.1.

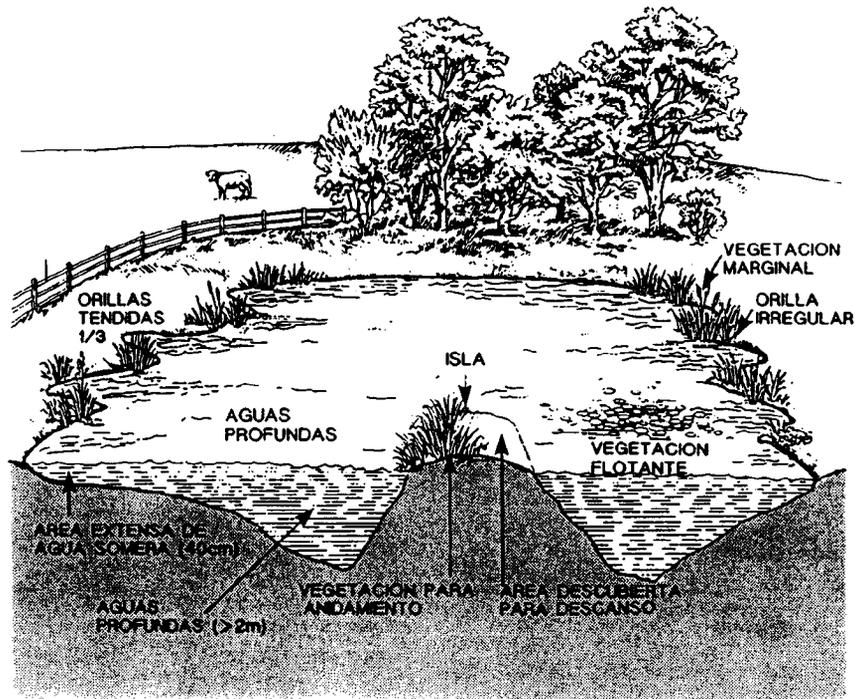


Figura 10.10. Principales hábitats acuáticos asociados a las aves en relación con la profundidad del agua.

## Profundidad del agua

Este es el parámetro ambiental que controla el número y variedad de animales y plantas en las zonas húmedas. Fig. 10.11.

Una amplia gama de profundidades favorecerá unas poblaciones diversas de plantas, peces y aves. Las zonas de aguas muy someras serán colonizadas fácilmente por la vegetación; si se mantienen estas orillas sin vegetación o con muy poca, atraerán a limnícolas y patos de superficie.

En las aguas de más de 1,5 m de profundidad, no podrán vivir las plantas emergentes y sólo los macrófitos sumergidos serán capaces de desarrollarse. Estas zonas son las preferidas de las fochas y los patos de superficie. Si el crecimiento de la vegetación es bueno, las poblaciones de invertebrados, peces y anfibios se verán favorecidas.

Las zonas más profundas albergarán más o menos plantas acuáticas, dependiendo de la turbidez y la trofia del agua. Si en ellas hay sedimentos ricos en moluscos, quironómidos y otros invertebrados, podrán prosperar peces, patos buceadores, zampullines y somormujos.

Las últimas tendencias en este tipo de restauraciones aconsejan reducir la zona de aguas profundas en beneficio de las zonas de aguas someras (< 1,5 m) tanto como sea posible.

Los niveles del agua suelen fluctuar estacionalmente. Generalmente el nivel máximo se alcanza durante el invierno y el principio de la primavera, y el mínimo al final del verano.

Las formas finales del hueco en la zona dedicada a agua somera se diseñarán en función de estos niveles extremos, para evitar que, durante las aguas bajas estacionales, la superficie en estas áreas se reduzca en exceso, Fig. 10.12.

## Orillas

En las zonas en las que se pretenda conseguir aguas muy someras (10-30 cm) o hábitats estacionalmente inundables, la pendiente deberá ser muy suave, alrededor de 1:100.

En estas zonas es preferible, en lugar de dar al terreno una pendiente continua y lisa, desarrollar superficies suavemente onduladas, con pequeñas depresiones que al ser inundadas tendrán una profundidad de agua ligeramente superior a la del resto del área, y con elevaciones que sobresalgan fuera del agua.

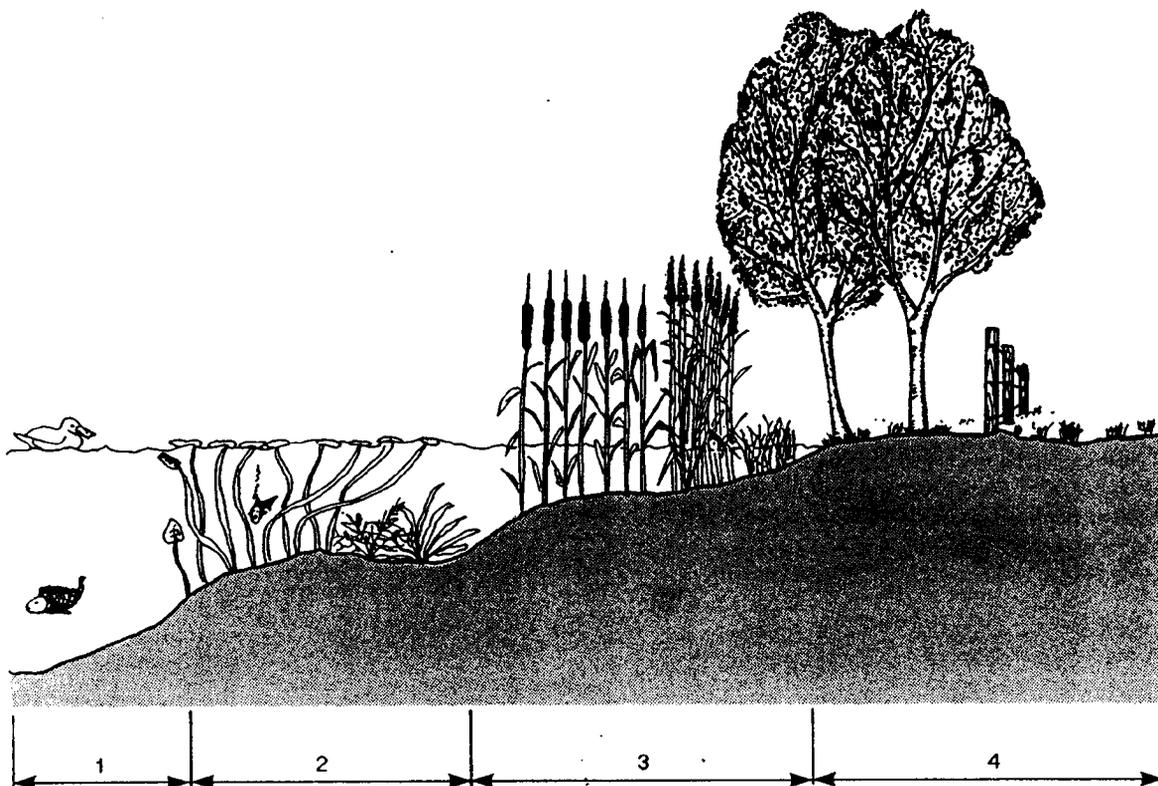
Esta variedad de formas a nivel microtopográfico (5-10 cm en decenas de metros), supone un incremento considerable en la diversidad de hábitats desarrollado.

Las zonas de aguas someras pueden crearse retranqueando las orillas o mediante rellenos, utilizando estériles, cobertera, lodos del lavado del material o materiales inertes provenientes de otras zonas.

El área de aguas someras no debe ser demasiado grande. Es mejor crear una zona ancha, amplia y protegida en una parte de la laguna que una banda estrecha a lo largo de todo el perímetro de la gravera.

La pendiente de las orillas de estas zonas deberá ser de 1:15 o menor. En las zonas desprotegidas, expuestas a la erosión de las olas, conviene escalonar suavemente las orillas; de esta manera, las olas al incidir contra el fondo van perdiendo progresivamente altura y energía, y su efecto erosivo se reduce considerablemente.

Los taludes verticales residuales situados cerca del agua pueden ser lugares ideales para la nidificación de aviones zapadores, martines pescadores o abejarucos y puede ser conveniente mantenerlos.



1. PROFUNDIDAD 2m  
 Escasa penetración de luz  
 Crecimiento vegetal limitado  
 Uso principal :  
 - Alimentación para aves piscívoras  
 - Descanso nocturno para las aves
2. PROFUNDIDAD 0,5 - 2m  
 Buena penetración de luz  
 Crecimiento vegetal vigoroso  
 Abundancia de invertebrados  
 Uso principal :  
 - Alimentación de las crías de anátidas y zampullines
3. PROFUNDIDAD 0,5m  
 a) Colonizado por plantas emergentes  
 Uso principal :  
 - Nidificación  
 b) Aguas sin vegetación  
 Uso principal :  
 - Alimentación de anátidas  
 c) Sustrato fangoso sin vegetación  
 Uso principal :  
 - Alimentación
4. ESTACIONALMENTE INUNDADO  
 a) Sauces  
 Uso principal :  
 - Nidificación  
 b) Pastizales  
 Uso principal :  
 - Alimentación de la aves herbívoras  
 - Nidificación

Figura 10.11. Principales hábitats acuáticos asociados a las aves en relación con la profundidad del agua.

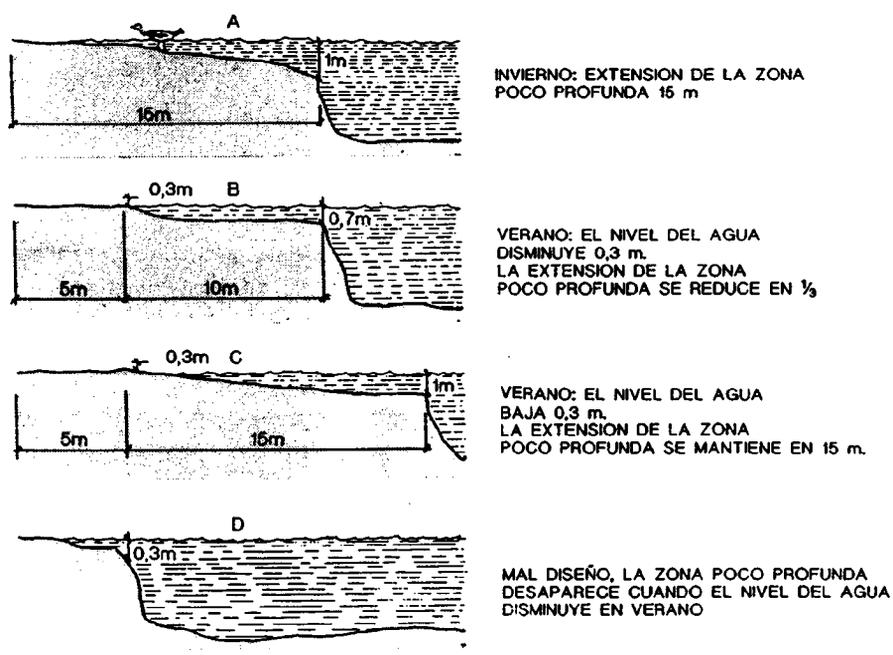


Figura 10.12. Diseño de orillas.

**Forma**

La forma de una gravera es muy importante si se va a dedicar a un uso natural.

Cuanto más irregular sea la orilla, mejor. Además, es ideal un alto ratio perímetro/superficie, es decir, que para una superficie de agua determinada la longitud de la orilla sea lo mayor posible.

Esto puede conseguirse dando al hueco forma alargada o irregular, y creando salientes y entrantes ("espigones y ensenadas"). Deberá procurarse que el modelado del perímetro de la gravera no sea excesivamente fino, para que el riesgo de erosión sea pequeño, Fig. 10.13.

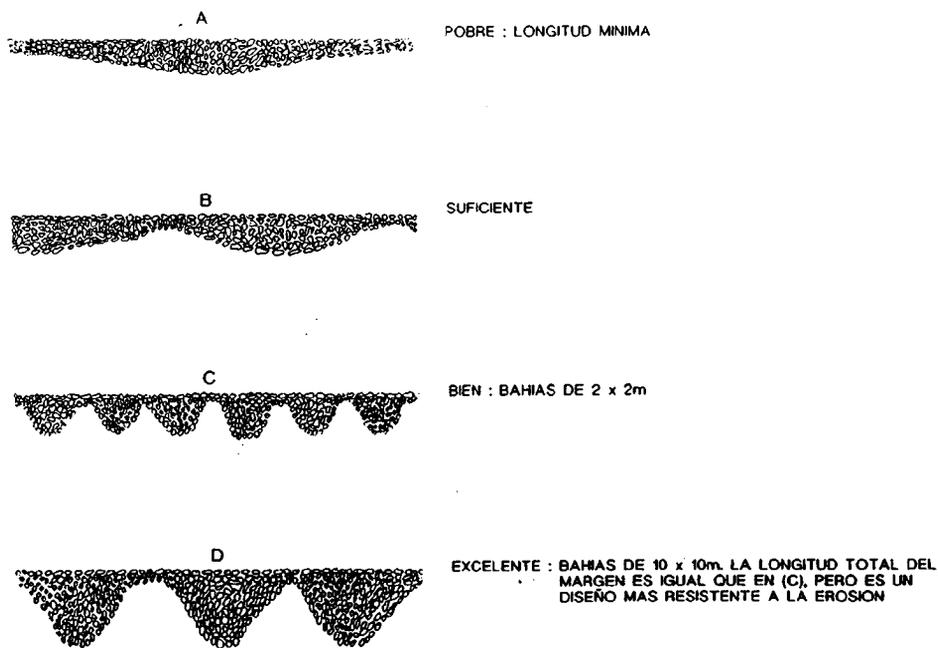


Figura 10.13. Forma de las orillas.

Se puede dar a la gravera esta forma irregular ya durante la etapa de explotación, extrayendo el material de forma selectiva.

Si esto no es posible, pueden verse materiales estériles en distintos puntos de la gravera para modificar la forma de las orillas, formando penínsulas y salientes.

Una gravera dedicada a conservación no debería limitarse a una sola laguna. Es mucho más adecuado que la zona incluya una serie de lagunas de distinta forma, tamaño, profundidad y orientación.

El lago principal puede dividirse en diversos "sublagos" mediante la creación de diques y rellenos, o pueden dejarse barras de material sin explotar, de forma que la gravera quede subdividida en varios cuerpos de agua independientes, o interconectados por estrechos canales.

Alternativamente, pueden excavar una serie de pequeñas charcas o lagunas adosadas al lago principal y desconectadas de él para evitar la entrada de peces. Cuando el cuerpo de agua principal sea profundo, estas lagunas secundarias pueden representar un hábitat alternativo para plantas acuáticas, invertebrados y anfibios. Durante la temporada de cría estas charcas, además, constituyen los mejores puntos de alimentación para los pollos de anátidas y otras aves acuáticas, libres además de depredadores.

#### 4.3. Suelo

La mayoría de las restauraciones para un uso natural están basadas en la implantación de una comunidad adecuada de plantas, y el desarrollo de estas plantas depende directamente de las características del suelo.

Las recomendaciones generales que deben seguirse en la retirada, almacenamiento y aporte del suelo ya han sido comentadas en el capítulo 7.

En el caso de las graveras húmedas dedicadas a un uso natural, pueden añadirse a aquellas algunas otras recomendaciones:

- El suelo vegetal más rico se redistribuirá en las áreas marginales de la laguna de poca profundidad y en las zonas encharcables, y se utilizará como sustrato para la plantación de pantallas cortaviento.
- La cobertera, de peor calidad, es preferible como sustrato del resto de las plantaciones y siembras, y para las zonas que sean netamente terrestres.
- El exceso de estéril y la arena pueden utilizarse para remodelar los contornos del terreno.
- Las piedras grandes, que eventualmente pueden aparecer durante la excavación, son útiles para proteger las orillas contra la erosión de las olas, la construcción de islas o dispuestas alrededor del área, unas en zonas soleadas, otras en sombra, para aumentar la diversidad de los hábitats.
- Los lodos procedentes del lavado de los áridos son muy útiles para el desarrollo de marjales y como recubrimiento de las zonas menos profundas.

#### 4.4. Revegetación

En las graveras abandonadas se suele desarrollar por sí misma una cubierta vegetal que incluye vegeta-

ción emergente en las aguas someras, plantas acuáticas flotantes en las zonas más profundas, y una orla de vegetación arbórea y arbustiva de carácter ribereño ocupando las orillas.

Ahora bien, existen ciertas plantas que proporcionan beneficios especiales para ciertas especies animales. Así, para maximizar el potencial faunístico de la restauración, deben seleccionarse con este objetivo los árboles, arbustos y otros tipos de plantas más adecuadas y planear cuidadosamente su colocación. Además, algunos tipos de vegetación pueden necesitar de ciertas labores de mantenimiento para mantener la calidad de los hábitats.

En la selección de las especies una de las cuestiones más importantes a considerar es elegir especies autóctonas, y evitar la introducción de variedades exóticas. Las plantas autóctonas tienen un mayor valor para la vida silvestre.

Las especies seleccionadas deben encontrarse en el entorno de la gravera (ríos, arroyos, lagunas, embalses, balsas de riego, etc., cercanos) y deben ser apropiadas para las condiciones específicas que se van a dar en la gravera, por ejemplo, pH, tipo de sustrato o profundidad del agua.

En el capítulo 8 se proporciona un listado de especies de posible utilización, sus requerimientos y sus utilidades.

Se deberá implantar una variedad de especies que incluya plantas propias de cada una de las zonas de la gravera. En general, debe considerarse la introducción de plantas acuáticas, emergentes y flotantes, árboles y arbustos de ribera, y especies propias de herbazales y pastos.

##### 4.4.1. Plantas acuáticas

Este grupo incluye algas, plantas sumergidas y plantas acuáticas flotantes, arraigadas o no.

Las plantas sumergidas y las algas son la base de la pirámide trófica de los ecosistemas acuáticos. De ellos depende una amplia gama de animales; bien directamente, porque les sirven de alimento, es el caso de numerosas aves acuáticas vegetarianas, peces e invertebrados; bien indirectamente, porque conforman la estructura física en la cual los animales viven, se reproducen o encuentran refugio.

Las plantas acuáticas arraigadas con hojas flotantes, ayudan a estabilizar el fondo de las lagunas, previniendo la remoción de los sedimentos. Cuando este tipo de plantas ocupan bandas extensas y continuas, actúan eficazmente como rompeolas, y ayudan a proteger los cañaverales y otros hábitats ribereños.

La profundidad del agua en la zona de plantación es un factor clave para asegurar el éxito de la plantación. Los niveles del agua deben determinarse al final del verano, en la época de aguas bajas, para evitar la desecación y muerte de la plantación en época de sequía.

Las plantas acuáticas deben disponerse en zonas marginales, extendiendo las orillas de forma gradual hasta alcanzar 2 m de profundidad o nivelando el fondo de la laguna en profundidades comprendidas entre 0,3 y 2 m.

Otros factores a tener en cuenta son el pH del agua, la textura del sustrato (la mayoría de las especies pre-

fieren sustratos de textura fina o media) y la fertilidad de los fondos (en algunos casos puede ser necesario aportar suelos vegetales, fangos de depuración de aguas residuales o fertilizantes).

#### 4.4.2. Plantas palustres

En este grupo se incluyen las plantas acuáticas emergentes y otras propias de zonas periódicamente encharcadas (carrizos, juncos, eneas, lirios de agua, etcétera).

Estas plantas son muy útiles en este tipo de restauraciones: protegen eficazmente las orillas contra la erosión, retienen los sedimentos, generan abundante materia orgánica y detritos proporcionando así condiciones ideales para el desarrollo de las poblaciones de quironómidos y otros invertebrados; entre sus tallos y raíces sumergidos los alevines de peces y los renacuajos encuentran refugio y alimento; numerosas aves acuáticas utilizan este tipo de plantas como alimento, anidan en ellas o les sirven de refugio contra los depredadores, etc.

La profundidad del agua y la cercanía del nivel freático a la superficie del suelo son los dos únicos factores que restringen las posibilidades de implantación y crecimiento de este grupo de especies.

Son capaces de desarrollarse en una franja de terreno que va desde zonas terrestres con el freático situado hasta 20 cm de la superficie, hasta 1 ó 2 m por debajo del agua.

Es difícil establecer este tipo de plantas donde existe un riesgo grande de desecación y los niveles del agua disminuyen radicalmente en verano; ahora bien, una vez instaladas soportan bien las variaciones estacionales de nivel.

Durante el remodelado se deberán crear franjas ribereñas anchas y de pendiente suave (< 1:15).

Es preferible realizar las plantaciones por bloques de especies, es decir, dedicar áreas relativamente extensas a una sola especie, a fin de crear una superficie grande de un determinado hábitat.

Se debe evitar mezclar especies muy vigorosas y de carácter netamente invasor con otras de crecimiento más lento, ya que se crea una fuerte competencia entre ambas, quedando desplazada la más débil.

Si alguna planta no está disponible en cantidad suficiente para cubrir un área grande, es conveniente mezclarla con otra especie cercana, del mismo tipo y con una forma de diseminación similar.

Las plantaciones en bloques separados también permiten un seguimiento efectivo del progreso de la plantación y la puesta en marcha de acciones específicas en caso de fracaso.

Como nota negativa, señalar que el aspecto inicial de las superficies plantadas mediante esta técnica es bastante artificial, aunque su apariencia mejora una vez que la vegetación se ha estabilizado.

El material de plantación se dispone en el borde del agua y desde allí, una vez que han arraigado, las plantas se van introduciendo por sí mismas hacia zonas más profundas.

Cuando la acción de las olas sea muy intensa puede ser necesario proteger las plantaciones usando materiales artificiales tipo Enkamat. Una vez que éstas se

han estabilizado, son capaces de absorber la acción de las olas y prevenir la erosión.

La mejor época de plantación es el final de la primavera, cuando las plantas han comenzado el crecimiento activo y las condiciones climáticas les son favorables.

Durante esta época, además, si los peces o las aves remueven los propágulos o comen parte de las nuevas plantas, éstas son capaces de regenerarse y reponer sus pérdidas.

Si en la gravera existe alta presión de pastoreo, es necesario proteger las plantaciones contra el ganado. Una vez que la vegetación se ha establecido, el pastoreo, siempre que sea controlado, puede ser beneficioso.

#### 4.5. Islas y otras zonas de anidamiento

##### 4.5.1. Islas y balsas

Las islas, que son los lugares preferidos por las aves acuáticas para nidificar, pueden construirse con diferentes tamaños y formas.

Es conveniente que el perímetro sea lo más irregular posible: cruciformes, en herradura, circulares, alargados, o como un atolón con laguna central, Fig. 10.14.

Deben tener pequeñas ensenadas en las que las aves puedan descansar y alimentarse, estando protegidas del viento.

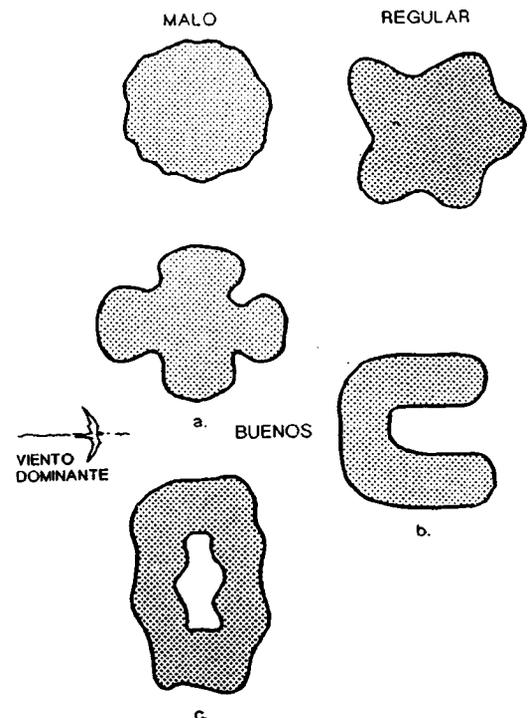


Figura 10.14. Formas geométricas de las islas para crear planos de agua abrigados.

Los taludes, alrededor de las islas, deben ser lo más suaves posible, con una pendiente media de 1:15. Esto es debido a que los perfiles suaves facilitan el acceso al agua y el regreso a las islas de los animales pequeños y las crías de aves que hayan podido nacer allí.

Por otro lado, no deben ser promontorios de gran altura, con el fin de que no impidan la vista del lago, cuando éstos constituyen lugares de observación de las aves al convertirse en reservas naturales.

Las partes de las islas más expuestas al viento pueden diseñarse con una mayor altura, por ejemplo, unos 2 m sobre el nivel del agua, con el fin de que actúen como pantallas de protección del resto de la superficie.

Las islas deben construirse lo más alejadas posible de las orillas con vistas a hacerlas inaccesibles a los depredadores terrestres. Se recomienda una distancia mínima de unos 50 m, si bien tal longitud variará en función de la profundidad de las aguas, siendo mayor cuando se trata de un lago de aguas someras.

En cuanto al número y tamaño, son preferibles varias islas pequeñas a una sola grande. El tamaño mínimo que se recomienda es de unos 10 m<sup>2</sup>, pudiendo llegar las mayores a 0,1 ha, facilitando la gestión de las mismas.

En cuanto a los métodos constructivos, son tres los que se suelen seguir:

- Islas de terreno no excavado durante la explotación.
- Islas construidas con estériles cuando la extracción se hace en seco y antes de la inundación.
- Islas flotantes en forma de balsas ancladas.

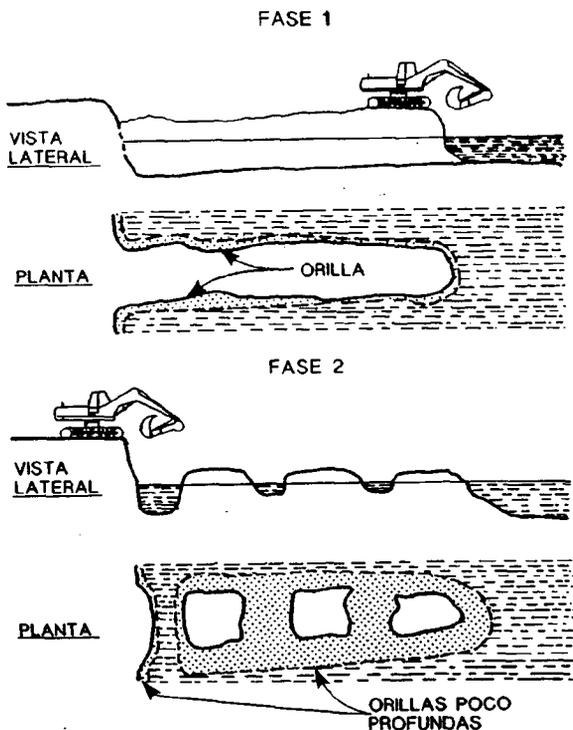


Figura 10.15. Método de construcción de pequeñas islas a partir de una península creada con materiales estériles.

El primer método puede llegar a suponer pérdidas importantes de material comercial, si bien es el más simple. No suele aplicarse cuando la potencia del paquete productivo es grande.

El segundo método supone el desplazamiento, hasta un lugar adecuado de la gravera, de los materiales estériles almacenados o escombros inertes para su vertido. Con estos materiales es fácil proceder a su compactación y remodelado en condiciones secas, con el fin de conseguir una geometría adecuada. Una práctica habitual consiste en crear primero una larga península con los estériles y, posteriormente, excavar un canal ancho en la base de la península para que quede una isla, Fig. 10.15.

Finalmente, las balsas se pueden construir por diferentes procedimientos. En la Fig. 10.16 puede verse una balsa de nidificación de aves, con una superficie de 3 x 3 m, construida por tablas de madera montadas sobre unos flotadores de bloques de poliestireno. Con el fin de evitar la caída de los polluelos o las crías, en los bordes se dispone de unas tablas con una altura de unos 15 cm. También pueden completarse con pequeñas rampas de acceso al agua y protecciones desmontables alrededor de toda la balsa. El interior se suele rellenar con un lecho de grava con granulometría de 15 a 25 mm y algunas piedras de mayor tamaño.

Generalmente, estas estructuras se fijan mediante dispositivos de anclaje como el de la citada figura.

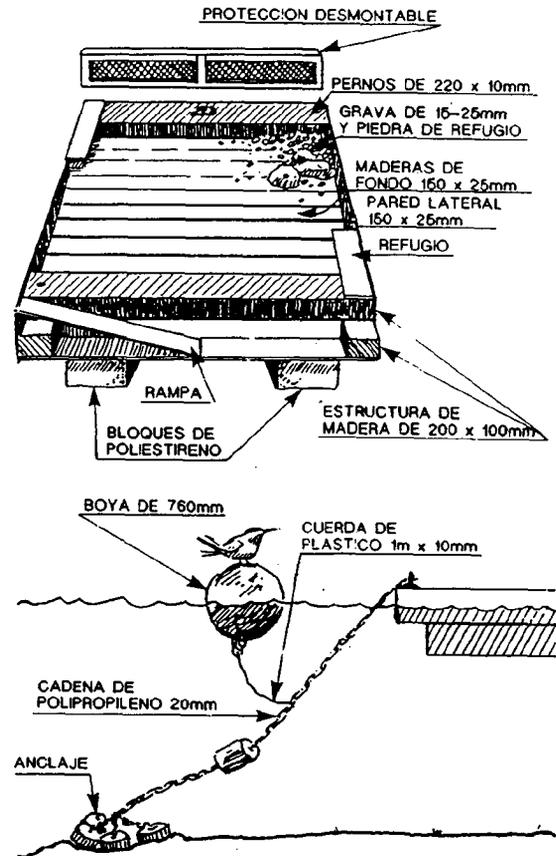


Figura 10.16. Balsa de nidificación.

Otro tipo de islas se construyen para que las aves acuáticas dispongan de vegetación. Esta crecerá sobre un lecho colocado sobre una balsa flotante, pudiendo incluso las raíces desarrollarse en el agua.

Existen muchos diseños, dependiendo de los materiales de que se disponga. En la Fig. 10.17 se puede ver una balsa construida con dos postes de teléfono y unos bloques de poliestireno expandido. Sobre esa estructura de madera se coloca una red o malla tupida y, a continuación, el sustrato soporte de la vegetación.

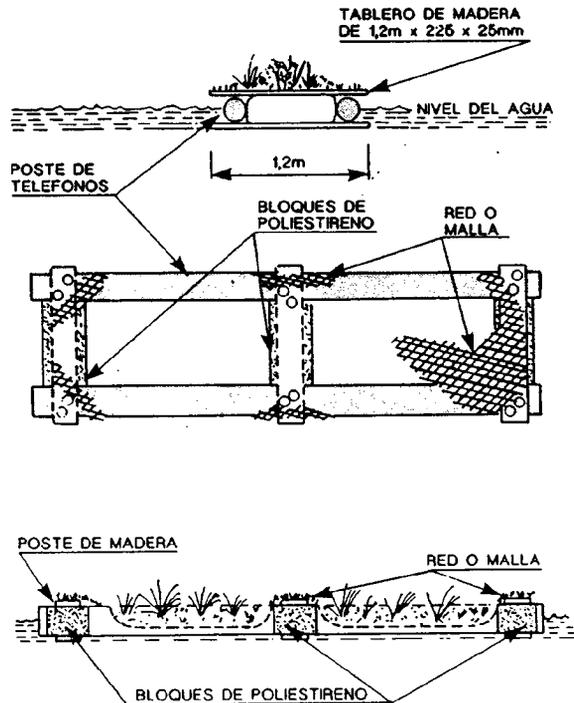


Figura 10.17. Balsa flotante con vegetación.

#### 4.5.2. Posaderos

Muchas aves, como las acuáticas, gustan de zonas tranquilas con escasa vegetación para dormir, descansar, limpiarse o tomar el sol.

Los lugares preferidos como posaderos son las islas y penínsulas alargadas y sin vegetación, pues se sienten más seguras al poder detectar cualquier amenaza o depredador terrestre.

Las islas pueden construirse cubriéndolas con una lámina de plástico y sobre ella una capa de arena y grava. También, cuando los lagos son utilizados por patos, como el ánade frisón o las fochas, se puede proceder a cortar o quemar la hierba antes de que éstos lleguen y, después, éstos se encargarán de mantenerla corta.

Una alternativa consiste en plantar árboles en las islas, de manera que su sombra evite el crecimiento de la vegetación emergente de las orillas. Al cabo de un tiempo, los árboles mayores pueden cortarse, y dejarse sobre el agua a modo de posaderos.

En las penínsulas las técnicas utilizadas para mantenerlas despejadas de vegetación son las mismas que en las islas.

A veces, durante el verano, aparecen zonas del fondo poco profundas, como consecuencia de la oscilación estacional del agua, constituidas por arenas y gravas, que son utilizadas como posaderos por patos, charranes, gaviotas y limnícolas, Fig. 10.18.

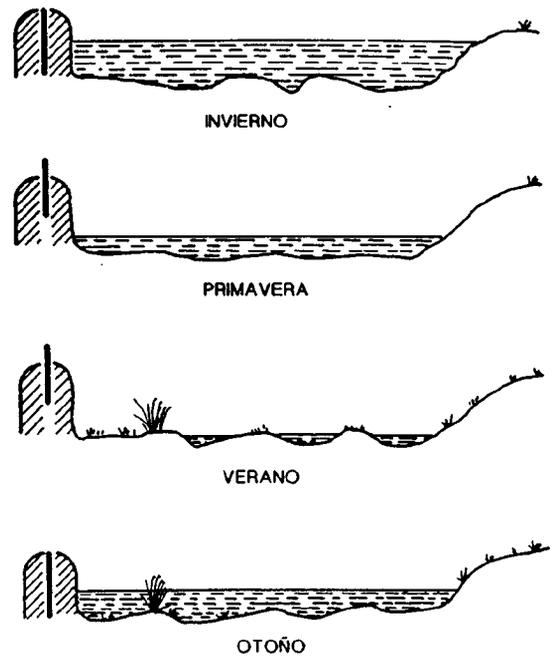


Figura 10.18. Posaderos estacionales utilizados por las aves durante el verano al descender el nivel del agua.

También es posible crear posaderos específicos para la observación de ciertas aves. Por ejemplo, se pueden dejar grandes troncos de árbol caídos en el agua para que sean utilizados por las anátidas, ardeidas y cormoranes, e incluso tortugas de agua, Fig. 10.19.

En el caso en que las lagunas dispongan, en alguna parte de su perímetro, de un talud escarpado, utilizado por abejarucos o aviones zapadores, se pueden situar árboles secos enfrente de la colonia.

#### 4.6. Los efectos del viento

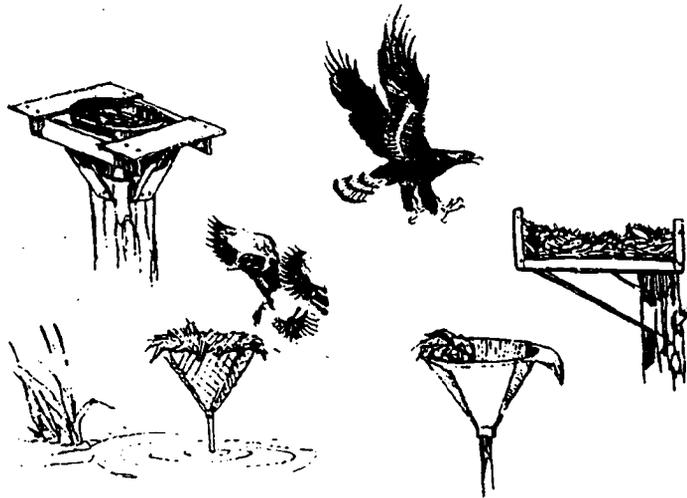
Muchos animales sufren los efectos de los fuertes vientos, viendo afectadas sus actividades, impidiendo su movimiento y padeciendo enfriamientos o daños físicos. Habitualmente, aprovechan las ondulaciones del terreno o las estructuras construidas para refugiarse.

Desde el inicio de los trabajos, en la planificación de la restauración deben tenerse en cuenta las condiciones meteorológicas locales, principalmente para predecir si es necesario limitar el efecto del viento y, por lo tanto, las olas sobre las orillas de las islas y de los lagos, pero también para proporcionar refugio o protección a los animales frente al sol y al viento.

Los efectos del viento sobre el ambiente acuático son principalmente el aumento de la velocidad del agua de superficie y las olas. El incremento de velocidad de los niveles superficiales del agua con relación a la velo-



POSADERO NATURAL



POSADERO ARTIFICIAL

Figura 10.19. Posaderos.

La velocidad media es del orden del 2%. Este fenómeno tiende a concentrar las plantas e invertebrados flotantes sobre las orillas, atrayendo hacia éstas a las aves acuáticas de superficie al proporcionarles una fuente de alimento.

Las características físicas de las olas están relacionadas con dos variables principales, la velocidad del viento y la longitud de la lámina de agua. En lagos profundos de más de 2 m, la longitud expuesta a la acción del viento es el factor principal que controla la altura y longitud de las olas; para una velocidad del viento constante, aumentar la longitud expuesta de 150 a 600 m provoca que se duplique las dimensiones de las olas, intensificándose los efectos erosivos. Sin embargo, cuando las aguas son superficiales, es decir, con una profundidad inferior a 2 m, esta dimensión tiene una influencia más acusada, impidiendo que se alcancen olas tan grandes como en lagos profundos.

Las partículas de agua por debajo de las olas se mueven en el plano vertical con una trayectoria ligeramente circular, que hace que en una profundidad igual a la mitad de la longitud de la ola los diferentes estratos o capas de agua se mezclen. En los lagos poco profundos las olas pueden llegar a interactuar con el material del lecho, elevando las partículas finas depositadas y aumentando la turbidez del agua, lo que da lugar a una disminución de la penetración de la luz a través de la lámina de agua y una fuerte reducción de la velocidad de crecimiento de las plantas acuáticas. La fauna acuática puede también verse afectada por la turbidez del agua.

El efecto combinado de la velocidad del viento y de las olas da lugar a una mezcla de los estratos de agua, lo que juega un importante papel en el ecosistema del lago al reciclarse los nutrientes y permitir un aumento de la productividad.

El tercer efecto de las olas es su impacto sobre las orillas. Aunque, generalmente, las alturas de las olas no superan los 40-50 cm, en el caso más desfavorable de aguas profundas, son suficientes para erosionar los sedimentos depositados, modificar los perfiles de las

orillas, socavar la vegetación de las márgenes y llegar a destruir las isletas donde anidan las aves.

Con todo lo expuesto se deduce que las medidas que se recomiendan para reducir los efectos del viento y las olas son: utilizar pantallas para aminorar la velocidad del viento, reducir las superficies expuestas continuas mediante la construcción de islas, penínsulas y barreras y controlar la profundidad del agua para inhibir el desarrollo de las olas.

### 1. Pantallas cortaviento

El efecto físico del viento está relacionado con su fuerza, que es proporcional a su velocidad. Esto significa que reduciendo su velocidad un 20% la energía se disminuye a la mitad, Tabla 10.2. Una reducción de este orden merece la pena en muchos contextos.

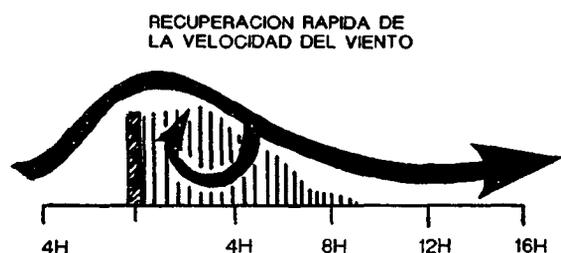
TABLA 10.2. RELACION ENTRE LA VELOCIDAD DEL VIENTO Y SU ENERGIA

REDUCCION DE VELOCIDAD (%)	REDUCCION DE LA ENERGIA (%)
10	27
20	49
30	65
40	78
50	87
60	94

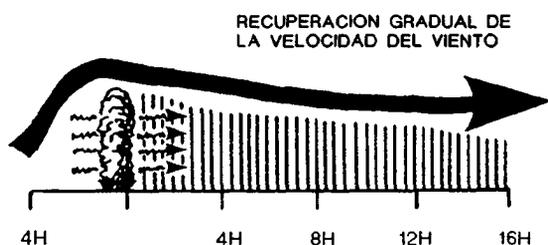
Una pantalla densa o impenetrable provoca una intensificación de la fuerza del viento sobre su parte alta, volviendo a recuperar la velocidad original de una manera rápida. A sotavento de una pantalla densa se observa una gran turbulencia, dando lugar a que la vegetación en esa área sufra un aplastamiento sobre el terreno, Fig. 10.20a.

Por el contrario, las pantallas permeables actúan como filtros del viento, absorbiendo su energía y haciendo que el viento emerja al otro lado de la pantalla con

una velocidad reducida y, lo que es más importante, que éste recupere su velocidad original a una distancia mucho mayor que en el caso anterior, Fig. 10.20b.



a) BARRERA IMPERMEABLE



b) BARRERA PERMEABLE

Figura 10.20. Efectos de pantallas cortavientos. a) densa. b) permeable (POLLAR et al. 1975).

Una pantalla moderadamente densa proporciona un refugio útil en una zona de 2 a 4 veces la altura de la pantalla antes de atravesarla y de 15 a 20 veces su altura después de atravesarla.

El efecto de la pantalla desaparece para una distancia, viento abajo, de 30 veces su altura. La Fig. 10.21a muestra claramente la reducción de la velocidad del viento antes y después de atravesar una pantalla.

La Fig. 10.21b convierte la reducción de la velocidad del viento en términos de energía, proporcionando una idea más precisa de la efectividad de una barrera moderadamente permeable.

Cuando por alguna razón no puedan construirse pantallas cortaviento, se puede recurrir al procedimiento de realizar la excavación disponiendo barreras dentro del hueco del lago o área de explotación. Fig. 10.22.

Las barreras entre los sucesivos huecos de excavación pueden configurarse dejando zonas del yacimiento sin explotar o, también, utilizando materiales estériles o de recubrimiento y rellenando dichas zonas. Si la vegetación disponible crece a una velocidad adecuada y es estable, estas barreras pueden ser aún más efectivas al actuar como pequeños obstáculos cortaviento.

Una alternativa a las barreras consiste en la construcción de penínsulas o islas. Las penínsulas pueden solaparse en el centro del lago, con un diseño en planta ligeramente curvado en los extremos, las islas tendrán una disposición tal que formen un ángulo recto

con la dirección predominante de los vientos y proporcionen un solapamiento a lo ancho del hueco excavado. Las barreras entre huecos alternos de explotación pueden ser interrumpidas en los extremos, mediante la excavación de fosas, convirtiéndolas en grandes islas a las que se limita el acceso a las personas y a ciertos depredadores.

En la Fig. 10.22 se indica la secuencia de excavación del hueco de un lago en seis etapas sucesivas. Este esquema se basa en la proposición de poder reducir progresivamente las velocidades del viento a través del área de explotación, dejando primero barreras y después islas barrera, penínsulas e islas, con la zona más abierta en el extremo del lago, viento abajo.

Por otro lado, teniendo en cuenta el riesgo de máxima erosión en las esquinas del hueco excavado, y la difícil capacidad que se tiene para protegerlas de las turbulencias provocadas por el viento, suele recomendarse que se diseñen con un contorno suavizado o se rellenen con materiales estériles.

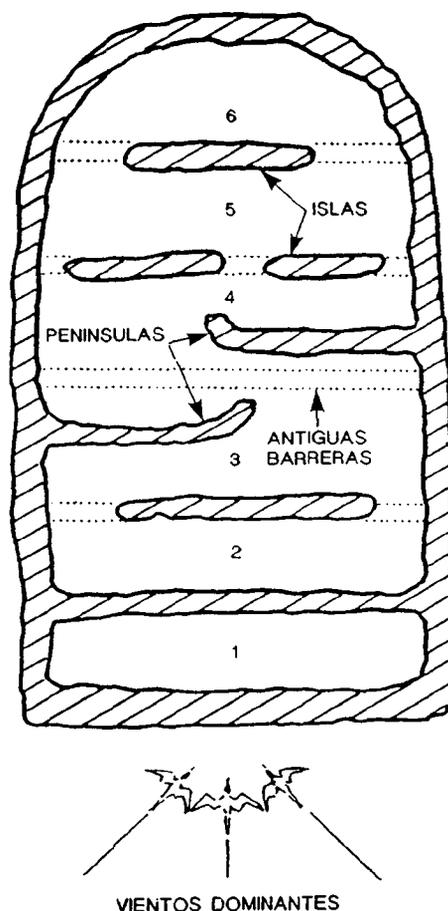
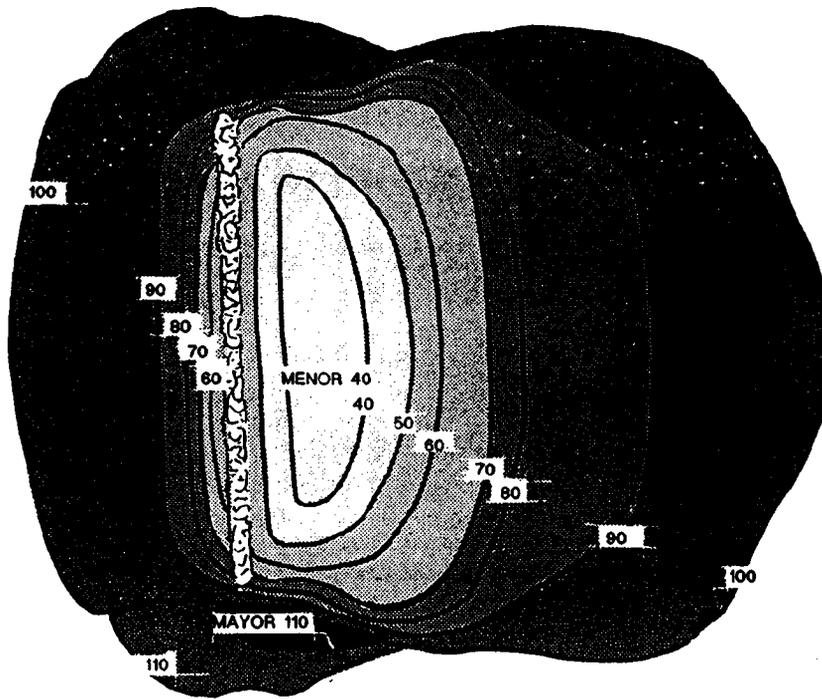


Figura 10.22. Disposición de barreras, penínsulas e islas para reducir el efecto de las olas en ausencia de pantallas cortaviento.

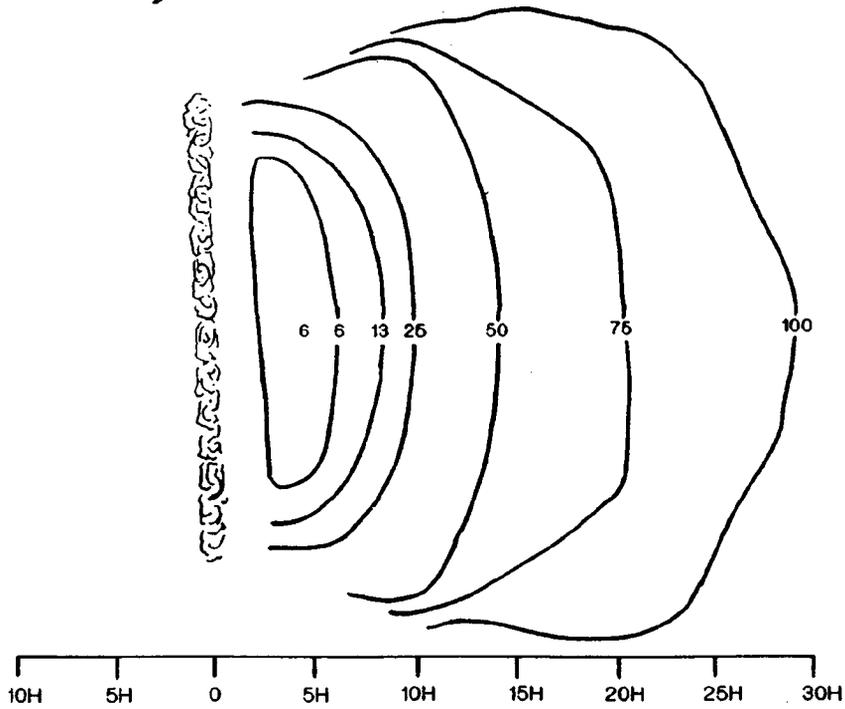
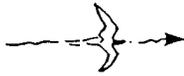
## 5. RESTAURACION DE GRAVERAS ANTIGUAS

Existen numerosas graveras que fueron abandonadas al agotarse el material sin realizar en ellas ningún trabajo de restauración.



(a)

DIRECCION  
DEL VIENTO



(b)

Figura 10.21. Cambios en la distribución espacial de la velocidad del viento (a) y la energía del viento (%) (b), a través de una pantalla moderadamente permeable (b).

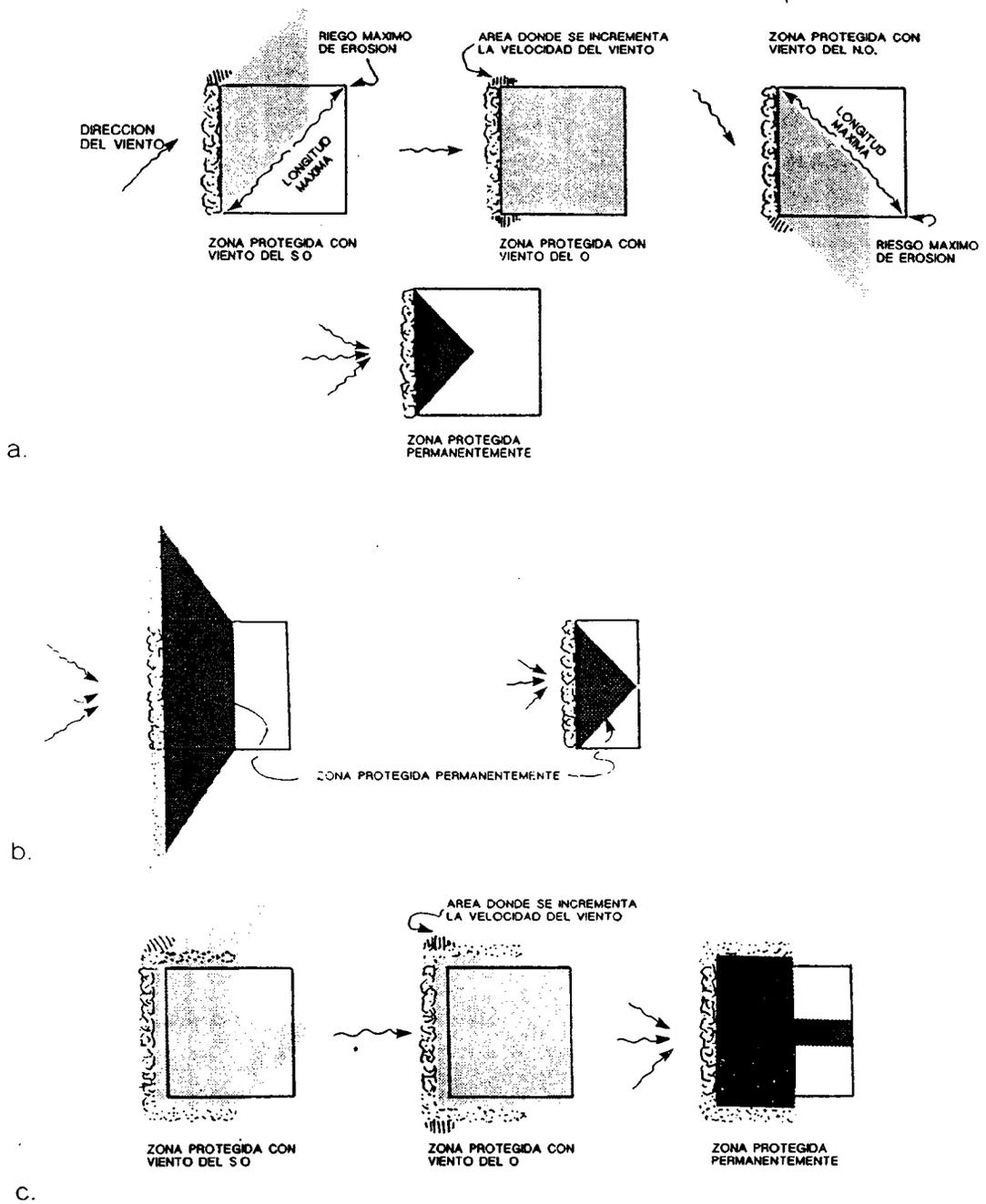


Figura 10.23. Efectos de las diferentes longitudes y localización de pantallas cortaviento y configuraciones de lagos para vientos dominantes desde las direcciones NO a SO. Longitud del lago igual a 30 veces la altura de la pantalla.

Algunas de ellas, con el paso del tiempo, han sido colonizadas por plantas y animales, y en la actualidad tienen un alto valor como zonas húmedas.

En otras, por el contrario, la colonización se está desarrollando muy lentamente y presentan un interés bastante limitado como hábitat para la fauna, Fig. 10.24.

Este tipo de graveras generalmente presentan ciertas características, que limitan su potencial faunístico:

- Forma rectangular o perfil simple y rectilíneo.
- Orillas bruscamente escalonadas, cuya base llega, prácticamente sin transición, a 3-6 m o más, de profundidad.  
Las orillas suelen presentar síntomas de erosión y, generalmente, carecen de vegetación o únicamente sostienen una estrecha banda vegetal compuesta por carrizos o eneas.
- El fondo de la gravera es uniforme en cuanto a profundidad, y no presenta islas ni áreas de aguas someras.
- La vegetación ribereña suele ser escasa, y donde se han desarrollado árboles ribereños la sombra que éstos proyectan impide el desarrollo de la vegetación acuática.
- En cuanto a la calidad del agua, pueden presentarse dos casos extremos: que el agua sea muy pobre en nutrientes, como consecuencia de la escasez de vegetación acuática y ribereña, o que se den problemas de eutrofización.
- La fauna que vive en ellas es bastante escasa en número y en diversidad de especies.

Para incrementar el potencial faunístico de estos espacios pueden realizarse diversos trabajos de restauración.

A continuación se exponen los problemas más generalizados y algunas posibles soluciones.

### 1. Orillas escalonadas, con una transición brusca entre el medio terrestre y el acuático

- Rellenar la base de las orillas con materiales estériles para ampliar la zona ribereña, y crear áreas de aguas someras.
- Retranquear las orillas donde sea posible, y depositar el material sobrante dentro de la laguna.

### 2. Márgenes rectilíneos, con una longitud mínima de ribera

- Crear irregularidades mediante relleno a lo largo del perímetro de la gravera, especialmente en las zonas más protegidas.

### 3. Carencia de áreas de aguas someras

- Remodelado de las orillas para tenderlas, con poca pendiente, hacia el interior de la laguna.

### 4. Inexistencia de islas

- Donde existan penínsulas o barras de material que se adentran hacia el interior del lago, pueden ser aisladas de tierra firme mediante una zanja excavada de, al menos, 5 m de ancho y 1 m de profundidad.
- Instalación de islas artificiales (balsas, etc.).

### 5. Escasez de vegetación acuática debido a la sombra proyectada por los árboles ribereños

- Entresaca selectiva, manteniendo el arbolado en aquellas zonas que requieran protección contra el viento, y eliminándolo de las zonas no expuestas.

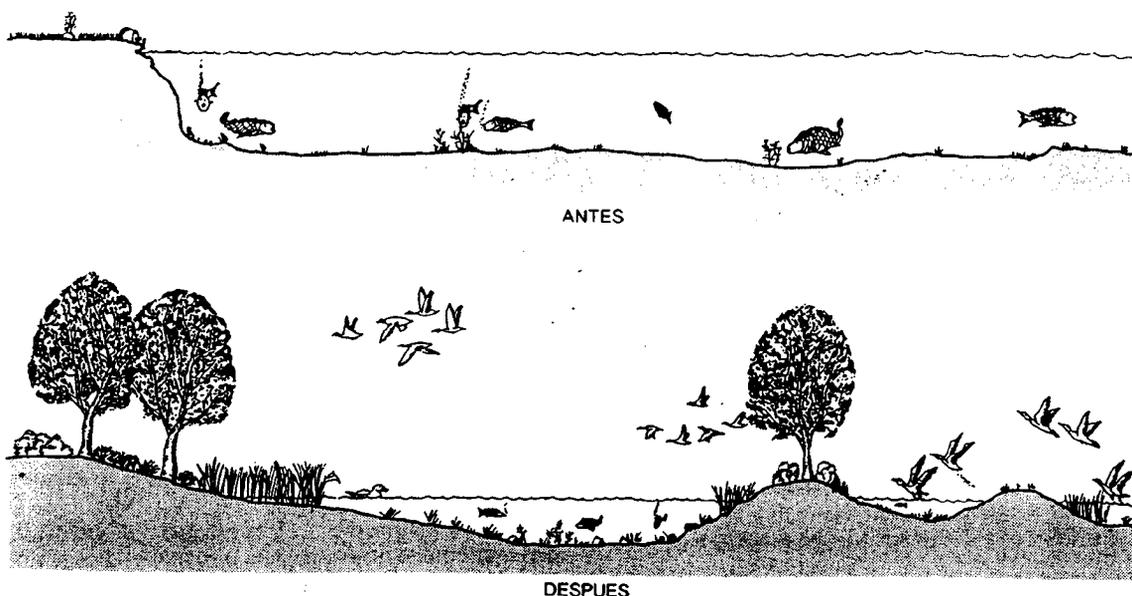


Figura 10.24. Restauración de una gravera antigua.

## 6. Escasez de hábitat de nidificación y cría para las aves

- Creación de islas o instalación de balsas flotantes u otro tipo de islas artificiales.
- Introducir árboles talados en el agua.
- Aclarar el arbolado ribereño para favorecer el desarrollo de la vegetación acuática.
- Plantación de especies palustres y marginales.
- No cortar las zarzas y otros matorrales ni segar las hierbas altas.
- Crear zonas soleadas y poco profundas para favorecer el desarrollo de las plantas acuáticas y de las poblaciones de quironómidos.

## 7. Escasez o ausencia de hábitats pantanosos, charcas y/o hábitats terrestres

- Limpieza y remodelado de las balsas de decantación y recogida y traslado de los lodos a otras áreas dentro de la explotación.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- ALCANTARA, M., et al. (1988): "Las graveras de Belvis del Jarama". Quercus 87.
- ALVAREZ, J., et al. (1989): "Vertebrados de la Comunidad Autónoma del País Vasco". Departamento de Urbanismo, Vivienda y Medio Ambiente. Gobierno Vasco.
- ANDREWS, J., y KINSMAN, D. (1990): "Gravel Pit Restoration for Wild Life. A Practical Manual". Royal Society for the Protection of Birds. Tarmac Quarry Products Limited. KPC Group. Ashford.
- ASEGINOLAZA (1989): "Vegetación de la Comunidad Autónoma del País Vasco". Viceconsejería de Medio Ambiente. Gobierno Vasco.
- CARR, S, y BELL, M. (1991): "Practical Conservation Boundary Habitats". Open University. Nature Conservancy Council. Hodder y Stoughton. Londres.
- CHAPLIN, P. (1989): "Waterway Conservation". Whittet Books Ltd. Londres.
- EPM (1989): "Manual de restauración de terrenos y evaluación de impactos ambientales en minería". Serie: Ingeniería Geoambiental. ITGE. Ministerio de Industria y Energía. Madrid.
- FURNISS, P., y LANE, A. (1992): "Practical Conservation Water and Wetlands". Open University. Nature Conservancy Council. Hodder & Stoughton. Londres.
- GIRO, F. (1991): "Restauración de graveras como reservas naturales". Diez sesiones sobre Agua y Medioambiente. Noviembre 1990-Febrero 1991. Zaragoza.
- GREEN, J., y otros (1992): "A User Guide to Pit and Quarry Reclamation in Alberta". Alberta Land Conservation and Reclamation Council. Alberta.
- ICONA (1986): "Lista Roja de los vertebrados de España". Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.
- NORTH, D: "Pensthorpe Waterfowl Park and Nature Reserve". Pensthorpe Waterfowl Trust. Barclays Bank.
- RAMOS, A., et al. (1987): "Diccionario de la Naturaleza: Hombre, Ecología y Paisaje". Editorial Espasa-Calpe. Madrid.
- RMC Group (1987): "A Practical Guide to Restoration". Ed. RMC Group plc. Feltham.
- SCHMIDT, J., et al. (1977): "Protecting Wetlands and Wildlife". Soil Conservancy. February.
- UNION NATIONALE DES PRODUCTEURS DE GRANULATS (1979): "Les Carrieres. Potentiel de Creation et de Reconquete des Milieux Naturels". Journee d'Etudes du 18 Sep.

## USO INDUSTRIAL Y URBANISTICO

### INTRODUCCION

El aprovechamiento de los terrenos afectados por las averías para un uso industrial o urbanístico depende de la regulación existente sobre la zona, así como de las condiciones ambientales del lugar.

En el momento de elaborar el proyecto de restauración se debe consultar en las oficinas municipales la posible existencia de planes de ordenación o desarrollo, así como la normativa que pudiera afectar al área de actuación, con vistas a determinar la compatibilidad con los usos previstos.

Generalmente cuando las graveras se encuentran muy próximas a núcleos de población el uso de los terrenos tiende a cambiar a lo largo del tiempo, por lo que inicialmente tenían un aprovechamiento agrícola pueden llegar a tener un uso urbanístico o industrial.

Un aspecto muy importante que es preciso considerar es la existencia de accesos a la zona, pues muy frecuentemente este tipo de usos conlleva una elevada intensidad de tráfico.

En este capítulo se describen los factores generales que pueden condicionar el desarrollo de los dos tipos de usos citados y algunas normas de aplicación de las técnicas de restauración que pueden ser aplicadas. Además de estas consideraciones generales, y teniendo en cuenta que dentro del aprovechamiento industrial se encuentra la construcción de vertederos controlados, que actualmente presentan una gran demanda, esta posibilidad se analizará con mayor detalle.

### 2. FACTORES CONDICIONANTES

Existen diversos aspectos que pueden condicionar el desarrollo del plan de restauración con un uso final urbanístico o industrial.

Dentro de los aspectos socioeconómicos y legales, que ya han sido someramente comentados, deberá considerarse:

— La calificación del suelo y la diversa normativa urbanística que afecta o puede afectar a la zona a recuperar. El plan de restauración deberá ser lo suficientemente flexible como para absorber los cambios que puede sufrir la legislación.

- La compatibilidad de usos con las zonas adyacentes. Por ejemplo, si la gravera está situada en un entorno urbano o periurbano, un planteamiento industrial o de urbanización de alta densidad puede ser adecuado. Por el contrario, en un entorno rural, donde dominan los usos agropecuarios o forestales, será más adecuado como uso final una urbanización de baja densidad.
- La demanda social existente en el área por este tipo de espacios. Este factor muy frecuentemente depende de la localización del área respecto de núcleos urbanos y su accesibilidad.
- La cercanía a carreteras o corredores de transporte.

Como factores propios de la zona a restaurar que pueden condicionar el desarrollo del uso merecen destacarse los siguientes:

- Profundidad del nivel freático.  
Este factor puede ser excluyente cuando el nivel máximo estacional está situado a menos de 1,5 m de la superficie del suelo, aunque en muchos casos puede soslayarse el problema con un modelado adecuado.  
Respecto de este factor, deberá también considerarse la inclusión en el plan de medidas de protección del acuífero y la construcción de estructuras que prevengan posibles filtraciones contaminantes hacia el subsuelo.
- Riesgo de inundación.  
Si la gravera está situada muy cerca de un río, deberá hacerse un estudio hidrológico previo para determinar las máximas crecidas en un período de retorno de al menos 100 años, a fin de asegurarse que el área está situada fuera de la zona inundable.
- Capacidad portante y riesgos de hundimiento y subsidencia.  
Si la gravera se rellena con materiales, ya sea total o parcialmente, puede ser que el material no esté suficientemente asentado y presente riesgo de subsidencia, o que la superficie resultante no reúna condiciones adecuadas para la cimentación de las edificaciones previstas. Deberán, por tanto, realizarse estudios geotécnicos y de estabilidad para asegurarse de que el terreno reúne las condiciones que el uso requiere.
- Tamaño y morfología del área.  
Respecto de este factor existen ciertas característi-

cas que determinan que en un área no sea posible desarrollar estos usos. Por ejemplo:

- Que se trate de áreas excesivamente pequeñas. En el caso de que los terrenos de la gravera tengan una superficie demasiado pequeña para realizar una buena parcelación, y que el desarrollo del uso resulte rentable, puede ser aconsejable adquirir los terrenos adyacentes y añadirseles a la zona a restaurar.
- Que se trate de un área muy estrecha, sobre todo si está limitada por paredes de fuerte pendiente o por agua.
- En áreas excesivamente deprimidas en relación con los terrenos adyacentes.
- Aquellas áreas en las cuales el acceso está dificultado porque existen fuertes pendientes o porque están rodeadas de agua.

### 3. TECNICAS DE RESTAURACION

Para que una gravera restaurada pueda ser reutilizada para usos urbanísticos o industriales, es fundamental conseguir superficies amplias, con pendientes suaves, una capacidad portante adecuada y estables.

Para ello, las técnicas más comunes que suelen ser aplicadas son:

- El relleno del hueco, hasta conseguir la elevación de las superficies mineras hasta un nivel adecuado.
- El remodelado del área, para dar al terreno las formas y pendientes que la actividad requiere.
- La instalación de sistemas de drenaje.
- El aporte de un sustrato edáfico adecuado.
- La revegetación del área.

Estas dos últimas técnicas ya han sido comentadas de forma general en capítulos anteriores. Únicamente señalar que el suelo aportado no deberá depositarse en aquellas zonas que vayan a ser excavadas posteriormente, para cimentaciones, caminos, etc., y que el abanico de posibilidades en la elección de las especies vegetales a utilizar es mucho más amplio, ya que se trata de crear áreas ajardinadas, en las que las especies exóticas y las variedades de jardinería tienen cabida.

#### 3.1. Relleno

El relleno del hueco puede hacerse utilizando materiales de rechazo de la propia explotación o materiales de préstamo.

De esta manera pueden nivelarse los terrenos de la gravera con los del entorno natural facilitando el acceso a ellas a la vez que sitúa el nivel del área por encima de la capa freática, a una distancia suficientemente segura, para evitar posibles inundaciones o encharcamientos que dificulten o impidan el desarrollo del uso.

Dependiendo del diseño propuesto para la restauración, se puede rellenar la totalidad del hueco, o solamente ciertas zonas.

El material utilizado para el relleno deberá estar libre de piedras voluminosas, basuras y materiales orgánicos, ya que la presencia de este tipo de materiales pue-

de ocasionar subsidencias y hundimientos. Además, siempre deberá ser dispuesto en tongadas de poco espesor y compactadas hasta que alcancen las densidades específicas que aseguren que la superficie resultante podrá soportar las edificaciones y estructuras previstas.

El contenido en humedad del material también es otro factor de importancia, tanto si tiene un contenido excesivo como si está demasiado seco, pues pueden originarse problemas en la estabilidad de la superficie resultante.

El suelo vegetal, los residuos domésticos y otros materiales orgánicos son poco apropiados para este tipo de relleno, ya que se van descomponiendo muy lentamente, y para que su asentamiento sea total se necesita un período de tiempo muy largo.

Por otro lado, la descomposición de las basuras domésticas y otros materiales orgánicos puede generar metano y, a no ser que se instale un sistema complejo de colectores que asegure la recogida y evacuación de este gas, pueden producirse problemas de salubridad; también existe riesgo de incendio y de explosiones espontáneas.

#### 3.2. Remodelado

Una vez que quede relleno el hueco, se deberá remodelar y dar a la zona la forma y las pendientes que especifique el diseño de la restauración.

La superficie remodelada deberá enlazar suavemente con el terreno natural adyacente por cuestiones estéticas y de seguridad.

Las pendientes del terreno deben ser tales que aseguren un buen drenaje y una evacuación de las aguas de escorrentía que permitan el desarrollo del uso, estando el rango ideal de pendientes para estos usos entre 1:10 y 1:20. Esta pendiente puede crearse mediante:

- extracción selectiva del material, dando al terreno la forma y pendiente más adecuada, ya durante la fase de extracción. Esta posibilidad no es viable en el caso de que la potencia del yacimiento sea grande.
- rellenando con material de rechazo o materiales de préstamo de forma que se construyan pendientes suaves.
- retranqueando las paredes del hueco.

#### 3.3. Drenaje

Ambos usos, el residencial y el industrial, necesitan de superficies capaces de evacuar adecuadamente el agua de lluvia y de escorrentía.

Dependiendo del uso seleccionado y las condiciones del área puede ser necesario instalar sistemas de drenaje, y/o acondicionar las zonas deprimidas para recoger las aguas de escorrentía.

### 4. RESTAURACION COMO VERTEDEROS CONTROLADOS

Como se indicó anteriormente, los núcleos de población requieren la eliminación de los residuos que de forma continuada producen.

Una posibilidad que ofrecen las graveras es la utilización de los huecos creados para la construcción de vertederos controlados. A continuación se estudian con detalle todos los aspectos que se deben tener en cuenta, las técnicas de gestión y la resolución de los problemas que suelen presentarse con mayor frecuencia.

#### 4.1. Tipos de material de relleno

Los tipos de residuos o estériles que produce cualquier sociedad o núcleo de población pueden clasificarse, según sus características, en las categorías indicadas en la Tabla 11.1.

La posibilidad de relleno de huecos de graveras es función, por un lado, del tipo de residuos disponible y, por otro, de las condiciones del hueco donde se pretenden depositar.

TABLA 11.1

CLASE DE RESIDUO	DESCRIPCION
1 (A) - Residuos inertes	Materiales procedentes de la excavación de terrenos que no se encuentran alterados con respecto a su estado natural. Se incluyen también escombros de mampostería y hormigón.
2 (B) - Residuos domésticos	Residuos domésticos y centros recreativos.
3 (C) - Residuos comerciales	Residuos procedentes de tiendas y oficinas. Se excluyen los residuos tóxicos y peligrosos.
4 (D) - Residuos industriales	Residuos procedentes de la industria en general. Se excluyen los residuos tóxicos y peligrosos.
5 (E) - Residuos tóxicos y peligrosos	Se incluyen residuos ácidos, alcalinos, con metales tóxicos, con compuestos orgánicos e inorgánicos tales como cianuros y fenoles.

#### 4.2. Tipos de huecos de vertido

Las características del lugar donde se pretenden verter residuos o estériles se refieren fundamentalmente a la permeabilidad de los materiales, a la presencia de agua y a la proximidad a zonas habitadas.

En la Tabla 11.2 se clasifican los diferentes tipos de terrenos atendiendo a la permeabilidad de los materiales rocosos, indicando al mismo tiempo el tipo de residuos admisibles.

Los lugares o huecos que albergarán exclusivamente materiales inertes se clasifican normalmente en dos grandes grupos:

1. **Huecos confinados.** En estos lugares los estériles son aislados del entorno gracias a la baja permeabilidad de los materiales subyacentes, como por ejemplo las arcillas. Cualquier cantidad de agua contaminada (lixiviados) quedará retenida dentro del propio hueco relleno, Fig. 11.1.

Este tipo de huecos, si no se consiguen de forma natural, pueden prepararse mediante la colocación de revestimientos o sellos impermeabilizantes.

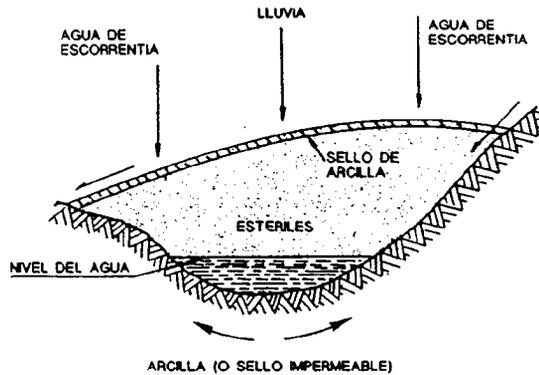


Figura 11.1. Hueco confinado.

2. **Hueco disipativo.** Estos lugares permiten la dispersión lenta de los lixiviados a través de los estratos sobre los que se apoya el depósito, y que actúan como un filtro e interaccionan con los

TABLA 11.2. CLASIFICACION DEL TERRENO SEGUN SU PERMEABILIDAD

CLASE	1. IMPERMEABLE	2. SEMIPERMEABLE	3. PERMEABLE
Coeficiente de permeabilidad	$K \leq 10^{-9}$ m/s (0,01 mm/d) en 5 m	$10^{-9}$ m/s < $K \leq 10^{-4}$ m/s (0,1 mm/d y 10 cm/d)	$K \leq 10^{-4}$ m/s (10 cm/d)
Materiales	Margas, esquistos arcillosos, pizarras.	Medios areno-arcillosos, areniscas.	Aluviones, gravas.
Consideraciones	Terrenos favorables, pero se necesita ● drenar los efluentes y ● evitar la entrada de agua de escorrentía.	Terrenos utilizables si la zona no saturada puede garantizar la depuración del agua lixiviada.	Alto riesgo de contaminación de los acuíferos.
Residuos admisibles	Ciertos tipos de residuos especiales.	Residuos asimilables a basuras urbanas.	Residuos inertes exclusivamente.

lixiviados con procesos químicos y bioquímicos, Fig. 11.2.

Un hueco de estas características puede ser cualquier lugar excavado en un depósito de arenas y gravas donde no fue preciso proceder al drenaje y donde hay suficiente espesor de material hasta llegar al nivel freático.

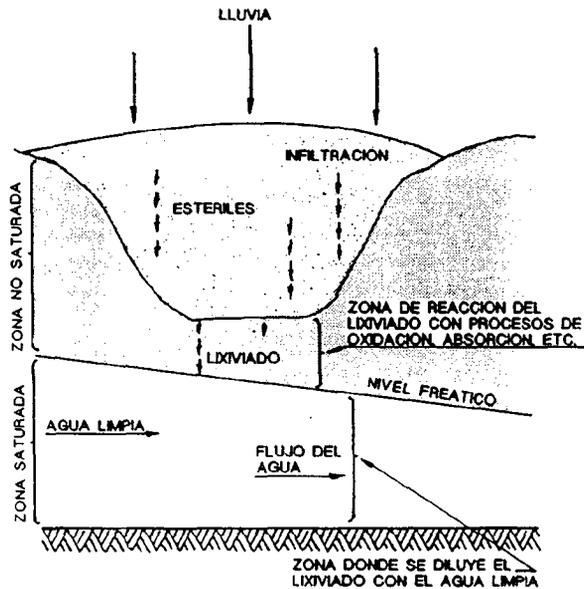


Figura 11.2. Hueco disipativo.

#### 4.3. Materiales de sellos de impermeabilización

Los tipos de materiales para construir los sellos de impermeabilización en los paramentos de los huecos de las graveras se pueden clasificar de acuerdo a los siguientes grupos:

- Suelos arcillosos.
- Suelos mejorados y mezclas.
- Membranas sintéticas.

##### A. Suelos arcillosos

Dentro de este grupo se distinguen dos tipos de sellos:

- Arcilla de alta calidad.
- Suelos arcillosos en general.

Se entiende por arcilla aquella porción de suelo de diámetro menor o igual a 2 micras (0,002 mm). Las arcillas puras están constituidas por diferentes variedades: montmorillonita, caolinita, illitas, etc., que se obtienen por diferentes procesos, ya que en la naturaleza se encuentran mezcladas con otros materiales.

La característica de la baja permeabilidad de la arcilla ha sido el principal atributo de este material, si bien presenta los inconvenientes de mala resistencia a la desecación, a la presión de la maquinaria de operación, a la compactación necesaria y el hinchamiento con

contenidos de humedad altos. A todo esto hay que añadir el alto coste que representa contar con arcillas de alta calidad.

La alternativa más empleada, debido a consideraciones geotécnicas y constructivas, es la constituida por los suelos arcillosos compactados. En estos materiales, la arcilla gracias a su estructura cristalográfica, al tamaño de sus partículas y a la conformación molecular les confiere una baja permeabilidad. Esta propiedad obedece a diferentes fenómenos y características propias de la arcilla en los materiales en los que se encuentra.

##### B. Suelos mejorados y mezclas

Los aditivos que se utilizan para mejorar los suelos son: la bentonita, el asfalto y el cemento.

Los suelos mejorados con bentonita han demostrado ser los más útiles para los proyectos de rellenos sanitarios. Las bentonitas son minerales arcillosos del grupo de la montmorillonita (esmectitas).

La compatibilidad de los suelos mejorados con los lixiviados de los vertederos controlados no ha sido aún ampliamente estudiada, por lo que será uno de los aspectos a tener en cuenta.

##### C. Membranas sintéticas

Las geomembranas son polímeros combinados con diferentes aditivos con los que se logra formar un termoplástico.

Los polímeros más usados son los siguientes: goma butílica, polietileno clorinado, polietileno clorosulfonado, goma etilo-propileno, polietileno de baja densidad y cloruro de polivinil.

Para cada proyecto específico deben tenerse en cuenta la composición y los parámetros físicos de las membranas.

Las membranas pueden agruparse en tres tipos:

**No reforzadas.** Son fabricadas mediante el proceso de extrusión (0,25 a 2 mm) o laminado (0,25 a 2 mm).

**Reforzadas.** Formadas por fibras trenzadas recubiertas con compuestos poliméricos (0,75 a 1,5 mm).

**Laminadas.** Son fibras geotextiles unidas a membranas sintéticas (usualmente no reforzadas) mediante el proceso de laminación. Los espesores dependen de los materiales empleados.

Las membranas pueden sufrir daños debido a ciertos microbios, a los roedores e incluso a la germinación de ciertas especies vegetales que pueden atravesarlas.

Las membranas gruesas (> 1,5 mm) admiten una mayor tolerancia a la manipulación, así como una menor posibilidad de debilitamiento de las juntas.

Además de las propiedades físicas de las membranas: resistencia a la tracción, al desgarramiento, a la punción, etc., es preciso tener en cuenta la compatibilidad con el residuo sólido o con los lixiviados que éstos producen (óxidos metálicos, clorados, compuestos sulfurosos y algunos compuestos orgánicos).

#### 4.4. Maquinaria para el manejo de residuos

Básicamente, existen dos tipos de equipos para la manipulación de los residuos en vertederos controla-

dos, éstos son los tractores de orugas y los compactadores.

Los tractores de orugas están diseñados para mover el material mediante empuje, ejerciendo sobre el mismo una reducida presión. Los tractores estándar poseen unas orugas con tejas de unos 50 cm, que dan lugar a presiones estáticas entre 0,05 y 0,1 MPa, según el tamaño de la máquina. Hay modelos en el mercado que poseen orugas más anchas con las que se reduce la presión hasta 0,025 MPa.

Por este motivo los tractores de orugas son máquinas adecuadas sólo cuando se vierten materiales inertes procedentes de excavaciones o derribos.

Por el contrario los compactadores sanitarios son unidades semiarticuladas de cuatro ruedas, especialmente diseñadas para manejar estériles o residuos de baja densidad. La presión que ejerce sobre el terreno es del orden de 15 MPa.

Las ventajas derivadas del empleo de estas máquinas cuando se vierten residuos urbanos son las siguientes:

- Se gana, al menos, un 30% de capacidad del vertedro como consecuencia de la compactación. Con los compactadores es posible alcanzar densidades de 0,7 a 1,5 t/m<sup>3</sup> dependiendo del tipo de material vertido.
- Mejor mezcla de los diferentes tipos de residuos, con lo que se consigue un relleno más homogéneo.
- Menores asentamientos diferenciales, como consecuencia de la mayor compactación.
- Menor producción de gas al estar los materiales más compactados.

El grado de compactación alcanzado para las diferentes clases de residuos varía enormemente, no obstante, pueden utilizarse como guía los datos de la Tabla 11.3.

#### 4.5. Operación de relleno

El plan de relleno del hueco de una gravera se tendrá elaborado antes de que comience el vertido de materiales. Lógicamente los requerimientos serán distintos según se trate de residuos inertes o de residuos degradables, como son los de origen urbano.

A continuación se indican las operaciones que suelen realizarse cuando se vierten basuras, que es el caso en que se requieren mayores cuidados de gestión,

con posterioridad a la preparación o impermeabilización del depósito:

- Todos los vehículos serán controlados en el momento de la entrada registrando la cantidad y el tipo de residuos transportados.
- Se elaborará con los datos del día un parte resumen donde se añadirá información de carácter meteorológico.
- Las zonas de relleno y restauración estarán especificadas en la planificación global de la gravera, intentando seguir el criterio de la menor superficie de vertido abierta a fin de poder efectuar un control más efectivo.
- El frente de vertido tendrá una anchura de unos 30 m dentro del área de trabajo. El espesor de las tongadas de basuras será inferior a 2,5 m, ya que la compactación máxima de éstas se consigue con espesores de 0,3 a 1 m. Esto podrá conseguirse con un talud de vertido en el frente inferior a 26°. (1:2).

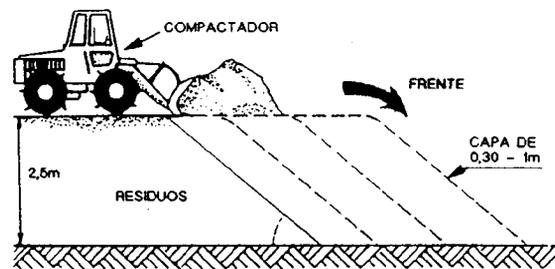


Figura 11.3. Frente de trabajo inclinado para obtener la máxima compactación.

- Los compactadores o tractores utilizados empujarán las basuras, desde los montones creados por los vehículos de transporte hasta el frente de avance, llegando incluso a empujarlas hasta el pie del mismo. Con las sucesivas pasadas de estas máquinas se conseguirá la máxima compactación.
- El material de relleno será cubierto progresivamente con residuos inertes por medio de una tongada de unos 15 cm, al finalizar la jornada y con vistas a minimizar el efecto del viento y la actividad de animales carroñeros.
- Antes de realizar la operación de tapado cada noche, se debe proceder a compactar y remodelar los frentes de trabajo y flancos con taludes de 1:3.

TABLA 11.3.

MATERIAL	DENSIDAD (t/m <sup>3</sup> )		FACTOR DE COMPACTACION	
	SIN COMPACTAR	COMPACTADO	RATIO	PORCENTAJE
Residuos domésticos. El compactador los empuja hacia el frente. Se vierten en tongadas compactándolas.	0,24	0,65 - 0,75 1,00 - 1,10	1:2,9 1:4,2	191,6 316,6
Residuos industriales secos.	0,23	1,22	1:5,3	430,4
Residuos inertes en general.	1,00	1,80	1:1,8	80,0
Arcilla.	1,30	1,85	1:1,4	42,3

Fuente: RMC (1987)

En otras ocasiones, en condiciones de viento fuerte, utilizan vallas portátiles de unos 2 m de altura que se usan rodeando a la zona de vertido, Fig. 11.6.

### Roedores y moscas

Aunque con el empleo de los compactadores se ha reducido bastante el problema de los roedores, deben tomarse ciertas medidas de prevención.

Una medida utilizada consiste en disponer de una talanquera fija o móvil, sobre vehículo, de aspersión de insecticidas sobre las superficies expuestas al aire libre.

### Limpieza de ruedas

A la salida de los vertederos es conveniente tener los dispositivos de limpieza de las ruedas de los camiones que han transportado las basuras. Estos pueden consistir en una parrilla metálica con aspersores laterales de agua o en unos badenes rellenos de agua.

## 9. Control del gas y lixiviados en los vertederos

Desde hace mucho tiempo se ha comprobado que las basuras alojadas en vertederos controlados sufren un proceso de biotransformación o biodegradación por el que pierden gradualmente sus características nocivas, quedando finalmente mineralizadas y perfectamente confinadas.

No obstante, casi en la totalidad de estos vertederos

se genera un volumen importante de aguas de lixiviación, altamente contaminadas, y gases de descomposición o biogás. Estos dos subproductos constituyen los principales problemas ambientales de los vertederos, que deben ser analizados detalladamente antes de su construcción.

### 4.9.1. Generación y control de lixiviados

Los factores determinantes de la producción de lixiviados (volumen y características) son los siguientes:

- Entradas de agua al vertedero.
- Características de los residuos depositados.
- Condiciones de la superficie del vertedero.
- Características del suelo subyacente.

A su vez, cada uno de estos factores se ve afectado por distintos tipos de condicionamientos, tal como se refleja en la Fig. 11.7.

En general se puede decir que el volumen de lixiviados es coincidente con el volumen de agua percolada a través de suelo y basura, siempre que la penetración de aguas subterráneas y el aporte de agua por parte de los residuos no sean significativos.

Existen dos caminos para abordar el problema de los lixiviados; por un lado prevenir la entrada de aguas superficiales y subterráneas en el depósito de residuos, y por otro tratar los lixiviados producidos antes de su vertido o circulación.

La segunda alternativa es generalmente más costosa, por lo que los esfuerzos suelen ir encaminados a evitar la entrada de todo tipo de aguas.

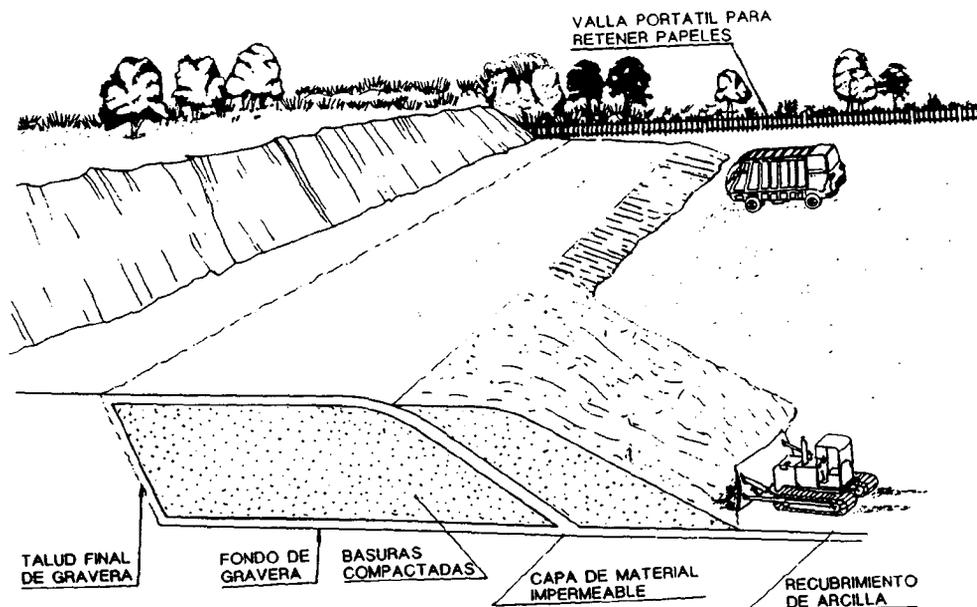


Figura 11.6. Uso de vallas portátiles alrededor de un vertedero controlado.

- El material de cobertura puede proceder de otras áreas en explotación, pero debe prestarse atención para conservar los suelos que se utilizarán posteriormente en la revegetación.
- Los objetos grandes, tales como contenedores o muebles deben ser destruidos e incluso triturados y se intentarán colocar en el fondo de las capas de relleno.
- Los neumáticos deben ser totalmente evitados, pero si no queda más remedio que aceptarlos serán colocados en el fondo y sobre ellos extendido el material pesado para prevenir que afecten a las superficies.
- Se prohibirá encender fuegos en las proximidades de los vertederos.

#### 4.6. Asentamientos

Cualquier vertedero controlado experimenta hundimientos en la superficie, aunque se hayan utilizado compactadores para el extendido de los residuos.

Considerando una mezcla de residuos urbanos e industriales, los porcentajes medidos en la realidad sobre un amplio número de vertederos, y referidos a la profundidad total del depósito, son los indicados en la Tabla 11.4.

TABLA 11.4.

CONDICIONES DE VERTIDO	PORCENTAJE DE ASENTAMIENTO REFERIDO A LA PROFUNDIDAD TOTAL
— Relleno con compactador alcanzando densidades de 0,7 a 1,5 t/m <sup>3</sup> .	10%
— Empuje con tractor o relleno con densidades inferiores a 0,7 t/m <sup>3</sup> .	20%
— Estériles o residuos degradables vertidos sin compactar.	35%

La velocidad de asentamiento será mayor durante los primeros 2 ó 3 años, pero en determinadas circunstancias puede prolongarse ese período hasta los 10 años, y posiblemente más, dependiendo del ritmo de vertido de los residuos.

Por otro lado, pueden aparecer asentamientos diferenciales en algunas áreas, como consecuencia de una mala compactación o relleno no homogéneo, provocando depresiones en la superficie de la zona restaurada. Los charcos o balsas resultantes pueden originar diversos problemas en el drenaje de la zona recuperada.

Con el fin de minimizar el riesgo de remodelado de la cubierta de suelo por los asentamientos diferenciales, puede ser recomendable retrasar el extendido final del suelo sobre la superficie hasta 1 ó 2 años después del relleno. En cualquier caso debe siempre preverse un descenso ligero de la superficie final.

#### 4.7. Contorno final

Dentro del plan de recuperación se incluirá un esquema de trabajo y de restauración reflejando los con-

tornos de las superficies finales. En la determinación de las cotas finales habrá que tener en cuenta la altura ocupada por el suelo que se extenderá posteriormente.

Las superficies finales se modelarán con pequeñas lomas con unas pendientes mínimas de 1:30 para facilitar el drenaje y evitar la filtración del agua en los vertederos.

En lugares profundos frecuentemente es necesario cubrir la capa última de residuos con un sello de arcilla para impedir la entrada de agua en el relleno y minimizar así la penetración en la capa de suelo de los gases generados.

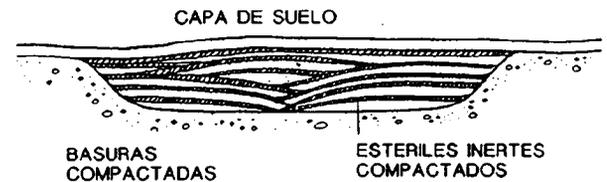


Figura 11.4. Contorno final del hueco de una gravera utilizada como vertedero controlado.

#### 4.8. Medidas correctoras

Algunos de los problemas que con mayor frecuencia se plantean en los vertederos de residuos sólidos urbanos es el arrastre de papeles y plásticos por la acción del viento, la presencia de numerosas moscas y roedores y el ensuciamiento de las vías de acceso por el tráfico de los camiones que transportan tales basuras.

Las soluciones que se suelen adoptar se describen a continuación.

##### A. Pantallas antipapeles

Cuando en la superficie de los vertederos puedan existir zonas donde residuos de escaso peso —papel, bolsas de plásticos, etc.—, puedan desplazarse por la acción del viento, deberá preverse la instalación de barreras o vallas para retener dichos objetos.

En algunos casos, a lo largo del perímetro del área de vertido se construyen unas barreras a modo de bancales con una altura mínima de 2 m sobre el nivel de vertido. Estas actúan por un lado de elemento de retención y, al mismo tiempo, reducen la velocidad del viento, Fig. 11.5.

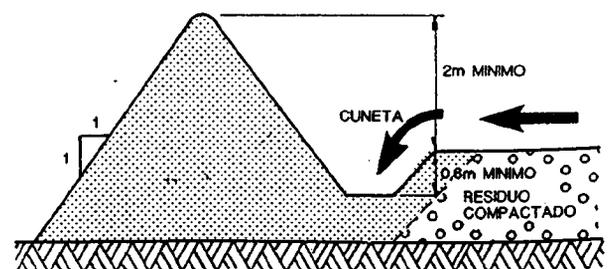


Figura 11.5. Barrera contra papeles.

contaminantes con los constituyentes naturales en los suelos.

- **Recirculación a través de los residuos.** Esta opción es sólo viable cuando el vertedero se encuentra en operación. El riego o bombeo de los lixiviados sobre las basuras puede ayudar a estabilizarlos más rápidamente y ayudar al control de estos efluentes, si el volumen que se produce no es importante.

#### 4.9.2. Composición de los lixiviados

Las aguas de lixiviación de los vertederos de residuos urbanos son, en muchos casos, altamente contaminantes, razón por la que en los últimos años se han dedicado numerosos esfuerzos a estudiar su composición e identificar los factores (tipos de residuos, explotación, etc.) que afectan a la misma.

##### Composición química

Las investigaciones realizadas han puesto de manifiesto una fuerte variabilidad en la calidad de los lixiviados entre distintos vertederos, distintas formas de operación, etc.

Los parámetros o indicadores químicos que más frecuentemente y con mayor intensidad se incrementan en las aguas de lixiviación (con respecto a las aguas limpias de entrada al vertedero) son:

- Sólidos en suspensión
- Conductividad
- DQO
- DBO<sub>5</sub>
- NH<sub>3</sub>
- NO<sub>2</sub>
- NO<sub>3</sub>
- Nitrógeno (Kjeldahl)
- Cloruros
- Fósforo
- Hierro

Siendo probablemente la conductividad, DQO, Cl<sup>-</sup> y Fe (con valores de pH no elevados) los más claramente identificadores.

Por otro lado, se suelen encontrar metales pesados, en mayor o menor proporción, cuando dichos metales estén presentes entre los componentes de la basura, especialmente con valores bajos de pH.

##### Composición microbiológica

Las basuras contienen amplias poblaciones microbianas y pueden estar fuertemente contaminadas con microorganismos patógenos. Por esta razón, también los lixiviados salen normalmente con un importante nivel de contaminación microbiológica.

Los lixiviados de un vertedero pueden presentar características variables a lo largo del tiempo, según la época del año e incluso la antigüedad del mismo.

Siempre se deberá efectuar un control sistemático de la composición química y microbiológica de los

efluentes, mediante análisis de laboratorio, para determinar su potencial de toxicidad a los animales y a las plantas.

#### 4.9.3. Generación y control de biogás

Los gases de descomposición de las basuras es otro de los subproductos que plantea ciertos problemas, si no está previsto su tratamiento con anterioridad.

La velocidad de biodegradación de las basuras y, consecuentemente, el ritmo de generación de gas varía considerablemente de un lugar a otro. Los principales factores que determinan la generación de gas son los siguientes:

- **Composición de las basuras.** Los residuos más biodegradables y con menor contenido en materiales inertes producirán mayores caudales de gas.
- **Compactación del relleno.** A mayor compactación, menor producción de gas se obtendrá.
- **Humedad de las basuras.** El aumento de la humedad favorece más rápidamente la generación de gas.
- **Temperatura de los residuos.** La generación de gas se acelera con el calor.

No obstante, el esquema que siguen los vertederos en la producción de gas es prácticamente el mismo en casi todos. Existe una fase inicial después del vertido que dura de 6 a 24 meses durante la que la producción de gas va aumentando progresivamente para alcanzar después de una forma rápida un máximo. Este nivel máximo se mantiene durante dos o tres años. Posteriormente, los ritmos disminuyen, aunque la generación de gas pueda perdurar con caudales pequeños durante varios años.

Los principales constituyentes de los gases son el metano (CH<sub>4</sub>) y el anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>), cuya presencia varía entre los siguientes límites:

$$40\% < \text{CH}_4 < 60\% \\ 30\% < \text{CO}_2 < 45\%$$

Otros gases igualmente presentes, pero en mucha menor proporción, son: el vapor de agua, el oxígeno, el

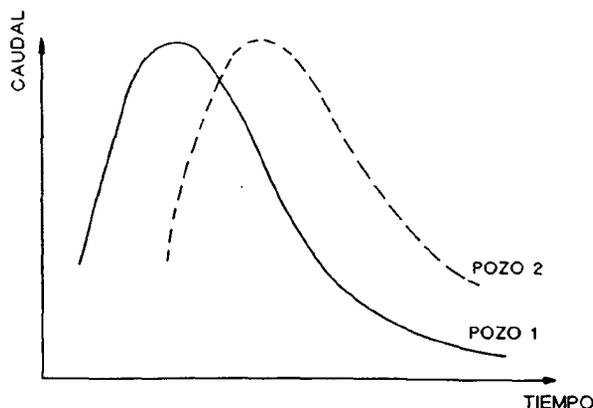


Figura 11.10. Evolución del volumen de gas generado en un vertedero.

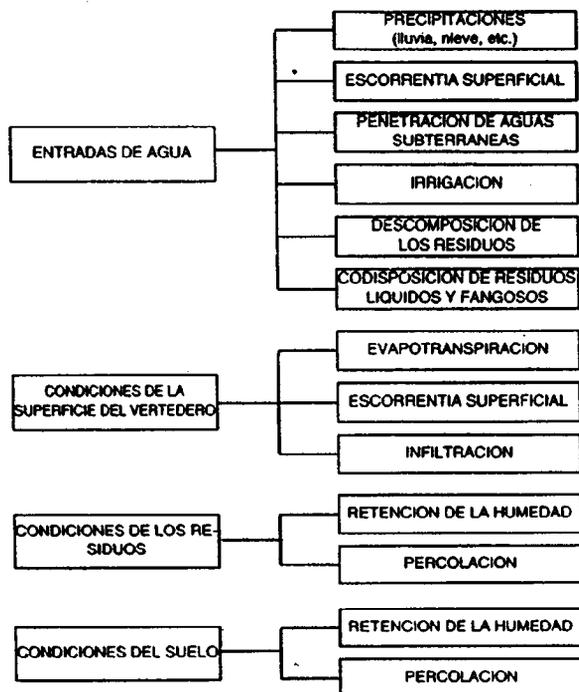


Figura 11.7. Conjunto de factores que determinan el volumen de lixiviados.

### 1. Control de la entrada de aguas

Tal como se indicó anteriormente, las aguas que llegan a los vertederos pueden tener diferentes procedencia, Fig. 11.8, por lo que deben tomarse una serie de medidas, entre las que destacan las siguientes:

- Precipitaciones.** Aunque no es posible evitar que las aguas de lluvia entren en contacto con los residuos, sí es factible separar las aguas limpias procedentes del área de filtrado y evitar así que estén en contacto con las basuras que se están vertiendo. Esto se lleva a cabo mediante un sistema de celdas.
- Aguas superficiales.** Se construyen canales o zanjas de interceptación para impedir la entrada del agua procedente de las escorrentías y del drenaje natural.

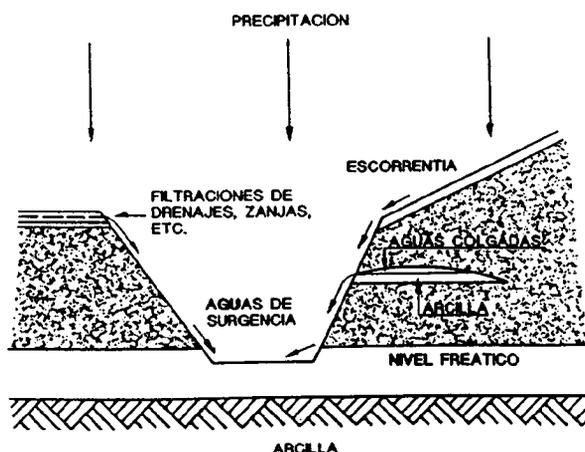


Figura 11.8. Entradas de agua en un vertedero.

- Aguas subterráneas.** Constituyen la aportación más difícil de controlar. En muchos casos se recurre a la impermeabilización o sellado del fondo y paredes del hueco excavado, así como a un vertido selectivo de los residuos colocando los de características inertes en las zonas inferiores donde van a estar en contacto con las aguas subterráneas.
- Residuos líquidos.** Un buen control de los residuos depositados puede ayudar a minimizar este tipo de líquidos en los vertederos.

### 2. Tratamiento de lixiviados

En algunos lugares es posible que los lixiviados generados puedan eliminarse mediante una simple dispersión, de manera que migren a través de los estratos del entorno y aguas subterráneas existentes. Es un proceso en el que tanto los materiales rocosos no saturados como los saturados reducen gradualmente la contaminación por mecanismos físicos, químicos y biológicos. Los efectos de estos efluentes generalmente no se extenderán a distancias muy alejadas de los límites de los vertederos, pero será necesario efectuar un detallado estudio hidrogeológico así como un continuo seguimiento y control de la migración.

Sin embargo, en algunos lugares, por las condiciones ambientales y del emplazamiento, no es posible la práctica anterior, por lo que no queda más remedio que someter a los lixiviados a un tratamiento o a depositarlos en estructuras apropiadas. Esto último es caro si el volumen que se produce es importante.

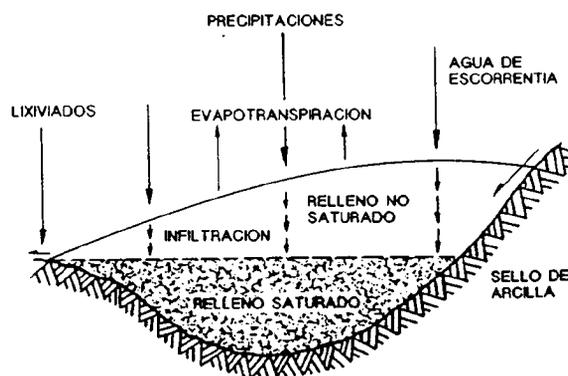


Figura 11.9. Balance de agua en un vertedero.

Las soluciones que suelen adoptarse son las siguientes:

- **Vertido directo a la red de saneamiento.** Sólo se realizará la descarga contando con la aprobación de las autoridades competentes. Debido a las características de estos efluentes puede ser aconsejable un tratamiento previo antes de su vertido.
- **Tratamientos químicos y biológicos.** Existen diferentes vías de tratamiento, pero en general son costosas.
- **Irrigación.** Algunos lixiviados pueden ser esparcidos en terrenos adyacentes con el fin de eliminarlos mediante la evaporación y la transpiración de las plantas, así como mediante la reacción de ciertos

Las tuberías de escape se colocan generalmente durante la construcción del vertedero, aunque también es posible instalarlas después. Para que sean más efectivas se puede forzar la extracción de los gases por medio de bombas.

Las zanjas de escape se construyen en los flancos del depósito, mediante material permeable, con bloques de roca y grava. Son especialmente útiles tanto para controlar la migración lateral de los gases como para los malos olores.

Estas estructuras suelen ir acompañadas de capas de recubrimiento impermeables construidas con arcilla, bentonita o membranas sintéticas como las descritas en epígrafes anteriores.

#### 4.10. Aprovechamiento energético del biogás

El aprovechamiento energético de las basuras mediante la combustión del gas producido ha sido estudiado e incluso llevado a cabo en algunos países como Francia, Alemania y Estados Unidos. Durante la fermentación anaerobia de los desechos se generan gases que pueden recuperarse, siempre que el vertido se haya efectuado de manera controlada.

Esa recuperación de los gases se realiza mediante pozos de captación, que pueden perforarse en vía húmeda si los depósitos ya están abandonados, colocando a continuación tubos de acero o PVC perforados, o construirse mediante anillos prefabricados de hormigón debidamente perforados, si la explotación del vertedero

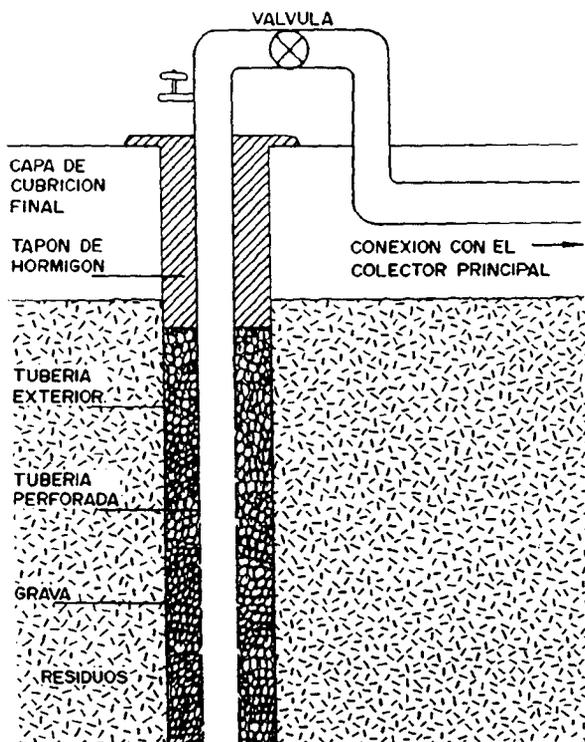


Figura 11.13. Esquema de pozo de captación.

se pretende hacer simultáneamente con el aprovechamiento del gas. En ambos casos los orificios de la entubación se suprimirán a una altura de 4 a 6 m del nivel final del depósito para evitar la formación de grisú (metano + aire).

La captación del gas entre los diferentes pozos se hace mediante una red horizontal de tuberías de PVC, del mismo diámetro, dispuestas en la superficie.

Para efectuar la captación del gas en condiciones óptimas de seguridad se deben tomar diversas precauciones, entre las que destacan:

- El sellado de las fisuras que pueden formarse en los recubrimientos de materiales inertes.
- Comprobar el estado de las conducciones y la composición del gas de descarga para prevenir el riesgo de explosión.
- Evacuar las aguas de condensación de los puntos bajos de la red.

El número de pozos de captación depende de las características de las basuras, siendo normal que el dimensionamiento de la red se haga sobre la base de unos radios de acción de los pozos entre 30 y 50 m.

La utilización del gas depende de las propiedades de éste: presión, caudal, poder calorífico, regularidad, presencia de impurezas, etc., siendo además precisa su depuración mediante filtros y la separación del CO<sub>2</sub> mediante barboteo en agua. El gas depurado puede emplearse en la alimentación de generadores eléctricos, en motores térmicos de gas pobre, en el sector industrial y agrícola, o simplemente introduciéndolos en la red general de distribución de gas.

Este uso de los huecos de las graveras abandonadas es el menos noble, pero al mismo tiempo el más codiciado por algunas autoridades municipales.

#### 5. BIBLIOGRAFIA

- ANTIGÜEDAD, I., et al. (1991): "Lixiviación en vertederos de residuos urbanos en la Comunidad Autónoma Vasca". TecnoAmbiente. Octubre.
- CACERES, J. M., y SZANTD, M. (1991): "Tipos de diseño y material de sellos de impermeabilización para rellenos sanitarios". Revista Técnica de Medio Ambiente. Marzo-abril.
- DEPARTMENT OF THE ENVIRONMENT, WELSH OFFICE (1989): "The Reclamation of Mineral Workings". Minerals Planning Guidance.
- GREEN, J., y otros (1992): "A User Guide to Pit and Quarry Reclamation in Alberta". Alberta Land Conservation and Reclamation Council. Alberta.
- RMC Group (1987): "A Practical Guide to Restoration". RMC Group Plc. Feltham.
- SCHELLIE, K. L. (Ed.) (1977): "Sand and Gravel Operations: A Transitional Land Use". National Sand and Gravel Association. Maryland.
- UNION NATIONALE DES PRODUCTEURS DE GRANULATS (1982): "L'Affectation des sols de carrières de granulats après exploitation". Collection Technique, n.º 2. Paris.

hidrógeno y el nitrógeno. Como gases traza se encuentran el etileno y el sulfuro de hidrógeno. Dependiendo del contenido en metano, los poderes caloríficos oscilan entre las 3.500 y las 6.000 kcal/m<sup>3</sup>. El porcentaje de metano está relacionado con las características de las basuras: composición, humedad, etc.

El metano es inodoro, pero los gases traza producen olores desagradables.

Los problemas más frecuentes que plantea la generación de estos gases son los siguientes:

— **Riesgos de explosión y asfixia**

Las concentraciones de metano en la atmósfera superiores al 5% son inflamables o explosivas.

El metano se puede llegar a concentrar en lugares cerrados tales como pozos, sumideros, tuberías de drenaje, cavidades en el relleno, túneles de cintas, sótanos de edificios, etc., llegando a convertirse en un peligro potencial.

También existe un riesgo de migración de los gases a distancias importantes, por encima de los 200 m, pudiendo añadirse al peligro citado el de asfixia debido a la ausencia de oxígeno en algunos lugares cerrados.

Por otro lado, la exposición prolongada de las personas a gases con una alta concentración es indeseable debido a los gases traza de cierta toxicidad.

Se debe prohibir fumar en las inmediaciones de los vertederos y encender cualquier tipo de fuego.

Los edificios e instalaciones que se construyan deberán disponer de espacio abierto entre el nivel del terreno y el piso, y se prestará una especial atención a los sistemas de calefacción.

Las empresas explotadoras de los vertederos deberán disponer de un sistema de detección de metano.

— **Crecimiento de las plantas**

La migración de los gases a través de los estériles de cubrición y capa de suelo puede provocar en estos últimos unas condiciones de la atmósfera anaerobias, como consecuencia de la expulsión del oxígeno. Esto puede llegar a afectar al crecimiento de la vegetación e incluso dar lugar a su muerte.

— **Olores**

Los gases pueden llegar a plantear problemas de olores ocasionando molestias en las zonas más próximas habitadas.

**4.9.4. Medidas preventivas**

Con vistas a minimizar la producción de biogás o permitir un escape a la atmósfera en condiciones de seguridad se deben adoptar una serie de medidas, entre las que destacan las siguientes:

- Compactar los residuos eficientemente.
- Minimizar la entrada de agua en el relleno mediante celdas de control, separando las aguas limpias de

las sucias, y mediante la construcción de canales y cunetas de interceptación.

- Modelar la superficie con pequeñas pendientes para dirigir las aguas superficiales.
- Cubrir cada módulo de residuos, tan pronto como sea posible, con una capa de 30 cm, como mínimo, de arcilla compactada. Para evitar la meteorización y el agrietamiento de la arcilla se extenderá sobre ésta una capa de suelo inmediatamente después.
- Colocar tuberías de captación de gases bajo la capa de arcilla que permitan el escape libre de éstos a la atmósfera, Fig. 11.11.

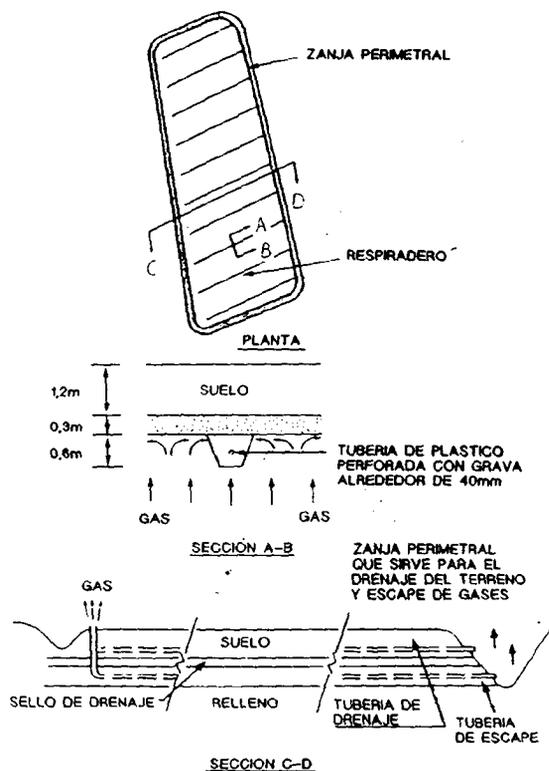


Figura 11.11. Interceptación de los gases mediante tuberías de drenaje horizontales.

- Cuando en las cercanías de los vertederos pueden presentarse problemas de migración de los gases o molestias por olores se pueden instalar tuberías verticales y zanjas de escape, Fig. 11.12.

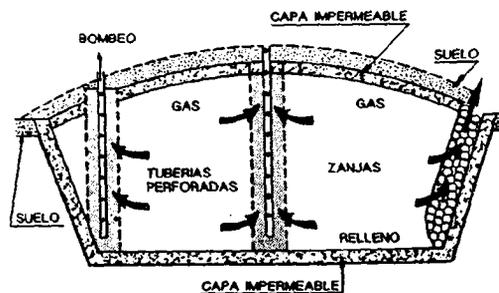


Figura 11.12. Tuberías y zanjas de escape verticales utilizadas para el control de la migración de los gases.

# USO RECREATIVO

## INTRODUCCION

Los terrenos de las graveras ofrecen en muchos casos la posibilidad de recuperación con un uso final recreativo, en toda su extensión, o parcialmente, combinando el recreo con otros usos.

Las razones que pueden apoyar tal decisión son numerosas:

- Una mayor rentabilidad económica de los gastos efectuados en la restauración.
- Impresión más favorable sobre las autoridades locales y garantías necesarias para poder dividir zonalmente el área ocupada y poder así efectuar las operaciones extractivas simultáneamente.
- Buena publicidad de la empresa productora, que podrá beneficiarse con explotaciones posteriores.
- El uso recreativo puede ser el único aconsejable en el lugar en un momento dado.

El recreo o el ocio tienen actualmente un significado muy amplio. Dentro de este término se incluyen diferentes actividades desarrolladas por un colectivo social, desde ejercicios físicos hasta la soledad, pasando por reuniones sociales y experiencias campestres. El ocio puede pues definirse como cualquier actividad que se lleva a cabo en ausencia de otras que demandan nuestro tiempo, sin ningún cometido o fin productivo.

Para asegurar el éxito de la recuperación de una gravera con un uso recreativo deben alcanzarse los siguientes objetivos:

- **Exclusividad.** El plan desarrollado debe basarse sobre aspectos naturales y culturales que sean importantes dentro del ámbito geográfico donde se localiza.
- **Responsabilidad ambiental.** Las posibilidades recreativas serán compatibles con las condiciones locales, formas del terreno de los alrededores y usos de zonas adyacentes, al mismo tiempo que existe una demanda de usuarios.
- **Integración equilibrada.** El nivel de desarrollo del lugar debe ser compatible con la capacidad del área recuperada para soportar el uso recreativo.
- **Viabilidad económica.** Los planes recreativos previstos deben ser factibles económicamente en su construcción, mantenimiento y operación.

- **Flexibilidad.** La estructura para el desarrollo y recuperación final de la gravera debe ser tal que permita acomodarse a los cambios en los usos de áreas adyacentes y el medio ambiente.

Como con cualquier uso de los terrenos, la planificación efectiva de un uso final recreativo debe formar parte del diseño y etapas operativas de la propia explotación.

## 2. TIPOS DE USOS RECREATIVOS

Uno de los métodos más comunes utilizados por los planificadores para clasificar las áreas recreativas es aquel en el que se denominan los terrenos como: recurso orientado, usuario orientado e intermedio (combinación de ambos). A continuación se comenta cada una de estas clases.

**A. Recurso orientado.** La naturaleza del recurso físico puede tener un significado escénico, científico o histórico. La escasez del recurso y el grado de interés que despierta dicta si el área debe juzgarse o no como recreativa.

Los lugares escénicos se caracterizan por sus vistas pintorescas, por sus paisajes, por sus elementos naturales poco frecuentes, montañas, colinas, cortados, cascadas, ríos, etc.

Los lugares científicos son aquellos que ofrecen unas características geológicas, biológicas o mineras con un cierto valor educativo, tales como fósiles, materiales rocosos poco frecuentes, etc., donde pueden estudiarse ciertos fenómenos naturales.

Los lugares históricos son los que reflejan un uso anterior muy antiguo con algunas características o rasgos peculiares, tales como antiguo campo de batalla, restos arqueológicos, monumentos históricos, etc.

En aquellos depósitos de arenas y gravas donde existan recursos como los comentados deberá hacerse una explotación selectiva realizando las operaciones en las zonas de menor valor. Previamente habrá sido objeto de estudio, dentro del apartado de descripción del medio, y se deberá contar con los permisos oportunos.

En algunos casos los taludes excavados podrán dejarse descubiertos y sin remodelar cuando sea posible

TABLA 12.2. POSIBILIDADES RECREATIVAS DE LAS GRAVERAS

**GRAVERAS HUMEDAS**

FUNCION	ACTIVIDAD	CONDICIONES PRIMARIAS	OTRAS CONDICIONES
OCIO	Zona verde húmeda	Lámina de agua poco profunda	Terraplenado parcial
	Pesca	Flora, fauna y plancton	Profundidades variadas, temperatura
	Picnic, paseo, barcas de remo, baño, etc.	Calidad paisajística, microclima, calidad sanitaria del agua	Seguridad
DEPORTES	Vela, windsurfing	Vientos y superficie	Organización, gestión y seguridad
	Remo, piragüismo, kayacs	Cientela específica	
	Motonáutica, sky náutico	Superficie de lámina de agua y profundidad	
MULTIPLE	Base náutica con instalaciones y equipamientos: camping, juegos, etc.	Gran superficie y número importante de usuarios	Estudios y proyectos elaborados y gestión efectiva
EDUCATIVA	Aulas de la naturaleza, observación de aves, senderos ecológicos	Superficie suficiente para zonificar y evitar interferencias entre usos	Buena gestión y control de los visitantes

**GRAVERAS SECAS**

FUNCION	ACTIVIDAD	CONDICIONES PRIMARIAS	OTRAS CONDICIONES
OCIO PASIVO	Parque, terreno de aventura, jardín público	Según el medio y el tipo de visitantes	Vegetación y calidad paisajística
	Area de reposo y servicio	Cerca de carreteras o autovías	Profundidades variadas, temperatura
OCIO Y CULTURA	Estancia al aire libre	Superficie y variedad paisajística y topográfica	Proximidad a pueblos, buenos accesos, aparcamientos
	Parque de juegos, zoológico	Promoción privada y gestión	
	Circuitos rústicos		
	Auditorio al aire libre	Morfología favorable	
DEPORTES	Deportes "especiales"	Tiro diverso	Cerramiento de seguridad
		Deportes de motor	Superficies alargadas
		Escalada	Superficies estables rocosas
	Deportes clásicos	(*)	Drenaje, orientación respecto del sol y los vientos dominantes

(\*) Se necesitan superficies progresivamente más grandes: petanca, bolos, tenis, frontón, voleibol, baloncesto, fútbol, rugby, equitación, golf, etc.

observar diversos estratos de materiales geológicos con un cierto valor científico, tanto para los profesionales como para los aficionados. Estos frentes serán utilizados con fines educativos por los visitantes al parque.

**B. Usuario orientado.** Se refiere a áreas recreativas que están dirigidas fundamentalmente a proporcionar una serie de actividades a un número elevado de personas. Estas zonas se caracterizan, generalmente, por disponer de numerosos y variados lugares de ocio. Un aspecto muy importante de estas zonas es la infraestructura viaria de acceso de los posibles visitantes. Los parques urbanos son un ejemplo de actuación de usuario orientado.

Generalmente se encuentran bastante próximos a los usuarios potenciales y sirven para un área geográfica específica. Su extensión es considerablemente más pequeña que la de los parques de recursos orientados y no suelen disponer de recursos con alto valor.

Las zonas de uso recreativo se dividen básicamente en dos tipos: activas y pasivas. Generalmente, deben proporcionar un programa de actividades variado y amplio, tanto como son los intereses de las diferentes personas que habitan en las áreas próximas.

**C. Intermedio.** Estas zonas son generalmente más pequeñas que las características de recursos orientados y bastante mayores que las de usuarios orientados. Dentro de esta categoría podrían entrar muchas de las graveras actuales que se explotan en los alrededores de grandes ciudades, como por ejemplo Madrid. En ellas se combinarían, mediante una planificación previa, las diferentes zonas con elementos naturales conservados o recuperados y medios de ocio a disposición de los visitantes.

Las posibilidades recreativas de las graveras son muy amplias, Tabla 12.1. En función de la presencia o no de láminas de agua y el objetivo genérico de uso que se señale, pueden diferenciarse cuatro grandes categorías de recreo, Tabla 12.2:

- Áreas provistas de lámina de agua para recreo extensivo: pesca, baño, observación de aves acuáticas, etc.
- Áreas provistas de lámina de agua y con una función deportiva: vela, remo, windsurfing, etc.
- Áreas sin lámina de agua y con una función de esparcimiento pasivo y/o cultural: parques y jardines públicos, juegos infantiles, áreas de reposo o paseo, etc.
- Áreas sin lámina de agua y con una función deportiva: deportes clásicos (fútbol, bolos, tenis, etcétera) o deportes específicos (motocross, tiro diverso, etc.).

### 3. FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA RECUPERACION CON USOS RECREATIVOS

La restauración de una explotación de áridos con fines recreativos puede ser un proceso complejo que requiera numerosa información sobre la seguridad de las instalaciones para el público, las necesidades locales o regionales en materia del ocio, facilidades de planifica-

TABLA 12.1. ACTIVIDADES RECREATIVAS EN LAS GRAVERAS

- Picnic.
- Acampada.
- Senderismo/paseo.
- Juegos infantiles.
- Juegos no reglamentados al aire libre: cometas, palas, etc.
- Juegos reglamentados que no requieren infraestructura o con infraestructura mínima: bolos, petanca, calva, etc.
- Deportes individuales: tiro con arco, tiro con pistola o carabina, diversas modalidades de atletismo (salto de longitud, lanzamiento de peso o disco, etc.).
- Circuitos de campo a través y "footing".
- Deportes practicados sobre superficies de hierba o tierra: fútbol, balonvolea, badminton, béisbol, cricket, rugby, etc.
- Deportes practicados sobre superficies artificiales o de césped muy cuidado: tenis, baloncesto, balonmano, jockey hierba y sobre patines, etc.
- Golf.
- "Karting" y motocross.
- Equitación.
- Todos los deportes acuáticos: natación, remo, vela, piragüismo, tabla a vela, esquí acuático, etc.

ción, infraestructura de acceso, aspectos paisajísticos y estéticos, etc.

El objetivo de este proceso es llegar a determinar, entre un abanico amplio de posibilidades, qué actividad o actividades recreativas son las más idóneas.

En él, como ya se ha señalado, intervienen numerosos factores. Unos que se refieren a características del entorno de la gravera, y que permiten determinar qué orientación recreativa o qué tipo de actividades están más acordes con las condiciones de la zona en la que está inserta la gravera, ya sea a nivel local o regional. Y otro grupo de factores que se refiere a características concretas del espacio que se va a restaurar, y cuya consideración ayuda a determinar el potencial recreativo del área.

Junto con la intervención y contraste de estos dos grupos de factores, es importante conocer las posibilidades técnicas y económicas de que se dispone para plasmar las propuestas en realidades, así como para realizar una gestión del área adecuada a la actividad que se pretende desarrollar y que sea duradera en el tiempo.

#### 3.1. Factores relativos al entorno de la gravera

Para determinar si una gravera ofrece un potencial para uso recreativo, es preciso considerar primero los tipos de usos que tienen los terrenos adyacentes. Basándose en tal conocimiento es posible averiguar el tipo de actividad recreativa más adecuada dentro de la zona a recuperar. Por ejemplo, si en los alrededores no

TABLA 12.3. CAPACIDAD DE ACOGIDA DE DIFERENTES ACTIVIDADES

TIPO	TAMAÑO
Juegos infantiles	230-900 m <sup>2</sup>
Jardín infantil	0,5 ha/800 personas: superficie mínima 1-2 ha
Campos de juego	0,5 ha/800 personas 4 a 8 ha para poblaciones de 15.000 a 25.000 habitantes
Grandes áreas recreativas urbanas	Superficie mínima 40 ha 6 ha/1.000 personas
Parques municipales	0,5 ha/250 personas u 8 ha para poblaciones de 5.000 habitantes
Áreas recreativas locales y regionales	8 ha/1.000 personas Superficie mínima 20 ha/5.000 personas
Camping	Superficie mínima 3-5 ha 45-25 m <sup>2</sup> /campista
Picnic. Recreo informal	Superficie mínima 2 ha 200-500 usuarios/ha 15-40 unidades de picnic/ha
Contemplación de la naturaleza (zonas naturales)	4 personas/ha 10 personas/km de sendero
Pesca	1 punto de pesca/10 ml (zonas intensivas) 1 km/pescador (zonas naturales)
Baño	Superficie mínima por usuario 15-25 m <sup>2</sup> 2-4 m <sup>2</sup> agua/usuario 800-1.500 usuarios/ha

Para las actividades acuáticas es necesario, además, conocer las características fisicoquímicas y bacteriológicas del agua, su temperatura y sus mecanismos de renovación.

TABLA 12.4. RANGO ACEPTABLE DE PENDIENTES PARA DIVERSOS USOS POTENCIALES EN ÁREAS ALTERADAS

USO POTENCIAL	PENDIENTE ACEPTABLE (%)
Golf ("green")	2-7
Golf (calles)	2-15
Paseo	2-10
Parque rústico	2-15
Zonas de estancia	2-20
Parques con arbolado	2-15
Zonas de acampada	2-20
Bosques	2-50

TABLA 12.5. PENDIENTE OPTIMA PARA EL DESARROLLO DE DIVERSAS ACTIVIDADES

USO	PENDIENTE (%)
Urbanización	0
Fútbol	1
Tenis y otros deportes sobre superficies pavimentadas	1
Recreo con infraestructura	1-3
Aparcamiento	1-5
Caminos laterales	1-8
Accesos para automóviles	1-10
Minigolf	2
Áreas de picnic	2-8
Áreas de césped	2-10
Tiro con arco	2-10
Senderos	2-25
Playas para baño	3-4
Campings	5-7

hay depósitos naturales de agua podrá preverse un lago para pesca si se considera que puede constituir una atracción.

Además de los usos que tengan los terrenos adyacentes, es necesario considerar la proximidad de la gravera a zonas recreativas, los servicios que ofrecen estos otros lugares y su potencial de atracción hacia ellas de los usuarios. Los aspectos más importantes que deberán tenerse en cuenta son:

- Situación relativa de la zona a recuperar con respecto a rutas o lugares turísticos.
- Número y origen potencial de usuarios (urbanos frente a rurales).
- Disponibilidad de servicios.
- Planes de desarrollo y urbanismo.
- Accesos a la zona.
- Tendencias en las actividades de recreo.

Antes de planificar y llevar a cabo los trabajos de recuperación, el explotador debe revisar los Planes Urbanísticos de la zona y las posibles restricciones o limitaciones que pudieran existir. Esta reglamentación, establecida por las autoridades municipales, provinciales o autonómicas, permitirá discernir si el desarrollo recreativo previsto es posible y si los tipos de actividades serán permitidas.

La demanda del mercado proporciona la información suficiente para saber el tipo de instalaciones recreativas que son necesarias. Estas pueden variar desde parques de atracciones o feriales de uso intensivo hasta zonas de esparcimiento próximas a las vías de comunicación.

Las características biofísicas del entorno de la gravera, en especial en lo referente al paisaje y a la existencia en las cercanías de ésta de recursos naturales o culturales de interés, es otro factor de importancia. Algunos aspectos que deberán ser considerados son:

- Características fisiográficas, tales como laderas, colinas, lomas, áreas planas, etc.
- Disponibilidad de agua, en lagunas, charcas, arroyos, ríos, etc.
- Comunidades vegetales y especies dominantes.
- Patrimonio cultural prehistórico o histórico del lugar.

La protección de los recursos naturales y la conservación de la belleza de los alrededores puede ser un punto esencial para proporcionar una calidad naturalística al plan de recuperación previsto. La abundancia y variedad de elementos del paisaje que existan en las áreas adyacentes deberán identificarse e inventariarse. Basándose en esas características se podrán establecer los objetivos para conservar y proteger sus cualidades visuales o paisajísticas. Una vez identificados los diferentes elementos visuales se elegirán las actividades de recreo más adecuadas a las condiciones del lugar, o el empleo de elementos naturales para el desarrollo de las actividades elegidas.

### 3.2. Características de la zona a restaurar

Existen diversos factores que influyen en el potencial recreativo de una gravera. Los más importantes son:

**A. ASPECTOS MORFOLOGICOS**, tales como superficie, topografía del terreno, profundidad del hueco, etcétera.

El tamaño del área afecta directamente al tipo de recreo que va a ser posible desarrollar, ya que cada actividad requiere una cierta superficie mínima. Algunas actividades deportivas tienen unos requerimientos superficiales muy estrictos: el área mínima requerida para la navegación a motor es de 6 ha; para la navegación a vela se necesitan al menos 50 ha, etc. Por otro lado, la superficie disponible es un factor básico que determina la capacidad de acogida de un área, Tabla 12.3.

La forma del área también influye en las posibilidades de uso. La mayoría de las actividades recreativas requieren superficies rectangulares, aunque las parcelas de forma irregular no deben considerarse como espacio perdido. Estas zonas son muy adecuadas para ubicar los aparcamientos, las áreas de estancia y recreo pasivo, o como zonas tampón, que aislen el área dedicada a recreo de un entorno que pueda resultar perturbador (por ejemplo, carreteras).

La pendiente del terreno es un factor que determina la vocación recreativa del terreno, y que puede restringir directamente el abanico de actividades potenciales para el área, fundamentalmente porque las pendientes del terreno a restaurar no sean adecuadas para una actividad en concreto y el volumen de tierras que habría que mover para acondicionarlas a los requerimientos de dicha actividad resulte excesivo y encarezca demasiado la restauración, e incluso porque sea técnicamente inabordable. Por ejemplo, la construcción de un campo de fútbol en un terreno que tenga una pendiente general del 20% va a entrañar unas dificultades técnicas y un incremento de los costes considerables. Si ese mismo terreno se dedica a parque rústico, el volumen de tierras a mover será mucho menor y la restauración mucho más barata.

En la Tabla 12.4 se presentan a modo de ejemplo una serie de rangos de pendiente dentro de los cuales se considera viable la implantación de diversas actividades, y en la Tabla 12.5 su pendiente óptima.

**B. ASPECTOS HIDROGEOLOGICOS E HIDROLOGICOS**, tales como calidad del agua, volumen de recursos, variaciones estacionales de caudal, etc.

La utilización recreativa de una laguna residual depende fundamentalmente de su profundidad, longitud de costa, claridad y limpieza del agua o sustrato de la orilla.

En las graveras húmedas generalmente se dan dos tipos de configuraciones:

- Lagunas segmentadas y poco profundas.
- Lagunas extensas, abiertas y profundas.

Cada una de estas dos situaciones resultan adecuadas para unos tipos determinados de recreo. Por ejemplo, la primera lo es para aquellas actividades que están relacionadas con la observación de las aves acuáticas o con parques rústicos. Las lagunas extensas lo son para los deportes acuáticos, que necesitan amplias superficies de agua libres de obstáculos, y con una profundidad de al menos 2 m.

Si es posible modificar las orillas y crear una variedad adecuada de formas y configuraciones, las posibilidades recreativas se incrementan sustancialmente.

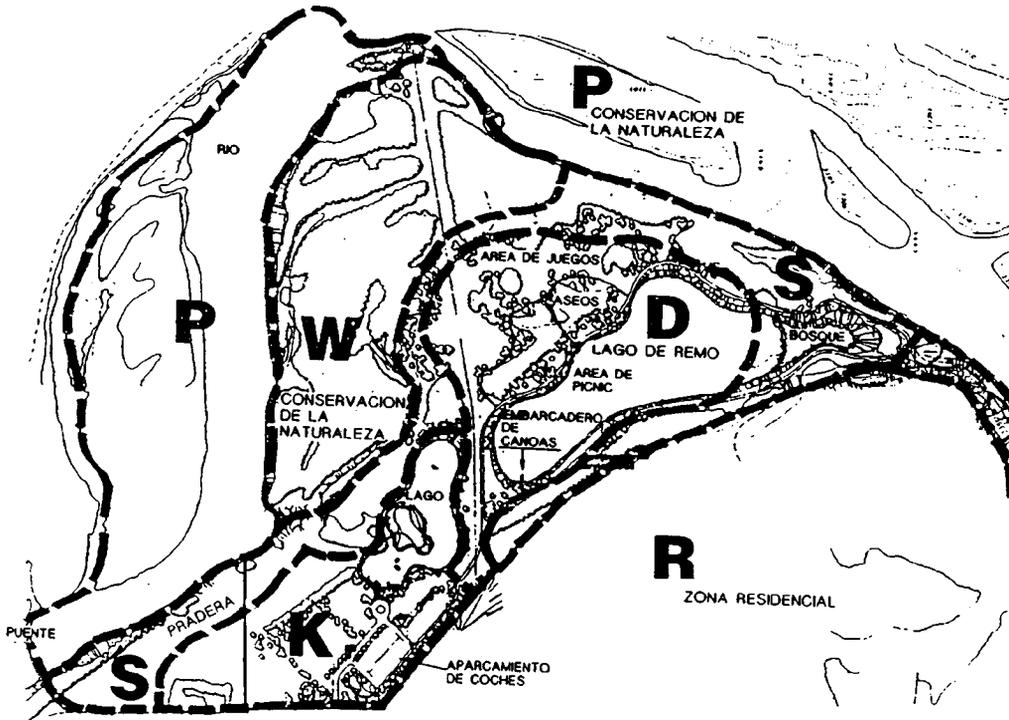


Figura 12.1. Ejemplo de plan director con zonificación de usos.

Después de efectuar el diseño conceptual y terminar algunos de los estudios de ingeniería para garantizar el drenaje de la zona y construir ciertos elementos.

Después de efectuar el diseño conceptual y terminar algunos de los estudios de ingeniería, se elaborará un calendario de ejecución y se estimará el presupuesto, revisando los realizados anteriormente.

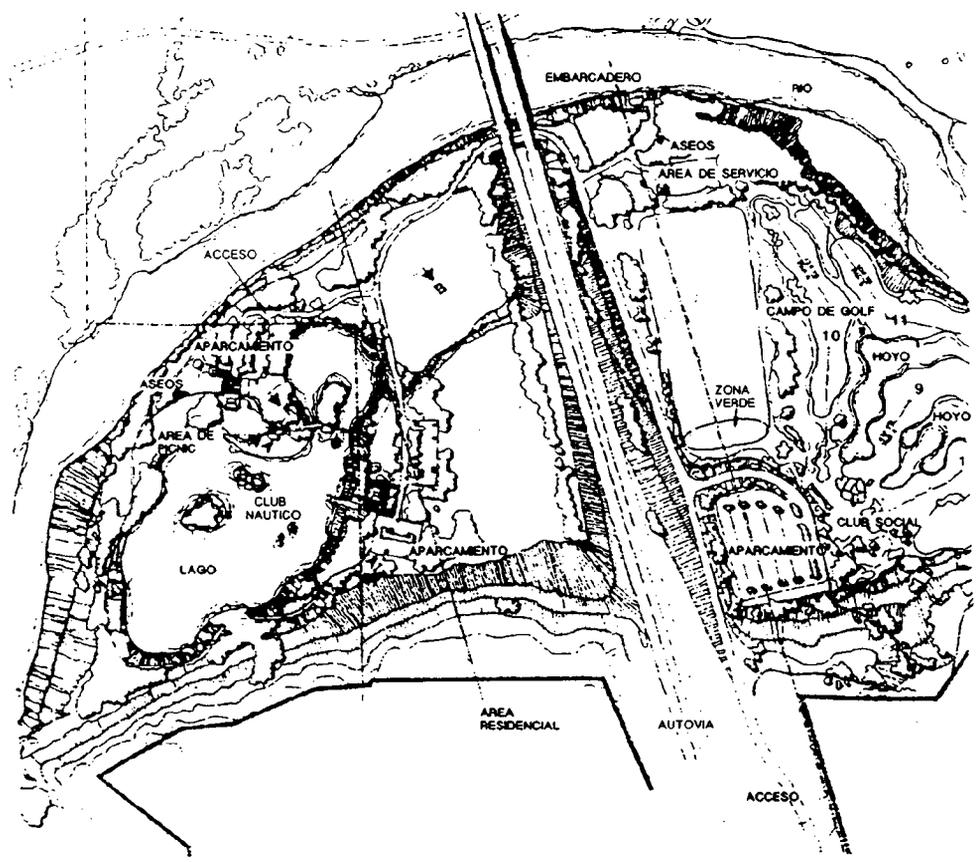


Figura 12.2. Ejemplo de diseño conceptual de recuperación de una gravera con uso recreativo.

Por ejemplo, las características del agua de las lagunas (temperatura, profundidad, flora, plancton, renovación del agua, etc.) van a condicionar la naturaleza y la cantidad de peces que vivan allí, y por tanto la calidad y cantidad de la pesca en la laguna. Si el agua no reúne las condiciones sanitarias precisas y no es posible depurarla, todos aquellos usos que tengan que ver directamente con ella, como baño o tabla a vela, quedarán excluidos.

El nivel mínimo del agua durante el estiaje y las fluctuaciones estacionales de nivel y caudal también pueden condicionar el desarrollo de actividades que tienen que ver con el agua.

**C. ASPECTOS GEOTECNICOS**, tales como estabilidad de los frentes y de las orillas, necesidades de saneamiento, etc.

La cantidad y calidad de la tierra vegetal disponible, de material de cobertura y/o de estéril reutilizable, pueden condicionar la selección del uso.

En cierto tipo de suelos pueden producirse pequeños hundimientos al asentarse el material, creando irregularidades en el terreno que algunas actividades recreativas no admiten.

El desarrollo de los deportes clásicos no acuáticos necesita que el suelo tenga un buen drenaje y no se produzcan encharcamientos.

**D. ASPECTOS CLIMATICOS Y ECOLOGICOS.** El conocimiento de la dirección y la fuerza de los vientos dominantes es primordial para la vela y el windsurfing, y necesario para otras actividades.

El baño y algunas actividades de recreo pasivo requieren temperaturas suaves y un nivel de insolación suficiente. Los terrenos dedicados a ellas deberán estar orientados a solana y protegidos de los vientos.

La vegetación del área también es otro parámetro a considerar, no sólo como componente paisajístico, sino como elemento que puede influir en el desarrollo de ciertos usos. Por ejemplo, las zonas de baño no deberán estar excesivamente cerca de arbolados espesos y de hoja caduca, para que el nivel de insolación sea adecuado y para que en las orillas no se desarrolle una capa no deseable de detritos vegetales al descomponerse la hojarasca.

**E. ASPECTOS DIVERSOS**, que incluyen desde características de la zona que puedan disminuir la seguridad del área, tales como líneas de alta tensión o la existencia de depósitos de combustible cercanos, hasta otros que prestan valor al área, como la existencia de recursos culturales o naturalísticos de especial interés dentro del perímetro de la gravera o en su entorno más inmediato. Como ejemplos relativamente comunes pueden citarse el hallazgo de restos arqueológicos o paleontológicos durante las labores de extracción, o la colonización espontánea de algún talud del hueco de extracción por abejarucos o aviones zapadores, especies estas protegidas en algunas Comunidades Autónomas.

## 4. ETAPAS DE DISEÑO DE UN AREA RECREATIVA

Una vez tomada la decisión de que la alternativa más adecuada de recuperación de los terrenos de una gravera es darle un uso recreativo, se debe proceder al diseño final de la zona de forma coordinada con el propio proyecto de explotación. El diseño comprende generalmente cuatro etapas.

- Programación.
- Planificación.
- Diseño conceptual.
- Diseño detallado.

### 4.1. Programación

Durante esta etapa hay que tener en cuenta la demanda local y regional de actividades de ocio, y las ofertas actuales que existen. Sobre esta base se establecerán los objetivos generales que se pretenden alcanzar con la recuperación de los terrenos, los medios e infraestructura necesaria y un presupuesto global.

En estos objetivos deben tenerse en cuenta las variaciones estacionales, ya que inciden sobre las pautas de comportamiento de los usuarios. Por ejemplo, en verano podrán contemplarse actividades de acampada, baño, pesca, deportes náuticos, observación de la naturaleza, etc., mientras que en invierno pueden predominar otras similares o distintas, motocross, excursiones con vehículos todo terreno, pesca, etc.

### 4.2. Planificación

Durante la etapa de planificación es necesario determinar las zonas específicas y localización de medios necesarios para cada uso recreativo previsto. Lógicamente habrá que relacionar cada uno de esos usos con los demás, en términos de espacio, localización, temporada de uso y tipo de actividades. Estos usos se indicarán en planos en los que se habrá realizado una zonificación o reflejado el plan director, Fig. 12.1. En estos documentos se identificarán además zonas ambientalmente sensibles o vulnerables frente a la erosión o a otras alteraciones antropogénicas, comunidades de vegetación, depósitos y cursos de agua. Dentro del proceso de planificación deben tenerse en cuenta las disposiciones existentes en materia de ordenación del territorio.

### 4.3. Diseño conceptual

El diseño conceptual es similar al plan director, pero proporciona más detalles sobre los tipos de medios previstos para cada uso recreativo. El diseño conceptual ilustra los diferentes tipos de usos, y refleja las dimensiones generales y las relaciones existentes entre los medios e infraestructura a construir, Fig. 12.2.

Los planes con el diseño conceptual recogerán suficientes detalles para permitir el desarrollo posterior de los trabajos y los permisos oficiales oportunos. En los proyectos de envergadura, como por ejemplo la construcción de un campo de golf, suele ser preciso realizar

## TECNICAS DE RESTAURACION

### Nivelado y modelado de formas

Para acondicionar los terrenos para un uso final revo, frecuentemente es necesario proceder a la ni-  
ción y creación de formas en las superficies afecta-  
por las graveras, con vistas a:

proporcionar zonas planas para desarrollar campos  
de deporte.

construir carreteras y caminos para vehículos, así  
como vías peatonales.

resolver problemas de drenaje superficial o áreas  
expuestas al viento.

Crear formas especiales, tales como depresiones  
para lagunas o lomas redondeadas, etc., que au-  
menten el atractivo del área

Las formas del terreno que suelen estar recomenda-  
para usos recreativos se crean realizando excava-  
es, desmontes y terraplenes o rellenos con mate-  
riales estériles de la propia operación o del exterior.

Debido al posible asentamiento de los terrenos es  
importante proceder a una compactación del subsuelo  
antes de construir cualquier campo de deportes o insta-  
ción. Esa compactación se hará extensiva a las zonas  
adyacentes.

Las islas y porciones de material no minable, que  
económicamente no compensa mover, pueden ser in-  
corporadas al diseño del área. Tales elementos pueden  
servir para segregar o definir diferentes zonas de uso,  
como elementos de canalización cuando el proyec-  
to contemple la circulación peatonal a través del área.  
En el caso de las graveras húmedas, el tipo de re-  
delado necesario varía en función del uso recreativo  
proyectado. Las zonas de baño requieren orillas tendi-  
das hasta una distancia determinada. Si se piensa de-  
dicar la laguna a pesca, será necesario modelar el fon-  
do de la laguna de manera que la profundidad varíe por  
zonas, se creen zonas de refugio, etc.

La longitud y la forma de la línea de costa es muy im-  
portante si se va a permitir la navegación a motor. Las  
islas generadas por el paso de las embarcaciones ero-  
nan las orillas si éstas son demasiado abruptas. Es  
necesario, entonces, tenderlas al máximo posible o  
protegerlas de los embates de las olas, mediante enca-  
dos, escolleras, la implantación de vegetación pro-  
tectora o la instalación de barras de arena que amorti-  
en el impacto.

### 2. Drenaje

Durante la explotación de los materiales granulares  
se suelen crear depresiones, que posteriormente pue-  
den recoger las aguas de lluvia y de escorrentía de una  
determinada área dando lugar a lagunas, charcas o zo-  
nas embarradas. Por este motivo, si las actividades re-  
creativas previstas se deben realizar sobre terrenos se-  
cos se deberán efectuar las adecuadas obras de dre-  
naje.

### 5.3. Creación de depósitos de agua

En el caso contrario, de haberse proyectado acumu-  
laciones de agua, todas las obras irán encaminadas a  
dirigir ese fluido hacia tales depósitos. En muchos ca-  
sos el nivel se mantendrá gracias al aporte de las  
aguas subterráneas, pero puede darse la circunstancia  
de tener que mantenerlo en épocas de estiaje median-  
te aportación externa. El agua podrá conseguirse de  
pozos subterráneos o cursos de agua próximos.

Como se ha expuesto en otros capítulos, es muy im-  
portante configurar las orillas con unas formas y perfiles  
adecuados, así como proceder a su protección para  
evitar su erosión por el oleaje que provoca el viento o  
las embarcaciones de recreo.

### 5.4. Protección de las orillas

Uno de los procedimientos más conocidos de protec-  
ción de orillas o márgenes de ríos o canales consiste en  
la construcción de empalizadas de madera. Estas pue-  
den tener diferentes diseños, pero el más común es el  
representado en la Fig. 12.4, consistente en clavar en  
el terreno, aproximadamente cada 2 m, unos postes  
maestros cuyos extremos inferiores se biselan y se pro-  
tegen con una chapa metálica para que la penetración  
en el fondo resulte más sencilla. Las dimensiones de  
estos postes suelen ser de 100 x 100 mm. El cierre se  
efectúa con tablones que pueden tener diferentes ta-  
maños, por ejemplo, 200 x 50 mm, que quedan sujetos  
al clavarse ligeramente en el fondo y quedar retenidos  
por las vigas transversales colocadas entre postes.

Con el fin de contrarrestar el empuje del terreno, y  
evitar así que tales protecciones se inclinen, es fre-  
cuente colocar unos anclajes formados por unos redon-  
dos de acero. En los extremos interiores se pueden co-  
locar unas placas o bloques de hormigón "durmientes"

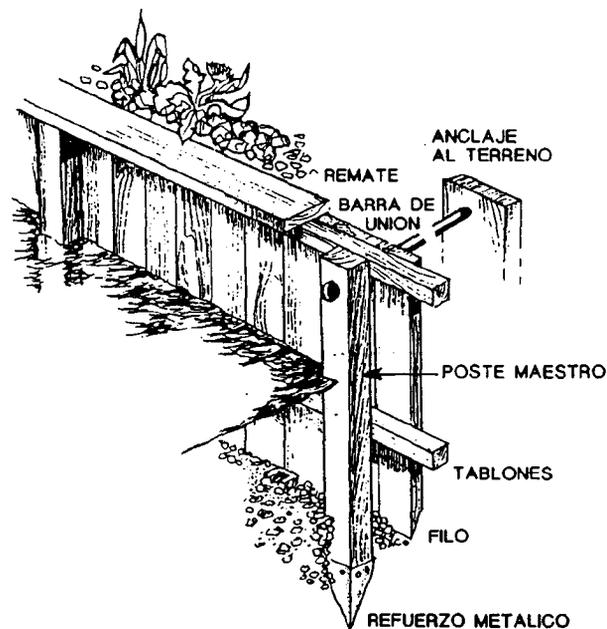


Figura 12.4. Construcción de una empalizada de madera.

Algunas dimensiones de interés para efectuar un diseño adecuado de zonas de recreo en las que se realizarán diferentes actividades deportivas se recogen en la Tabla 12.6.

TABLA 12.6. DIMENSIONES ESTANDAR DE CAMPOS DE DEPORTES

DEPORTE	DIMENSIONES (m)
Badminton	3,4 x 6,10
Baloncesto	24 (28) x 13 (15)
Balonmano	40 x 20
Béisbol	r= 94,50 (cuarto de círculo)
Fútbol	Según niveles (*)
Frontón	Según modalidades (**)
Fútbol sala	40 x 20
Hockey hierba	91,4 x 55
Hockey sobre patines	40 (34) x 20 (17)
Petanca	13 x 3
Rugby	141 x 75
Tenis	23,77 x 8,23
Voleibol	18 x 9

(\*) Fútbol.

NIVELES DE COMPETICION	DIMENSIONES TOTALES (m)
Juveniles	95 x 63
Aficionados, regionales	105 x 63
Segunda división	106 x 67
Competiciones 1ª división e internacional	113 x 73

(\*\*) Frontón.

MODALIDAD	LONGITUD (m)		ANCHURA (m)		ALTURA (m)	
	MAXIMO	MINIMO	MAXIMO	MINIMO	MAXIMO	MINIMO
Cesta punta Pala larga	—	50	11	9,5	11	10
Pala corta	40	30	10	8	10	8

#### 4.4. Diseño detallado

El diseño detallado es la etapa final del proceso proyectual, e incluye la preparación de todos los planos constructivos y especificaciones que se requieren para contratar los trabajos o ejecutar la obra. En los docu-

mentos elaborados se reflejarán todos los aspectos cualitativos y cuantitativos del proyecto:

- Diseño geométrico final del terreno.
- Localización de instalaciones.
- Accesos y aparcamientos.
- Plan de ejecución y construcción.
- Paisaje.
- Operaciones de mantenimiento y conservación.

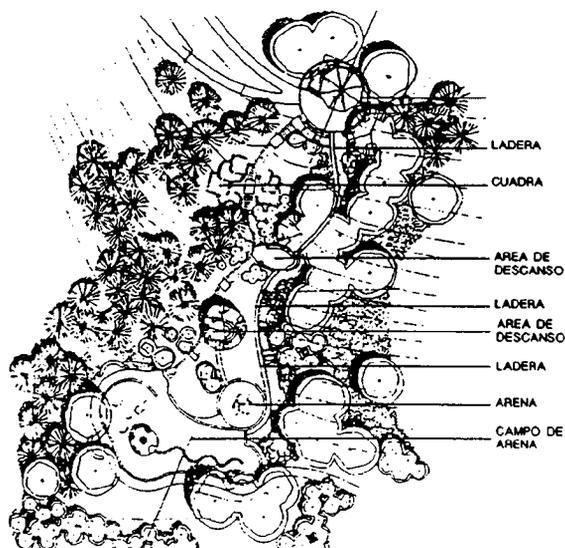


Figura 12.3. Ejemplo de diseño detallado de un área recuperada con fines recreativos.

En lo referente al momento de proceder a la restauración de una gravera, se ha visto con diversas experiencias que resulta notablemente ventajoso realizar ésta simultáneamente con la explotación. La recuperación progresiva se convierte en un proceso por el cual las actividades que comprende constituyen una parte integral más de las labores mineras. Es una forma muy lógica de aproximar la minería y el uso final de los terrenos.

Aparte de las ventajas de tipo económico en que se puede traducir tal simultaneidad, se minimizan ciertos riesgos de accidentes, se permite una más fácil circulación de vehículos, se garantiza que el terreno se conforme de acuerdo con el plan previsto y se adelanta la fecha de utilización de parte de los terrenos recuperados.

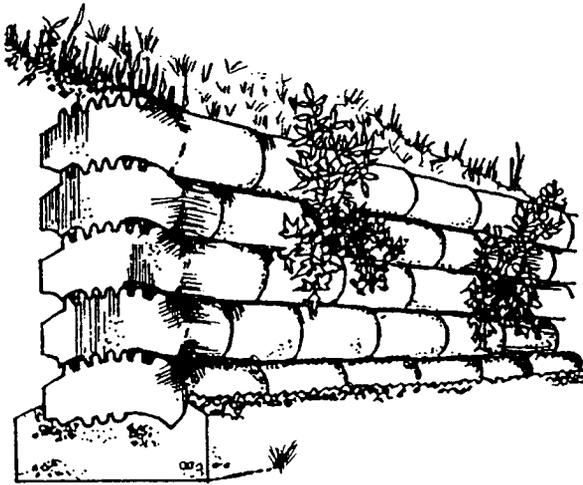


Figura 12.8. Sistema de protección con bloques "puescoespín".

llenándolos a mano o con medios mecánicos con grava o piedras de una granulometría entre 120 y 200 mm.

Un método moderno de revestimiento es a base de geotextiles o geomallas que se comercializan en diferentes tipos. Uno especial es el conocido por "Enkamat", que consiste en una manta delgada de hilo de nylon de alta tenacidad entrelazado, que deja un espacio libre entre hilos de más del 90% de la masa total. Estos materiales permiten la germinación de las semillas y el desarrollo de las plantas, de manera que las raíces de estas protegen las capas de suelo situadas bajo las geomallas. En ocasiones la parte que va a quedar permanentemente inundada se rellena de asfalto con el fin de reducir su permeabilidad. Fig. 12.9.



Figura 12.9. Geomalla de protección.

Los últimos geotextiles desarrollados para revestimientos verticales son los que se fabrican con un doble entretrejo de hilos resistentes a las radiaciones ultravioletas y con mangas dispuestas a intervalos regulares a través de las que se colocan estacas. También se fabrica el denominado "Nicolon", que posee unos bolsillos de manera que en los interiores puede colocarse grava o escombros y en los superiores suelo para facilitar el crecimiento de las plantas, Fig. 12.10.



Figura 12.10. Lámina geotextil tipo "Nicolon".

## 5.5. Plantación de árboles, arbustos y creación de césped

Si se ha eliminado total o parcialmente la vegetación original en los terrenos de la gravera, que es lo más normal, se deberá proceder, tan pronto como sea posible, a implantar una cubierta vegetal con el fin de reducir la erosión, controlar el polvo y mejorar la calidad de los suelos. A corto plazo puede efectuarse una siembra de gramíneas y leguminosas que permitan controlar la erosión y reducir los impactos sobre zonas adyacentes, para pasar más adelante a elegir el tipo de especies más adecuado a los usos recreativos previstos.

En zonas donde se vayan a realizar actividades como son juegos infantiles o lugares para almorzar o merendar se elegirán especies herbáceas resistentes al pisoteo. En áreas orientadas hacia un uso recreativo pasivo se podrán implantar, además, árboles o arbustos.

En determinados lugares podrán haberse respetado pequeños bosquetes, que posteriormente se complementarán con árboles trasplantados creando las masas arbóreas previstas en el proyecto.

En cualquiera de las alternativas elegidas como uso recreativo siempre es necesario plantar árboles y arbustos para:

- Separar áreas con diferentes actividades recreativas, por ejemplo, campos de juego de lugares de acampada.
- Delimitar áreas específicas, tales como lugares de almuerzo o de acampada.
- Crear pantallas naturales para ocultar ciertas zonas o instalaciones.
- Mejorar la calidad escénica o paisajística del lugar, etcétera.

## 5.6. Instalaciones y medios

Dependiendo del tipo de actividades recreativas que se hayan elegido, y del número y clase de usuarios, se necesitarán diferentes instalaciones y medios básicos, como son: baños, vestuarios, agua potable, aparcamientos, embarcaderos, refugios, etc.

Además será necesario disponer de un conjunto de elementos o enseres, entre los que cabe destacar los siguientes: mesas y bancos, cubos de basuras, fuentes, etcétera. Algunos de estos parques deberán disponer de un cerramiento exterior para controlar el acceso a las instalaciones, así como diversas señales y carteles informativos, Tabla 12.7.

que quedan enterrados en el terreno actuando de elementos de fijación, mientras que los extremos exteriores atraviesan las vigas transversales y los postes maestros, permitiendo darles tensión mediante un sistema de rosca y tuerca, Fig. 12.5.

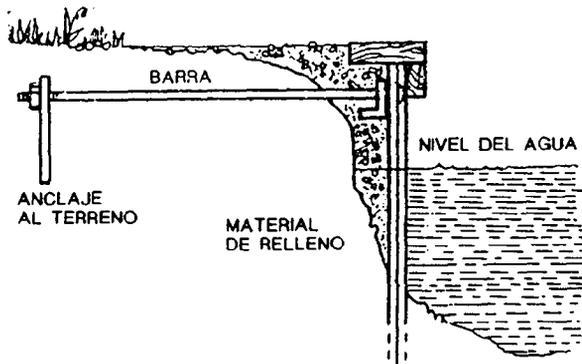


Figura 12.5. Sección típica de un anclaje de empalizada.

En ocasiones los tablonces se colocan horizontalmente, siempre que el sistema de protección no tenga que soportar grandes empujes o tener una gran resistencia. Es el diseño más simple de montaje. Las maderas que se utilizan en estas protecciones deben ser previamente tratadas con productos químicos preservativos.

Otro procedimiento que se ha empleado ha consistido en sacos rellenos de hormigón, Fig. 12.6. Una vez fraguado este material, se dispone de bloques que se van colocando en filas sucesivas recubriendo los taludes y con una ligera inclinación desde el fondo hacia la superficie. Generalmente no se facilita el crecimiento de la vegetación y, además, a través de los huecos que quedan entre los bloques se puede producir una migración hacia el agua de las partículas finas de los suelos que afecte a largo plazo a la estabilidad de su estructura. Por este motivo se recomienda colocar detrás del muro de bloques una lámina geotextil, por ejemplo "Ty-par" o "Terram".



Figura 12.6. Revestimiento de un talud con sacos de hormigón.

Recientemente se han empezado a utilizar bloques prefabricados de hormigón con diferentes diseños y tamaños, Fig. 12.7. Algunos de estos elementos poseen un diseño en forma de rejilla o entramado que permite en los huecos el crecimiento de arbustos y plantas, así como árboles. Algunos de estos bloques, que se ajustan o entrelazan ingeniosamente entre sí, pueden llegar a hacer frente a corrientes de agua de hasta 3 m/s en taludes de 2:3 e incluso menores. Estos sistemas, al cabo de un tiempo, quedan bien integrados al cubrirlos casi totalmente la vegetación.

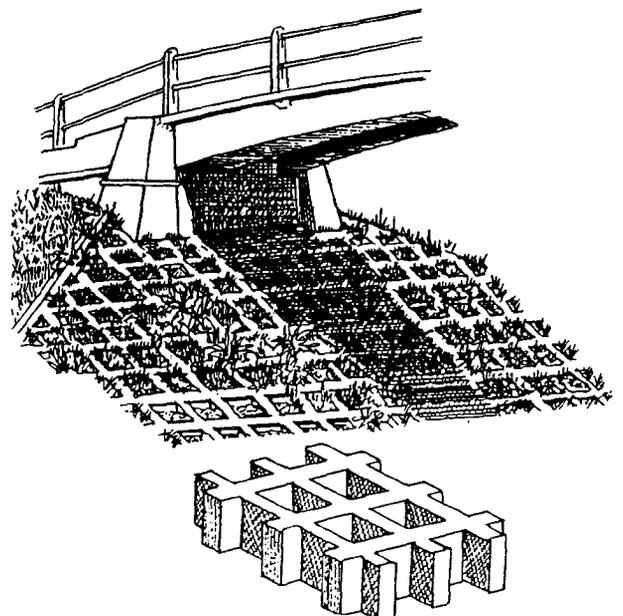


Figura 12.7. Talud protegido con bloques prefabricados de hormigón a modo de entramado.

Otro diseño original es el denominado como bloques "puercospín" que disponen de una sección curvada con resaltes longitudinales en la superficie inferior y en la superior, Fig. 12.8. Mediante estos resaltes se consigue la estabilidad y resistencia adecuadas sin necesidad de emplear mortero. Los inferiores quedan apoyados directamente sobre el lecho de arenas y gravas y los sucesivos se van colocando con diferentes ángulos y posiciones, consiguiéndose el talud deseado y trazados en curva, además de dejar huecos para el crecimiento de la vegetación entre ellos.

Pero el revestimiento de protección por excelencia es el construido por gabiones. Estos gabiones son contenedores paralelepípedicos hechos de tela metálica de acero resistente. Muchos de estos gabiones se comercializan con tamaños de 1 a 4 m de longitud por 1 m de profundidad y 1 m de ancho. También se fabrican unidades de 6 m de largo y 2 m de ancho, que son los denominados "gabiones maestros". En el interior se suelen dividir en compartimientos de 1 m.

Normalmente el acero de los alambres suele ser galvanizado, pero también se han utilizado en casos especiales para alcanzar una alta duración o en aguas muy contaminadas recubiertos de PVC. Cada gabion generalmente se abre y se monta en el lugar de la obra, re-

SEPARACION DE LAS TUBERIAS DE DRENAJE (m)

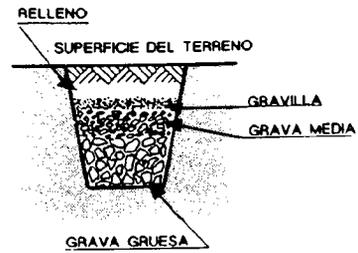
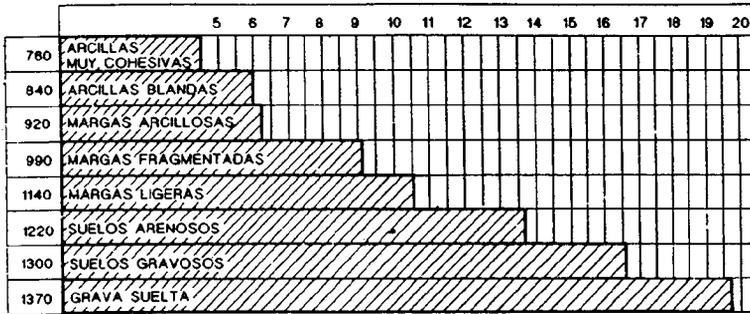


Figura 12.11. Zanjas de drenaje y separación entre tuberías en función de la textura del suelo.

cies que formen un césped denso y resistente, y no es tan sensible a las irregularidades del terreno.

**Accesos, aparcamientos, etc.** Este tipo de uso atrae numeroso tráfico rodado y peatonal. Deberán preverse accesos adecuados y zonas de aparcamiento, y un sistema de caminos que conduzcan hacia las instalaciones deportivas.

## 2. Golf

Las graveras son sitios de excepción para construir campos de golf. En ellas es posible combinar lomas y valliculos, con depresiones arenosas y zonas de agua, de forma que se creen recorridos variados e interesantes.

El punto más crítico de este tipo de restauración es el drenaje.

Los "bunkers" de arena pueden crear problemas si son excesivamente profundos y su fondo llega a contactar con el material de relleno del hueco, en el caso que éste haya sido relleno. En los alrededores de estas zonas se debe disponer de una profundidad suficiente de suelo para permitir que exista un buen drenaje de la escorrentía hacia el fondo del "bunker".

Algunos elementos de diseño que deberían ser considerados son:

**Paisaje.** Se deberá tratar de conseguir un entorno variado y atractivo, mediante la inclusión de diferen-

tes elementos morfológicos, zonas de agua y combinaciones diversas de vegetación.

— **Suelos.** No es necesario utilizar suelos de calidad excepcional. Generalmente se utilizan suelos ligeramente ácidos y de textura fina.

— **Césped.** En los "green" es esencial utilizar una mezcla adecuada de especies que proporcionen un césped denso y de textura fina. Generalmente se utilizan mezclas estándar especialmente diseñadas para este fin.

En el resto del campo, no existen excesivas restricciones en este aspecto.

Un problema que puede presentarse en muchas zonas es la escasez de agua para riego, ya que este deporte requiere un mantenimiento constante que asegure el buen estado del campo durante todo el año.

## 6.3. Actividades recreativas basadas en el agua

El agua es quizá el elemento con mayor capacidad de atracción en cualquier lugar y, en especial, en áreas urbanas y periurbanas. El aprovechamiento recreativo de las lagunas residuales de las graveras presenta muchas posibilidades, aunque es necesario ordenar cuidadosamente las actividades que en ellas se van a desarrollar para evitar interferencias e incompatibilidades, Tabla 12.8, y también adecuar el área a las necesida-

TABLA 12.8. COMPATIBILIDADES ENTRE DISTINTAS ACTIVIDADES ACUATICAS

	Pesca	Natación	Buceo	Piragüismo	Remo	Vela	Esquí acuático	Botes con motor	Navegación en embarcaciones mayores
Pesca		X	X	PZ	PZ	PZ	X	X	PZ
Natación	X				Z	Z	Z		Z
Buceo	X				PZ	PZ	PZ	PZ	Z
Piragüismo	PZ				PZ	PZ	PZ	PZ	
Remo	PZ	Z	PZ	PZ		PZ	P	P	PZ
Vela	PZ	Z	PZ	PZ	PZ		PZ	PZ	Z
Esquí acuático	X	Z	PZ	PZ	P	PZ		PZ	N/A
Botes con motor	X		PZ	PZ	P	PZ	PZ		N/A
Navegación en embarcaciones mayores	PZ	Z	Z		PZ	Z	N/A	N/A	

X: incompatible; P: programado; Z: zonificado; N/A: no aplicable.

TABLA 12.7. EDIFICACIONES, SERVICIOS Y MOBILIARIO

ACTIVIDAD	EDIFICACIONES E INFRAESTRUCTURA	SERVICIOS	MOBILIARIO
Campings	Recepción Bar Sala de primeros auxilios, restaurante, etc. (según categoría) Aparcamiento	Duchas 1/30-60 camp. Lavabos 1/20-50 camp. Evacuatorios 1/20-40 camp. Fregaderos 1/60 camp. Basureros 1/40-50 camp. Agua potable Luz eléctrica	Cubos de basura Papeleras Mesas y bancos Juegos infantiles, etc.
Picnic Recreo informal	Quioscos Aparcamiento	Fuentes de agua potable Servicios higiénicos	Cocina-barbacoa Mesas y bancos Papeleras, cubos de basura
Senderismo  Contemplación de la naturaleza	Caminos Aparcamiento		Paneles informativos Casetas de observación Equipamientos educativos Papeleras y cubos de basura
Pesca	Red de caminos Aparcamiento		Puestos de pesca Equipamiento de picnic
Baño  Natación	Aparcamiento	Duchas Vestuarios Agua potable Servicios higiénicos	Zona de juegos Mobiliario de picnic
Deportes náuticos	Aparcamiento de coches Aparcamiento de veleros Rampa de botadura Puntos de amarre Cobertizos de almacenaje	Fuentes de agua potable Servicios higiénicos	Mobiliario de picnic Juegos infantiles Pantalanes flotantes Paneles informativos

## 6. MEDIDAS DE RESTAURACION PARA DIVERSOS USOS

En este epígrafe se describen los requerimientos de algunos usos recreativos que es posible desarrollar en las graveras, y la problemática que puede generarse una vez que se ha restaurado físicamente el área.

### 6.1. Campos de deporte

Los campos de deporte requieren un alto estándar de restauración. Algunos de sus requerimientos específicos son los siguientes:

- **Relleno.** Si se trata de una gravera rellena con residuos sólidos urbanos y posteriormente restaurada para deporte, no deberá existir riesgo de intrusión superficial del material de relleno para asegurar la salubridad del área y evitar riesgos de toxicidad. El relleno deberá estar bien asentado y con un riesgo mínimo de asentamiento, y tener un buen drenaje en toda su superficie y a lo largo de todo el perfil.
- **Suelos.** Son preferibles los suelos franco-arenosos o arenosos-francos. Para evitar problemas de en-

charcamiento durante el invierno y la primavera, cuando la superficie del terreno está muy compactada por ser utilizada en condiciones de humedad, es preferible aportar suelos de textura gruesa para facilitar la percolación del agua en profundidad hacia los tubos de drenaje.

Se aconseja aportar un espesor de suelo de al menos 0,45 m, combinando suelo vegetal y cobertera o suelos de préstamo de calidad inferior.

- **Drenaje.** Las pendientes deben ser lo suficientemente pronunciadas para facilitar el drenaje del área, pero no tanto que impidan el desarrollo de los deportes previstos.

El espaciado entre tuberías de drenaje deberá ser mayor que en el caso de un uso agrícola, y puede ser necesario además implementar el sistema mediante zanjas de drenaje rellenas de grava, Fig. 12.11.

- **Césped.** Las mezclas de semillas para la siembra varían en función de los requerimientos particulares de cada deporte, de si se practica en invierno o en verano, del estándar de juego, si se prevé un uso intensivo o no, etc.

Por ejemplo, el jockey sobre hierba necesita una superficie de césped de textura muy fina y sin irregularidades. El fútbol, por el contrario, necesita espe-

TABLA 12.9. CRITERIOS DE DISEÑO DE ACTIVIDADES RECREATIVAS ACUATICAS  
(INSTITUT D'AMANAGEMENT ET D'URBANISME DE LA REGION PARISIENNE, 1968)

ACTIVIDAD	SUPERFICIE MINIMA AGUA	UNIDAD DE EXPLOTACION	CAPACIDAD	ADECUACION AGUA	ADECUACION MARGEN	PLAZAS DE APARCAMIENTO (30 m <sup>2</sup> /coche)
PESCA	0,5-2 ha	—	1 punt. pesca/10 m 1 pescador/5 m	—	Punto de pesca: 3 x 4 m, 5 x 10 m	1 por cada 30 m de orilla.
BAÑO	50 a 75 m de longitud		1.000 personas/ha de playa	5 m <sup>2</sup> /bañista	Playa longitud máxima 500 m	1 por cada 3,5 personas
BARCO (remo)	Longitud 250-700-1000	25-50-100 barcos	—	500 m <sup>2</sup>	100 m <sup>2</sup>	30 a 100 plazas
PATIN	Idem	15-30	—			
PIRAGÜISMO	Longitud 300-500-1000 m	—	—	500 m <sup>2</sup>	300 m <sup>2</sup>	10 plazas
REMO DEPORTIVO	2.220 x 1.000 m 130 m x 2	—	—	—	Llegada: 20.000 m <sup>2</sup> Salida : 5.000 m <sup>2</sup>	5.000 m <sup>2</sup>
VELA DEPORTIVA	Triángulo máx.	200 veleros	3 veleros/ha	50 m <sup>2</sup> /velero	30 m <sup>2</sup> /velero	1 por cada 2 veleros
ESQUI NAUTICO	1.700-200 x 80-100 x 1.50 m	—	1 esquiador/100 m de circuito	50 m <sup>2</sup> por fuera borda. calle de salida y llegada 30 m separadas por 60 m.	10 m <sup>2</sup> /fuera borda	1 por cada 2 fuera borda

des y requerimientos de cada una de las distintas actividades, Tabla 12.9.

## PESCA

La pesca es una actividad recreativa de tipo estacional y, quizás, la más popular entre las ligadas al agua.

No obstante, esta actividad es frecuentemente incompatible con un uso múltiple de las lagunas residuales de las graveras, por lo que es preciso realizar una zonificación previa, limitando, por ejemplo, su práctica a una orilla o a una zona, no mayor de 1/3 de la superficie total, y que sea la menos apta para el desarrollo de otras actividades acuáticas.

El equipamiento necesario para la práctica de la pesca es mínimo. Consiste básicamente en una red de senderos que unan los puntos de pesca.

Se requiere una gran longitud de orilla respecto de la superficie de agua.

La distancia media aconsejada entre puestos de pesca es de 10 m. En aquellas zonas donde exista un arbolado denso hasta el borde del agua, los puestos pueden disponerse en pequeñas plataformas de madera elevadas sobre el agua mediante estacas a un máximo de 30 cm por encima del nivel superior del agua, Fig. 12.12. En las áreas que previsiblemente vayan a tener un alto nivel de uso, será necesario reforzar las orillas para evitar hundimientos.

Los espacios entre puestos, y en general toda la orilla, deberán revegetarse adecuadamente, con árboles y arbustos para aumentar el atractivo de la zona, pero sin que la vegetación sea tan densa que impida el acceso a la orilla o dificulte la actividad. Los árboles de sombra están específicamente recomendados.

Conviene también, aislar los puestos de pesca contiguos mediante barreras visuales de vegetación.

La profundidad del agua es importante. Es conveniente combinar zonas poco profundas, adecuadas para la freza y el desarrollo de los alevines, con otras más profundas, más aptas para los ejemplares adultos.

De este manera, se canaliza a la mayoría de los usuarios por zonas preparadas para soportar el pisoteo, preservando el resto de la restauración.

## VELA Y TABLA A VELA

En el caso de la vela, como media se necesitan 0,5 ha por embarcación. Si va a predominar el aprendizaje o las embarcaciones grandes se necesitará más de 1 ha por embarcación. Para pequeños barcos es suficiente con 0,2 ha/embarcación. Para la tabla a vela no hay requerimientos estándar en cuanto a superficie, y la única limitación impuesta por este parámetro está en que determina el número máximo de usuarios del área.

Para el desarrollo de ambas actividades suele ser necesario adecuar zonas para la botadura y amarre de las embarcaciones, Fig. 12.13, disponer de algunos edificios anejos y realizar algunos remodelados específicos.

Para botar las tablas a vela es suficiente con rampas o pequeñas plataformas flotantes. Para los principian-

tes de la tabla es conveniente, además, crear amplias playas abiertas situadas a barlovento de los vientos dominantes.

Las embarcaciones a vela requieren orillas escalonadas, preferiblemente más escarpadas que 1:8, y embarcaderos si la orilla tiene un ángulo normal de reposo. Para la botadura de veleros pequeños lo más utilizado son las rampas de hormigón. La rampa debe tener al menos una anchura de 4 m descendiendo por debajo del nivel mínimo de las aguas, Fig. 12.14. La pendiente oscilará entre el 8 y 10% si la botadura es manual y podrá llegar hasta el 12-15% si ésta se realiza con el remolque de un coche.

El número de rampas de botadura debe calcularse suponiendo un servicio de 40 a 60 botes por rampa.

Para las grandes embarcaciones, por encima de los 18 m de eslora, son necesarios puntos de amarre especiales. Como normas generales para el diseño de estos puntos de amarre podemos indicar que su orientación debe ser perpendicular a los vientos dominantes, la capacidad del muelle de amarre se estimará en función de una longitud media de 3,5 m por cada barco amarrado, mientras que la distancia entre los ejes de dos muelles será de 4 a 4,5 veces la longitud de los barcos. En el caso de variaciones considerables en el nivel del agua, el amarre deberá realizarse a un pantalán flotante colocado en la zona más profunda.

Para facilitar el mantenimiento y el almacenaje durante el invierno es preciso disponer de algún tipo de dispositivo mecánico —tipo grúa— para sacar los barcos del agua.

Fuera de las zonas de orilla, la profundidad del agua deberá ser, como mínimo, de 1,5 a 2 m y la lámina de agua debe mantenerse libre de vegetación acuática.

Son preferibles las lagunas grandes, con una lámina de agua continua, de forma redondeada y bien orientadas respecto de los vientos dominantes. La distancia mínima requerida entre la orilla y cualquier isla o zona de baño es de 45 m.

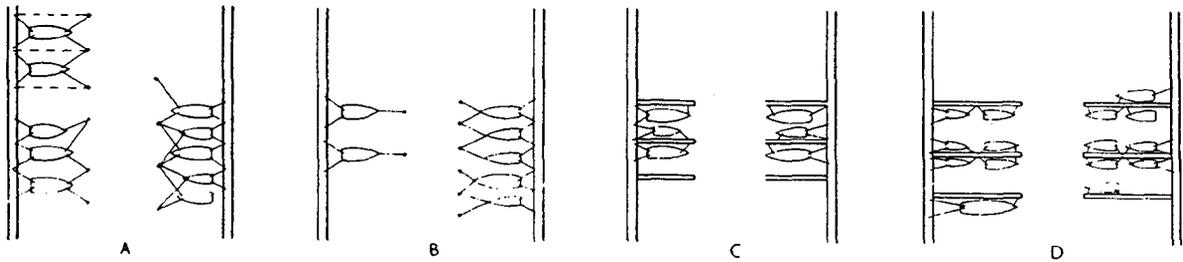
## NAVEGACION DE RECREO

Se incluye dentro de este tipo de navegación el piragüismo, los pequeños botes de remo y los patines. Su utilización está ligada a zonas de baño o picnic, en las que se incorporará una zona de playa para la botadura y atraque de los patines o un muelle para los barcos de remo.

El piragüismo, generalmente, está asociado a los ríos, aunque hay varias especialidades de competición que se realizan en aguas embalsadas (K-1, K-2, K-4, remo canadiense, etc.). Las lagunas residuales de las graveras pueden ser muy adecuadas para la práctica de estas especialidades.

El remo deportivo en barcas o traineras rara vez se practica en aguas embalsadas, aunque el alquiler de este tipo de embarcaciones para paseo tiene gran aceptación y puede ser una opción recreativa muy interesante en las graveras húmedas.

Estas dos actividades no tienen unos requerimientos específicos en cuanto a pendiente de las orillas, superficie de agua o profundidad, como ocurre en la vela. Só-

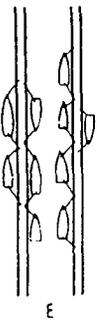


A  
POPA AL MUELLE;  
PROA A PILOTES

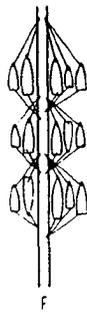
B  
POPA AL MUELLE;  
PROA A BOYAS O ANCLAS

C  
DE COSTADO A  
EMBARCADEROS,  
PASARELAS O PANTALANES

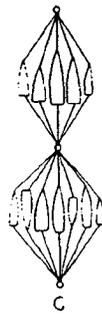
D  
IGUAL PERO MAS  
DE UN BARCO A  
CADA LADO



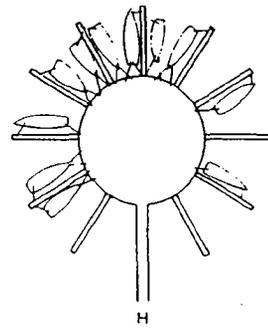
E  
DE COSTADO A LO LARGO  
DE MUELLES O PONTONES  
(1 FILA)



F  
IGUAL (VARIAS FILAS)



G  
AMARRE A PILOTES



H  
ATRACADERO RADIAL

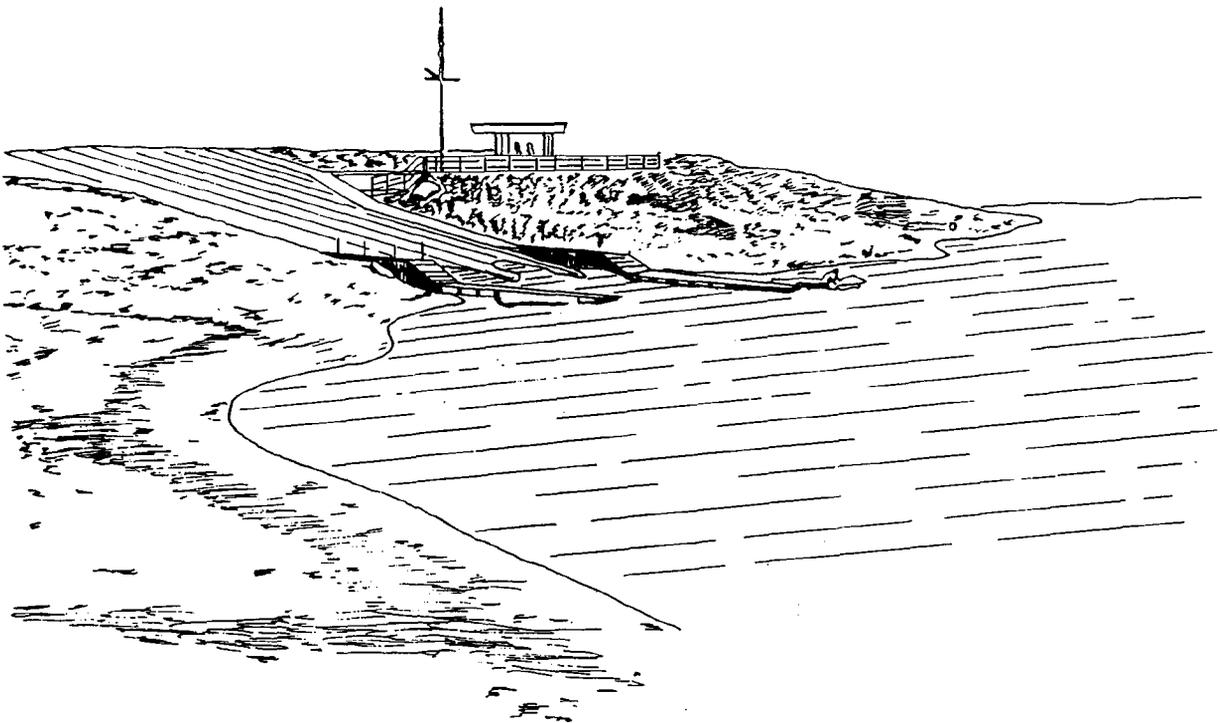
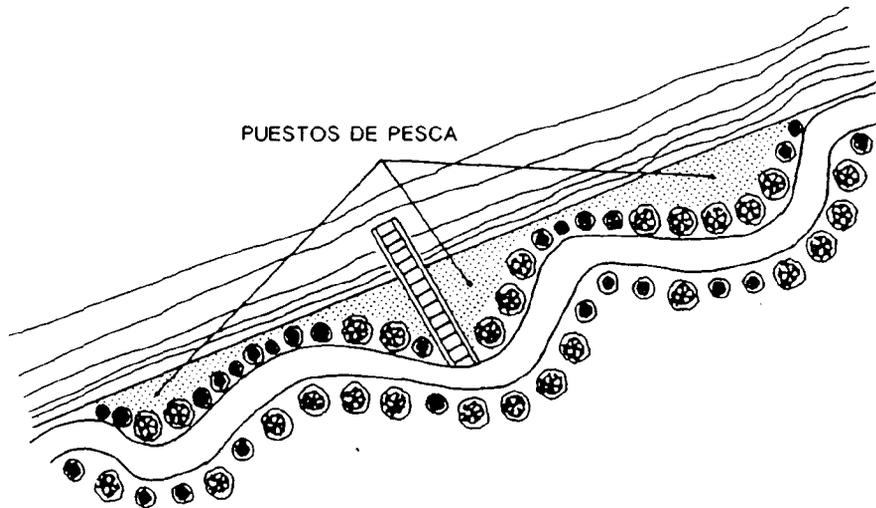
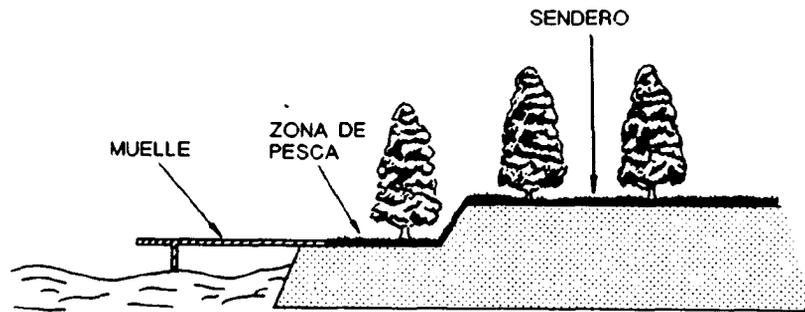


Figura 12.14. Rampas para la botadura de veleros.



MUELLE DE PESCA

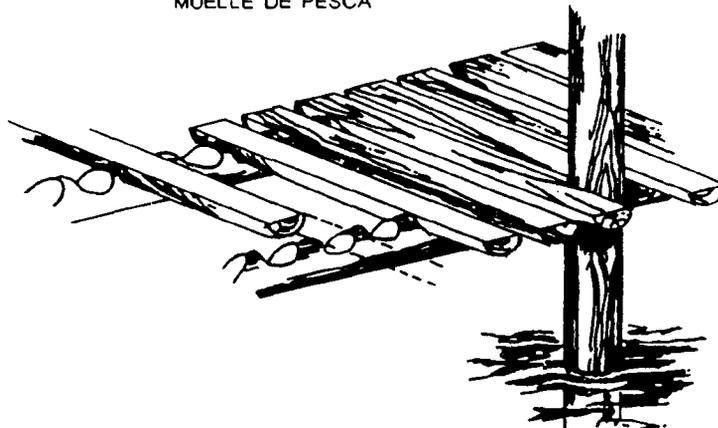


Figura 12.12. *Diseño de puestos de pesca.*

**Arboles y arbustos:** Las especies utilizadas deben ser adecuadas al entorno paisajístico de la gravera y a las condiciones ambientales de la zona (temperatura, precipitación, etc.).

Pueden utilizarse con fines de diseño muy diverso: para aumentar el atractivo visual del área, para separar zonas con distinto uso, como barreras disuasorias para impedir el paso a zonas de acceso restringido, en alineación bordeando sendas y caminos o para dirigir a los visitantes hacia puntos determinados, Figs. 12.16 y 12.17.

**Observación de las aves y aulas de la naturaleza**

Es posible combinar en la restauración el uso natural recreativo, programando como una actividad más ocio la observación de aves acuáticas y las rutas de uso que permitan conocer diferentes hábitats natura-

si el uso principal proyectado es la conservación, la zación recreativa de la zona deberá estar muy conada y existir una buena planificación del nivel de ac- de los visitantes, para que éstos puedan disfrutar máximo de la naturaleza sin perturbar a los animales instalados, ni dañar la vegetación.

si el uso principal es el recreo, el rango de especies resistan vivir allí será menor que en el caso ante- aunque siempre existe un cierto potencial para la servación. Por ejemplo, los árboles y arbustos intro- idos en la revegetación pueden ser especies autóca- as propias de la vegetación climática del área.

En general, los animales tienen un grado de suscep- tividad variable ante las distintas actividades huma- . Por ejemplo, algunas aves acuáticas, como el cis- o el ánade real, soportan grados de perturbación / altos y son capaces de convivir con el hombre. ticularmente tienen esta característica las poblacio- locales. Los grupos de aves migratorias, por el con- o, evitan instalarse en áreas humanizadas.

El ruido y la vista de personas y otras actividades hu- nas alertan a las aves, provocando que reduzcan el po- que dedican en el área a alimentarse, a la cría, ãtera. Si la fuente de sonido es muy cercana o se a de un ruido muy estrepitoso, cesan toda actividad

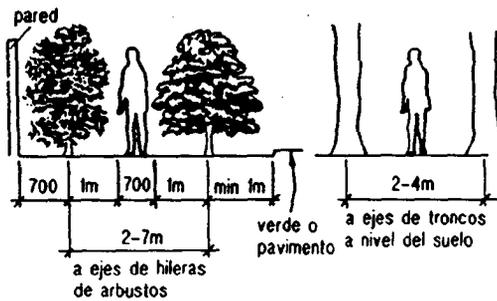
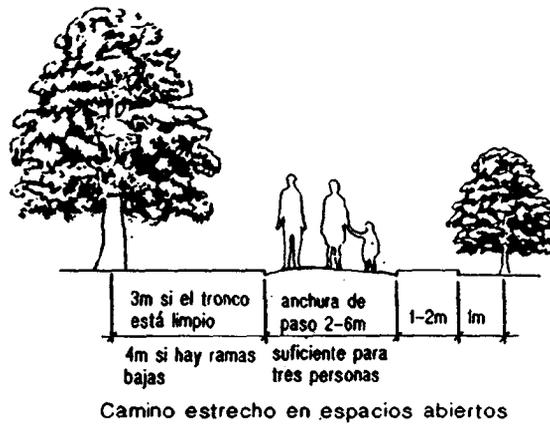


Figura 12.17. Alineaciones para delimitación de caminos peatonales.

y concentran su atención en él, y generalmente acaban por alejarse del área hasta una distancia que consideran segura.

Dependiendo de si perciben amenaza o no, de la cautela de las distintas especies y de la naturaleza y tamaño del área, las aves pueden simplemente alejarse de la fuente de amenaza y refugiarse entre la vegetación, posarse en alguna isla o promontorio desde donde dominan el área, nadar hacia el fondo de la laguna, si ésta es grande, o irse a otra si en la gravera existen varios cuerpos de agua.

Si no encuentran ningún refugio adecuado dentro del área, las aves se alejarán de ella a distancias que pue-

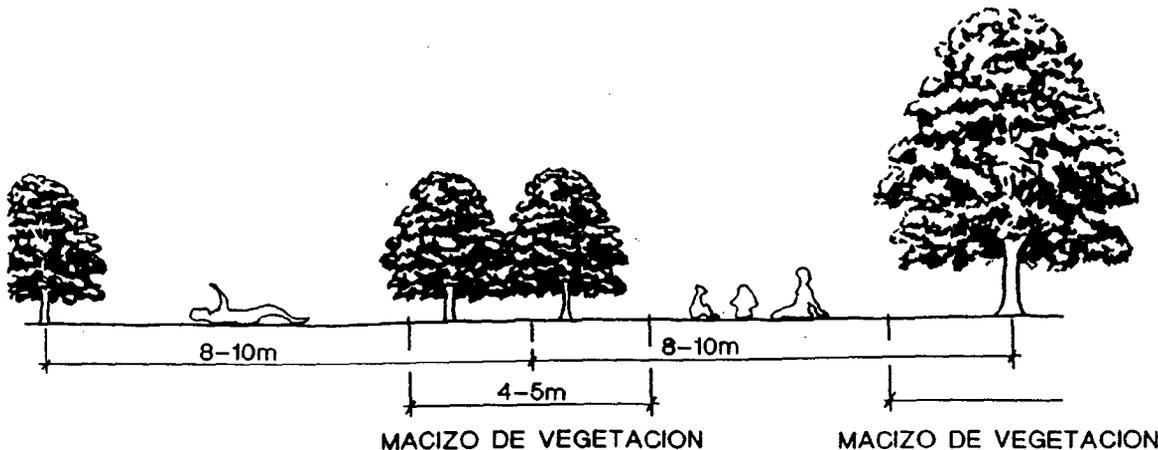


Figura 12.16. Utilización de la vegetación para separación entre grupos de individuos, en zonas de uso intensivo.

lo es necesario disponer de embarcaderos o amarraderos, Fig. 12.15, modelar las orillas para facilitar el acceso al agua y disponer de algunos servicios en la periferia de la laguna, tales como cobertizos para guardar las barcas o caseta para el alquiler de éstas. La superficie mínima establecida para esta actividad es de 100 m<sup>2</sup> de terreno en la orilla, sin incluir el destinado a casetas de venta de boletos, y de al menos 500 m<sup>2</sup> de agua.

- **Relleno:** En caso de que se construya el parque en una gravera que haya sido utilizada como vertedero, y rellena con residuos no inertes o contaminantes, debe minimizarse al máximo el riesgo de que estos materiales puedan aflorar por alguna razón a la superficie. La seguridad del área, tanto en lo que se refiere a riesgos físicos para las personas como a salubridad, deberá ser máxima.

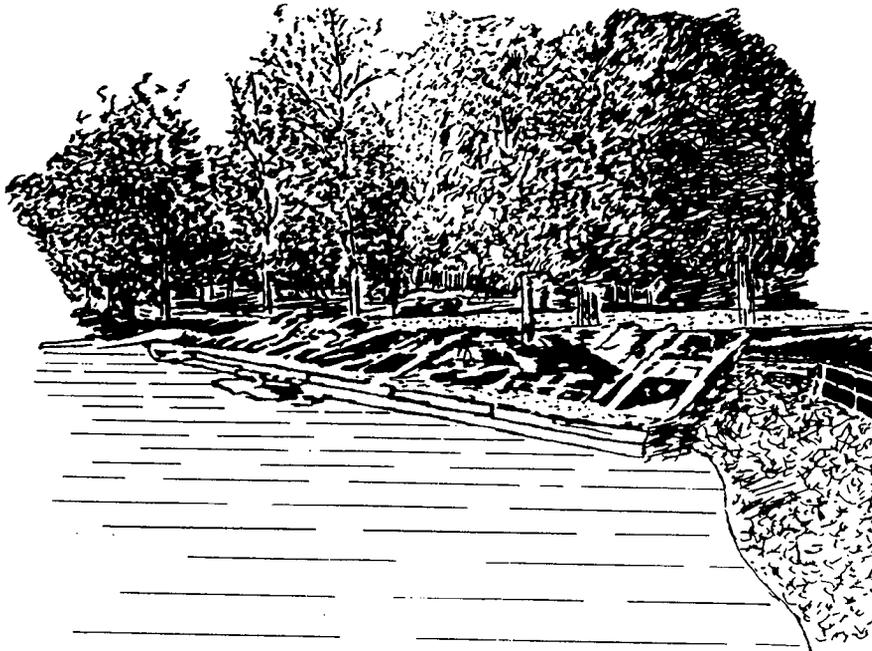


Figura 12.15. Muelle para la botadura de patines de pedales.

#### 6.4. Parques rústicos

Los parques rústicos deben diseñarse de manera que resulten lo más variados y atractivos para los visitantes, combinando de forma armónica bosquetes y alineaciones de árboles y arbustos, zonas de pasto o césped y, si existe posibilidad, zonas de agua.

No es necesario aportar suelos de una fertilidad excepcional, sino que utilizando sustratos de una calidad media es suficiente. El remodelado tampoco tiene por qué ser exhaustivo. Las morfologías variadas con pendientes diversas, montículos y zonas alomadas, junto con depresiones, pueden aumentar el interés y el atractivo del área.

Conviene, como norma general, evitar el asentamiento disperso y sin control de las personas, por los problemas que puedan derivarse de acumulación de basuras, riesgo de incendio, etc. Para ello, pueden habilitarse áreas de picnic, de entre 0,4 y 10 ha, con un entorno visual atractivo, y un sistema de caminos y senderos que canalizan al público por las zonas mejor preparadas para soportar esta presión recreativa.

Es aconsejable, además, preparar una zona de aparcamiento, bien drenada, situada a no más de 100 m de las zonas de estancia y separado de ellas por una barrera visual.

Otros requerimientos específicos para este tipo de restauración son los siguientes:

- **Suelos:** En las zonas revegetadas con especies herbáceas únicamente, es suficiente con el aporte de una capa de suelo de 0,3 m. En las zonas que vayan a ser plantadas, el espesor de suelo aportado deberá ser de entre 0,5 y 1,20 m.
- **Drenaje:** En las zonas dedicadas a paseo o estancia de visitantes deberán disponerse sistemas artificiales de drenaje. Si el aporte de suelo fértil se ha dispuesto sobre materiales impermeables, como arcilla, el sistema de drenaje deberá ser intensivo para evitar encharcamientos.
- **Céspedes y/o herbazales:** La mezcla de especies para la siembra deberá diseñarse en función del uso previsto para la zona a tratar (por ejemplo, en zonas de estancia es conveniente utilizar especies adaptadas al pisoteo). También debería incluirse una proporción adecuada de especies rústicas capaces de vivir en suelos poco fértiles y que necesiten pocos cuidados. El ray-grass (*Lolium perenne*), suele ser una especie básica en este tipo de mezclas. También es conveniente incluir en la mezcla algunas especies que resulten atractivas a los visitantes. Por ejemplo, plantas silvestres con flores vistosas, como malvas, amapolas, margaritas, etc., o plantas aromáticas, como la manzanilla o la menta. Las semillas de este tipo de plantas ya empiezan a ser comercializadas y pueden encontrarse en casas especializadas.

donde sea necesario, y desde los cuales se obtengan buenas vistas de la zona.

Una buena red de caminos debe permitir el acceso a los puntos desde los cuales sea posible observar las zonas donde existan las mayores concentraciones de aves y que muestren a los visitantes la diversidad de hábitats creados, todo ello causando el mínimo daño a las poblaciones de aves y siendo atractivos y fáciles de transitar.

La localización de los caminos dependerá en gran parte de la proporción de áreas secas que existan entre el límite de la zona y la laguna o las lagunas.

Si la excavación llega prácticamente hasta el límite de la zona, puede que sea posible trazar un acceso hasta ella. Si está disponible una zona marginal razonablemente ancha, puede construirse un camino serpenteante, que se aproxime en algunas zonas a las orillas y proporcione buenas vistas de la zona de observación, y que en otras discurra más alejado, manteniendo un tramo de costa sin perturbación, a la vez que muestra hábitats terrestres.

En zonas extensas pueden construirse rutas alternativas, unas más largas y otras más cortas, para cubrir toda la demanda, Fig. 12.18. Donde sea posible podrían desarrollarse rutas circulares, evitando siempre construir caminos que bordeen completamente las lagunas, ya que este tipo de rutas pueden causar mucho daño.

Con plantaciones ingeniosas y variaciones en la topografía, pueden crearse largos senderos de paseo muy atractivos, incluso en áreas pequeñas.

El camino y su entorno más inmediato deberá ser tan variado como sea posible, y debería hacer parecer la zona más grande de lo que es en realidad. El objetivo fundamental es proveer a los visitantes de interesantes accesos con buenas vistas, y tan numerosas como lo permitan el objetivo de conservación y la protección a la fauna.

Los caminos deberán tener una pendiente razonable, y ser anchos y estar bien drenados. El paso por ellos deberá ser fácil, incluso al final de la primavera, cuando la vegetación está más desarrollada.

Hay que considerar también el acceso de la maquinaria de mantenimiento, pudiendo ser necesario acomodar algunos caminos para el paso de tractores, remolques, u otro tipo de maquinaria móvil.

Si los caminos están vallados, las vallas deberán ocultarse con vegetación. El objetivo es conducir a la gente hacia los lugares de conservación previstos, por los lugares destinados a tal fin, pero de una manera atractiva y agradable, y manteniendo la impresión de que se está en un sitio natural y silvestre.

En ciertas áreas, la instalación de caminos elevados contruidos con tableros y pilares puede ser muy interesante. Aunque este tipo de caminos es relativamente caro de instalar y mantener, son mucho más divertidos para los visitantes que los caminos tradicionales, y les permite disfrutar de unas experiencias poco comunes en un paseo y mantener un estrecho contacto con estos interesantes hábitats. Por ejemplo, atravesar una zona de vegetación acuática, un marjal, u otro tipo de áreas inundadas.

Existen diversas técnicas para mantener a los visitantes dentro de los caminos y evitar que se dispersen. Lo primero es dotar a los caminos de vistas amplias,

para que los visitantes no sientan la necesidad de traspasar los límites de las áreas reservadas para satisfacer su curiosidad.

Otra posibilidad es construir canales con agua o implantar franjas de carrizal de no menos de 1 m de anchura rodeando las áreas reservadas, para impedir físicamente el acceso a ellas.

Las pantallas disuasorias construidas con vegetación espinosa impiden muy efectivamente el paso de la gente, y a la vez constituyen un hábitat faunístico muy valioso, y en primavera, durante la floración, son muy atractivas.

En ciertas épocas puede ser necesario reservar algunas zonas para nidificación y cría, que en otras épocas del año pueden ser visitadas. La red de caminos diseñada deberá ser capaz de responder a estos cambios estacionales de prioridades, y prever senderos y rutas alternativas que sigan siendo igual de atractivas, pero que eviten el paso por las zonas sensibles.

Como regla general, las zonas de aguas someras utilizadas intensivamente por las aves deberán ser siempre inaccesibles, aunque visibles desde una distancia prudencial.

## PANTALLAS VISUALES Y SONORAS

Para el apantallamiento visual son muy efectivas las barreras de árboles y arbustos. Al seleccionar las especies para su creación, deberá tenerse en cuenta que es necesario incluir especies de hoja caduca para que durante el invierno sigan siendo efectivas.

Además, muchos arbustos, incluso los más densos, crecen en altura, quedando la parte baja de la planta sin ramas ni follaje, por lo que deberán hacerse podas periódicas para dar a la planta la forma más conveniente. Una plantación ancha puede ser podada de forma rotatoria, en bandas paralelas al camino y así siempre ofrecerá la misma cubierta.

Los cordones de material estéril y los caballones también son pantallas excelentes, tanto visuales como para el ruido. Complementariamente, estas estructuras se deberán revegetar.

Pueden también construirse pantallas sencillas con tela metálica, o con balas de paja, carrizos o cañas, atados con alambre y sujetas a una armazón de madera.

Las pantallas se ubicarán entre la zona que se trate de proteger y los principales puntos de vista o de actividad, para que desvíen las visuales hacia el horizonte.

## MOBILIARIO Y OBSERVATORIOS

El equipamiento y el mobiliario de este tipo de áreas es similar al de cualquier otra zona recreativa. Será necesario instalar mesas, bancos, papeleras, etc., en las zonas de estancia, disponer aparcamientos, casetas de información al público en las entradas principales, etc.

Los paneles de información son puntos que deben ser cuidados. Será necesario instalar dos tipos de paneles. Unos que den al visitante las pautas de conducta a seguir durante la visita, y otros que den información acerca de lo que el visitante está viendo, de las rutas de

den llegar a ser muy grandes. Una vez desplazadas, las poblaciones de aves de la gravera restaurada pueden mantenerse durante muchos días por debajo de su número normal de individuos, e incluso, si la perturbación se repite frecuentemente, los números de población pueden continuar deprimidos permanentemente.

El nivel de afección a las aves por la presencia humana varía en función del tipo de actividad de que se trate y de su intensidad, por ejemplo:

- Bajos niveles de ruido son menos preocupantes que los ruidos fuertes, especialmente si éstos son repentinos.
- Si los animales pueden ver y oír al mismo tiempo a los visitantes, es peor que si sólo pueden oírlos.
- Un número pequeño de embarcaciones en una laguna es mejor que muchas.
- Las barcas que se mueven a poca velocidad son menos perturbadoras que las que lo hacen rápidamente. Y las de motor, peores que las de remo o vela.
- Los perros alteran menos que las personas.
- La gente que se desplaza en vehículos y los que observan las aves, también desde un vehículo, alteran menos que los que lo hacen a pie.
- Un pescador estático afecta menos que un observador de aves en movimiento.

Además del efecto que los visitantes pueden ocasionar en las poblaciones animales por su sola presencia, los hombres también pueden causar daños directos por destrucción de nidos o por llevarse huevos y pollos, entre otros actos de vandalismo.

Cuando se combinan en una misma área recreo y conservación y no se controla adecuadamente el acceso de los visitantes, los hábitats creados pueden ser seriamente dañados por pisoteo y destrucción de la vegetación: en las zonas más intensamente transitadas las especies naturalísticamente más interesantes suelen ser desplazadas por otras más comunes y de carácter ruderal resistentes al pisoteo; donde suele acudir la gente a pescar, es frecuente que la vegetación marginal se aclare intencionadamente para conseguir mejores puestos de pesca, etc.

Estos y otros efectos deberán ser minimizados mediante un diseño y una gestión adecuadas. Por ejemplo, con un buen diseño de los caminos la afección a los hábitats puede ser virtualmente eliminada.

Siempre que exista espacio suficiente, es necesario realizar una zonificación previa del espacio, y dedicar unas áreas a actividades recreativas, más o menos intensivas, y reservar otras como hábitat de fauna en las que el acceso sea restringido, y donde los animales encuentren la tranquilidad que necesitan.

En las graveras grandes es posible compatibilizar los requerimientos de tranquilidad de la fauna silvestre con la utilización recreativa del espacio, zonificando el área y dando a parte de la gravera una utilización más intensiva y reservando otras zonas para la fauna.

Como puntos más interesantes que deben ser adecuadamente proyectados y gestionados pueden señalarse los siguientes:

## ZONIFICACION DEL AREA

Para que la creación de los hábitats y su manejo sea apropiado, las zonas reservadas con un objetivo prioritario de conservación deberán estar:

- Alejadas de las fuentes de perturbación.
- Aisladas del acceso incontrolado, aunque esto suele ser inalcanzable.
- Su localización debe permitir el acceso cómodo a los observadores y visitantes, sin que estos ocasionen daños o molestias a la fauna.

## GESTION DE LOS LIMITES Y LOS PUNTOS DE ENTRADA

Los límites de la zona restaurada para conservación deberán ser seguros, para tener un control efectivo sobre el acceso a la zona.

Si lindan con granjas o zonas de pasto, el ganado puede ocasionar serios daños por pisoteo de las superficies de hierba o ramoneo en los árboles y arbustos jóvenes, y en la vegetación de ribera. Para impedir el paso al ganado es suficiente con la instalación de una valla metálica, aunque la instalación de setos como cierre tiene la ventaja de que proporcionan además protección contra el viento y mejoran la calidad de los hábitats creados.

En aquellos casos que se prevea que va a haber un gran número de visitantes incontrolados, puede ser conveniente excavar en los puntos principales de afluencia una zanja de 3 m de ancho al menos, e inundarla, y en el borde interno de este canal construir un caballón alto utilizando materiales de rechazo de la explotación o materiales de préstamo. Complementariamente, pueden plantarse a ambos lados del canal árboles y arbustos, con lo cual se está creando un hábitat alternativo que puede tener valor para la conservación, y se está mejorando visualmente el área.

El punto de entrada a la zona reservada para conservación deberá ser inaccesible visualmente para los animales, a fin de minimizar la perturbación que la entrada de los visitantes pueda ocasionar.

Si el acceso principal de la zona está muy alejado de las áreas reservadas para la fauna, es preferible transportar a los visitantes hasta la zona de observación en vehículos a que vayan caminando. La perturbación ocasionada por los vehículos es mucho menos significativa que la originada por grupos de paseantes, y a menudo éstos obtienen vistas más satisfactorias de los animales desde el interior del vehículo que si van a pie.

Las zonas de estancia y aparcamiento deberán situarse lo más alejadas posible de las zonas de conservación y rodearse de pantallas visuales y contra el ruido.

Para obtener buenas panorámicas de la zona, los observatorios deberían localizarse con la luz detrás de ellos, por ejemplo, en el perímetro sur mejor que en el norte.

## CAMINOS Y SENDAS

La gestión de los visitantes en la zona restaurada pasa por el trazado de una red de caminos apantallados

paseo que puede seguir y de la posición de las zonas desde las cuales se puede observar a las aves.

En la entrada deberá facilitarse al visitante un mapa que enseñe claramente la posición de los observatorios y la distancia a que se encuentran, e indicarles las condiciones de uso de la zona, bien mediante paneles informativos, bien mediante una lista de reglas de conducta.

Para los carteles de advertencia es más efectivo mostrar al público qué es lo que debe hacer, en lugar de decirles lo que no deben hacer o lo que está prohibido. También conviene poner el mínimo número posible de carteles. Un número excesivo de carteles admonitorios es camino seguro para que éstos sean ignorados.

Las casetas de observación son un mobiliario específico de este tipo de espacios, que deberá ser cuidadosamente diseñado, y cuya localización es muy importante, Fig. 12.19.

Los observatorios deberán estar situados de forma que desde ellos se obtengan buenas vistas de las áreas más interesantes. Como es difícil observar cuando el sol se refleja en el agua, sobre todo si está bajo, deberán construirse varios observatorios que tengan diferentes orientaciones.

Un pequeño promontorio es un sitio ideal, ya que potencialmente ofrece un arco de visión de 180°.

Los observatorios no deberán situarse donde los visitantes puedan ocasionar molestias inaceptables a las poblaciones de aves, ni en aquellas otras que alienten al visitante a entrar en una zona prohibida.

El acceso a los observatorios deberá apantallarse para evitar que resulte un foco de perturbación. La pantalla deberá ser de al menos 2 m de altura, construida con materiales o vegetación y reforzada por una valla espinosa.

Mediante el empleo de vegetación puede enfocarse la atención hacia las zonas más interesantes, reforzando los puntos de vista más adecuados. Como la mayoría de los observadores utilizan binoculares, no es necesario situar los observatorios excesivamente cerca de las orillas.

La altura de éstas es un factor importante, ya que la vegetación o algún factor topográfico puede ocultar a las aves cuando están a nivel del suelo. Las torres de observación, construidas sobre pilares, constituyen excelentes observatorios.

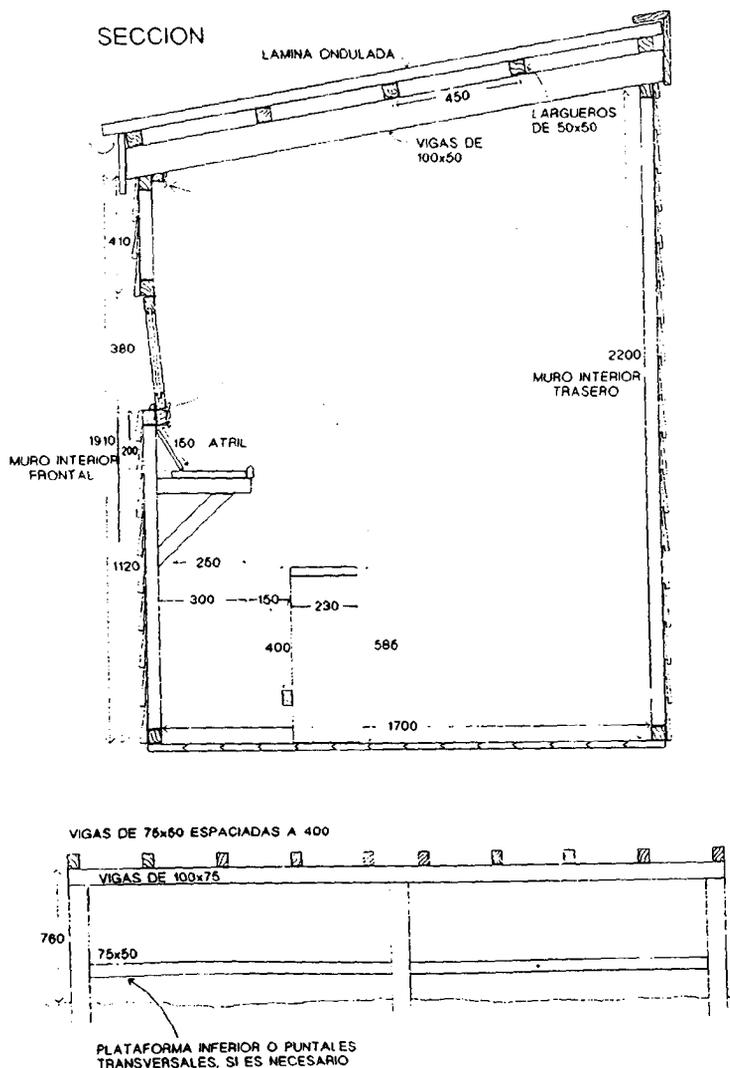


Figura 12.19. Caseta de observación.

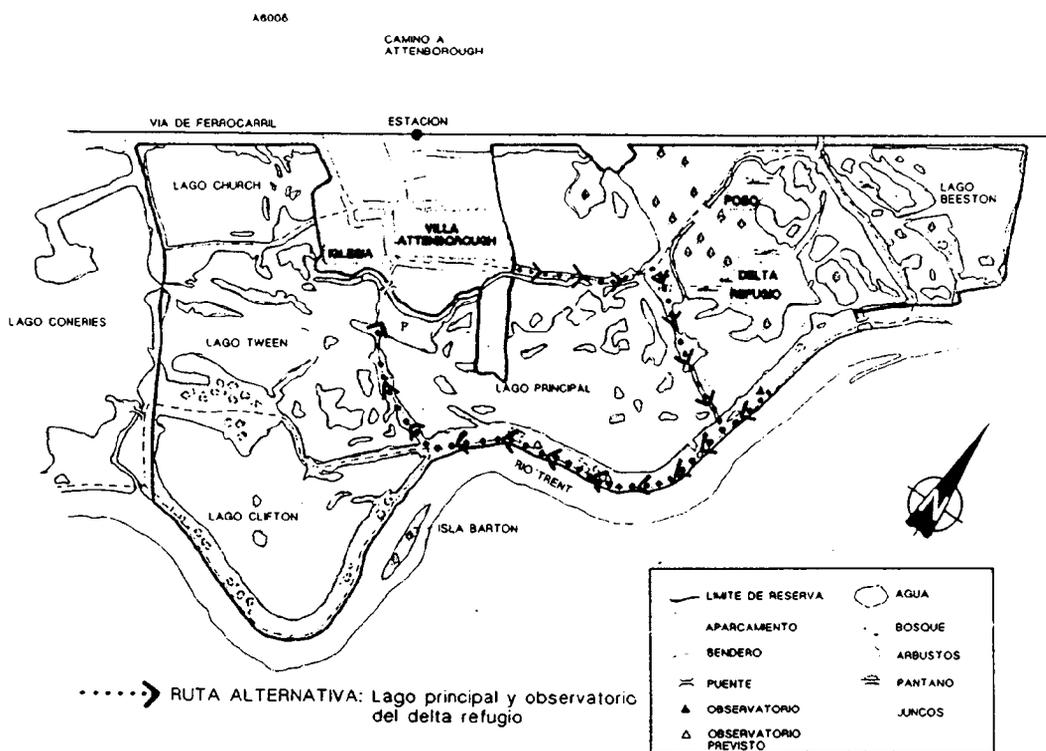
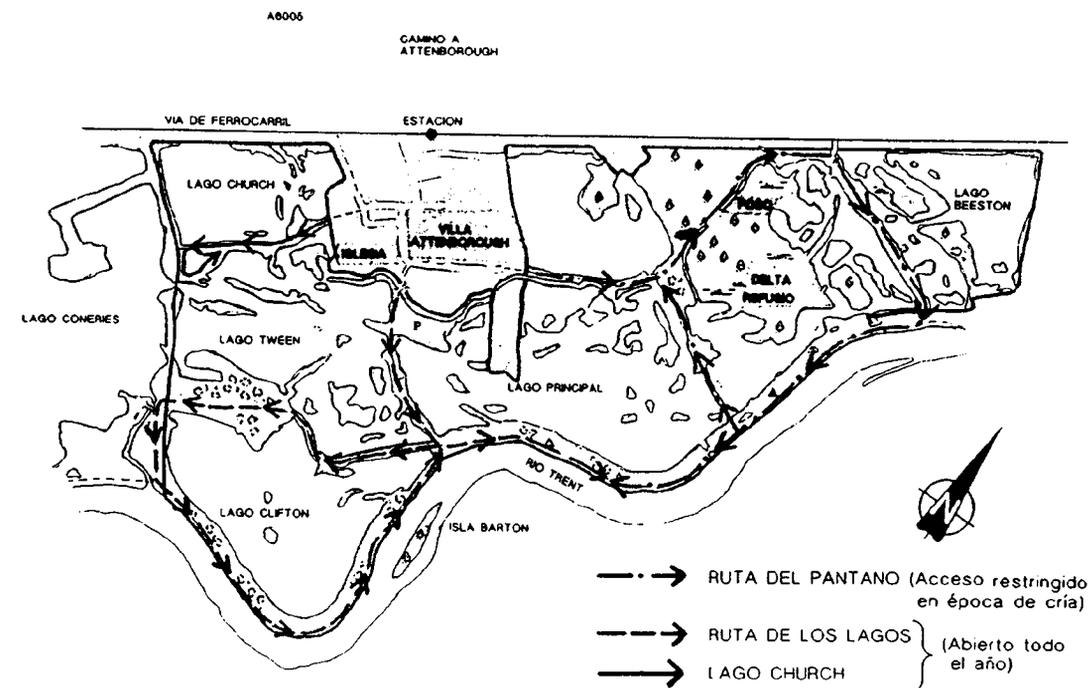


Figura 12.18. Diseño de senderos y rutas alternativas.

# ANEXO

## EJEMPLO DE EXPLOTACION DE UNA GRAVERA CON EXTRACCION POR DEBAJO DEL NIVEL FREATICO Y RESTAURACION CON FINES RECREATIVOS

En este anexo se ilustra la planificación de una gravera, en la que la operación y la restauración se realizan de forma simultánea.

El objetivo de uso final de los terrenos afectados es crear un área residencial de baja densidad, con zonas reservadas para actividades recreativas.

Se fijaron una serie de directrices previas antes de realizar la planificación, de las cuales las más importantes son:

- Todos los materiales de desecho generados por la operación minera y el tratamiento de los áridos, debían ser utilizados en el remodelado final del área, de forma que no quedaran vertederos y/o escombreras residuales.
- Se mantendrían algunas láminas de agua para recreo.
- La acción sobre el suelo de cobertura debía ser mínima. Para ello, la operación minera debía planificarse de forma que según se fuera retirando el suelo, antes de la extracción de los áridos, éste fuera siendo colocado en su ubicación definitiva.
- Para posibilitar que las labores de explotación y restauración se realizaran de forma progresiva y simultánea, sin que se produjeran interferencias entre ambas, la extracción debía seguir la siguiente secuencia:

1. Excavación
2. Creación de formas utilizando materiales de rechazo.
3. Extendido de suelo vegetal en las zonas remodeladas.
4. Siembra de estas superficies.
5. Planificación de caminos y otras infraestructuras.
6. Plantación de árboles y arbustos.
7. Implantación de vegetación acuática.
8. Repoblación piscícola de las lagunas.
9. Construcción de caminos, servicios y viviendas.

Considerando estas directrices de partida, la planificación realizada comprendía las siguientes fases:

### 1. DESCRIPCION Y ANALISIS DEL MEDIO FISICO Y SOCIOECONOMICO.

En esta fase se realizó un estudio general de la zona de explotación y su entorno, a dos niveles de detalle. En él se hace especial hincapié en aquellos elementos que puede afectar al desarrollo de la explotación y/o de la restauración, o verse afectados por ellas. Los aspectos más relevantes se plasman en dos planos de síntesis, Fig. 1 y 2.

### 2. PREDISEÑO DE LA RESTAURACION

En esta fase se hace una primera aproximación de lo que va a ser la restauración en función del uso final seleccionado (uso residencial).

En el diseño conceptual se zonifica el área en cuanto a su funcionalidad futura, Fig. 3. Y posteriormente se desarrollan las pautas marcadas en el diseño conceptual de una forma más detallada, a nivel de anteproyecto, Fig. 4.

### 3. SECUENCIA EXPLOTACION-RESTAURACION

De acuerdo al objetivo general de que la explotación y la restauración se lleven a cabo de forma simultánea, en esta fase se realiza una planificación general de la explotación en la que se consideran tres puntos fundamentales:

- Secuencia de extracción, Fig. 5.
- Procedencia y ubicación de los materiales en el remodelado, Fig. 6.
- Dirección general de avance de la restauración, Fig. 7.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- ANDREWS, J., y KINSHAN, D. (1990): "Gravel Pit Restoration for Wild Life. A Practical Manual". Royal Society for the Protection of Birds. Tarmac Quarry Products Limited. KPC Group. Ashford.
- BANKS, P., y NICKEL, R. (1981): "Reclamation and Pollution Control: Planning Guide for Small Sand and Gravel Mines". Bureau of Mines, U.S. Department of the Interior.
- CHAPLIN, P. (1989): "Waterway Conservation". Whittet Books Ltd. Londres.
- DEPARTMENT OF THE ENVIRONMENT, WELSH OFFICE (1989): "The Reclamation of Mineral Workings". Minerals Planning Guidance.
- FURNISS, P., y LANE, A. (1992): "Practical Conservation Water and Wetlands". Open University/Nature Conservance Council. Hodder & Stoughton. Londres.
- GREEN, J., y otros (1992): "A User Guide to Pit and Quarry Reclamation in Alberta". Alberta Land Conservation and Reclamation Council. Alberta.
- NORTH, D.: "Pensthorpe Waterfowl Park and Nature Reserve". Beric Tempeot & Co. Limited. Gran Bretaña.
- RMC Group (1987): "A Practical Guide to Restoration". RMC Group Plc. Feltham.
- SCHELLIE, K. L. (Ed.) (1977): "Sand and Gravel Operations: A Transitional Land Use". National Sand and Gravel Association. Maryland.
- TUTT, P., y ADLER, D. (1985): "Proyectos". Hermann Blume. Madrid.

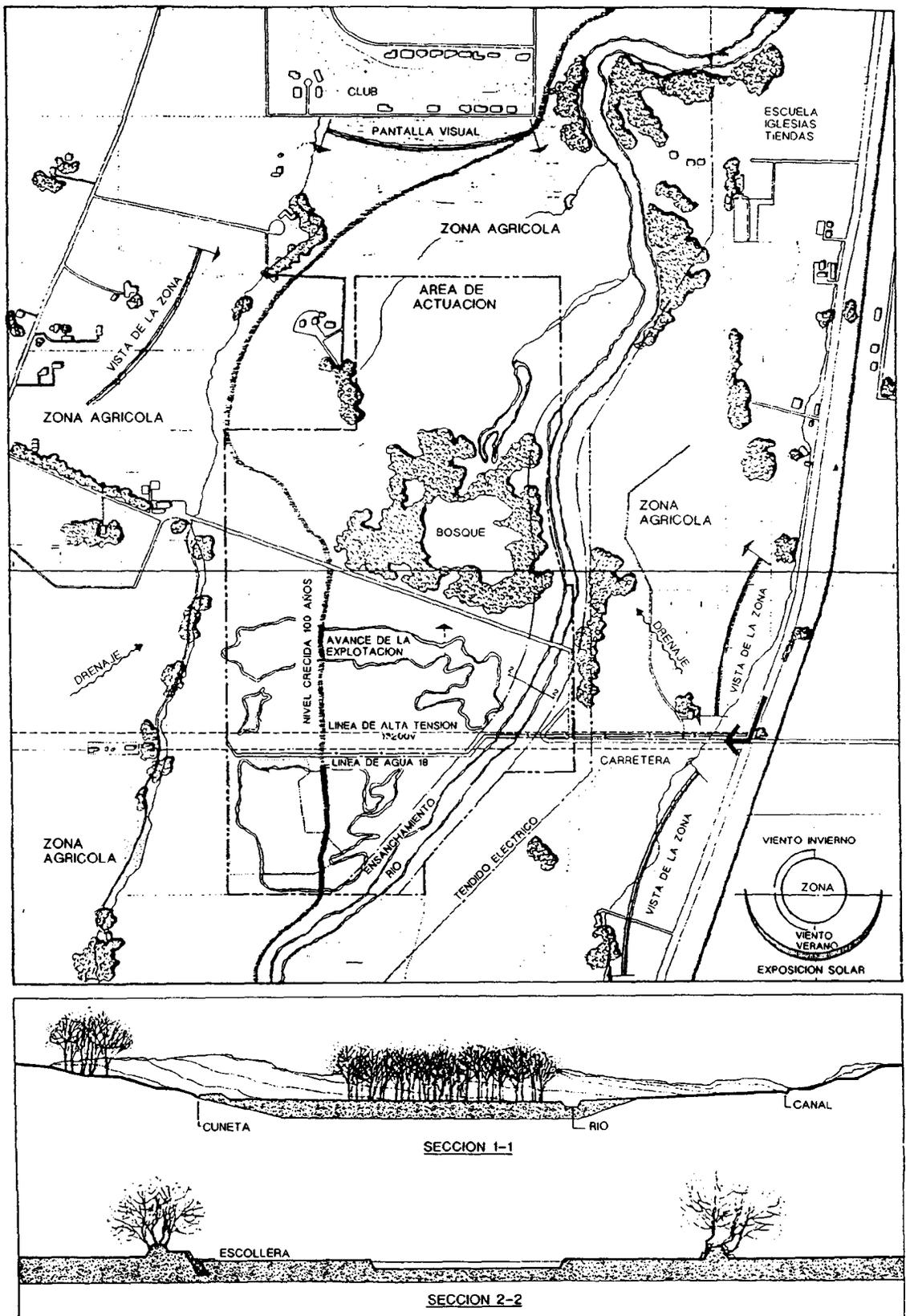


Figura 1. Análisis general del área y su entorno.

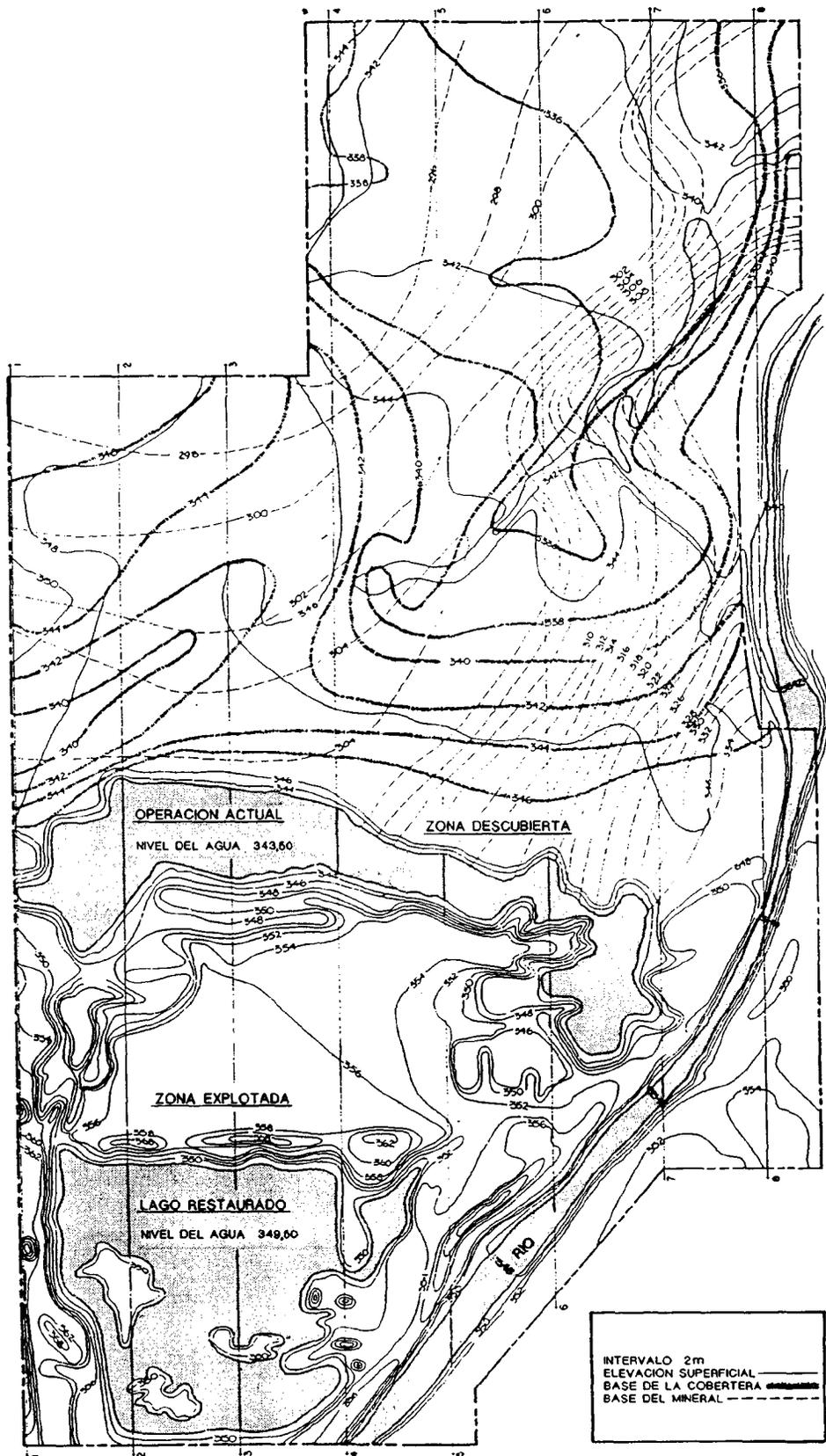


Figura 2. Descripción y análisis detallado de la zona de gravera.

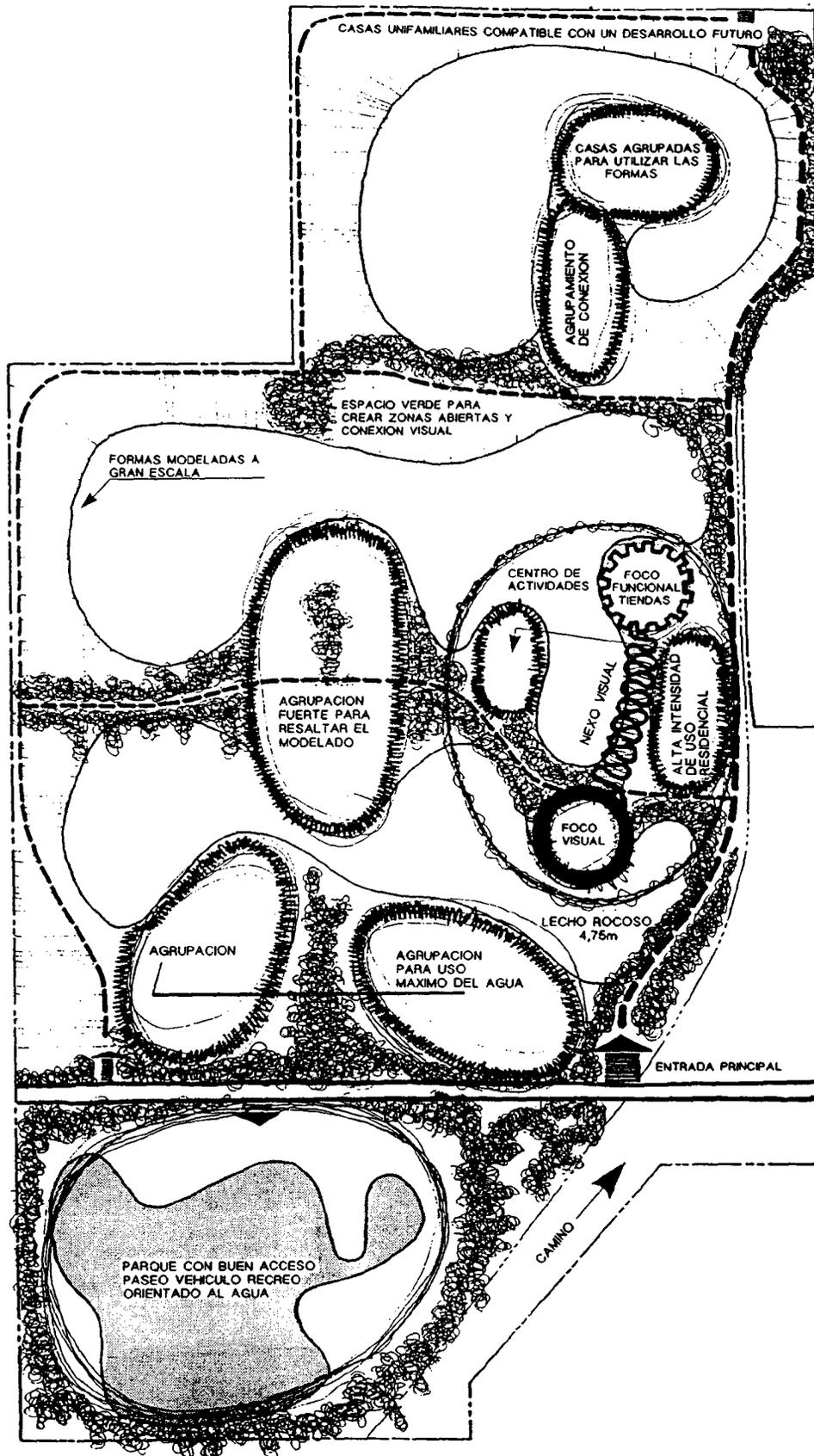


Figura 3. Diseño conceptual de la restauración.

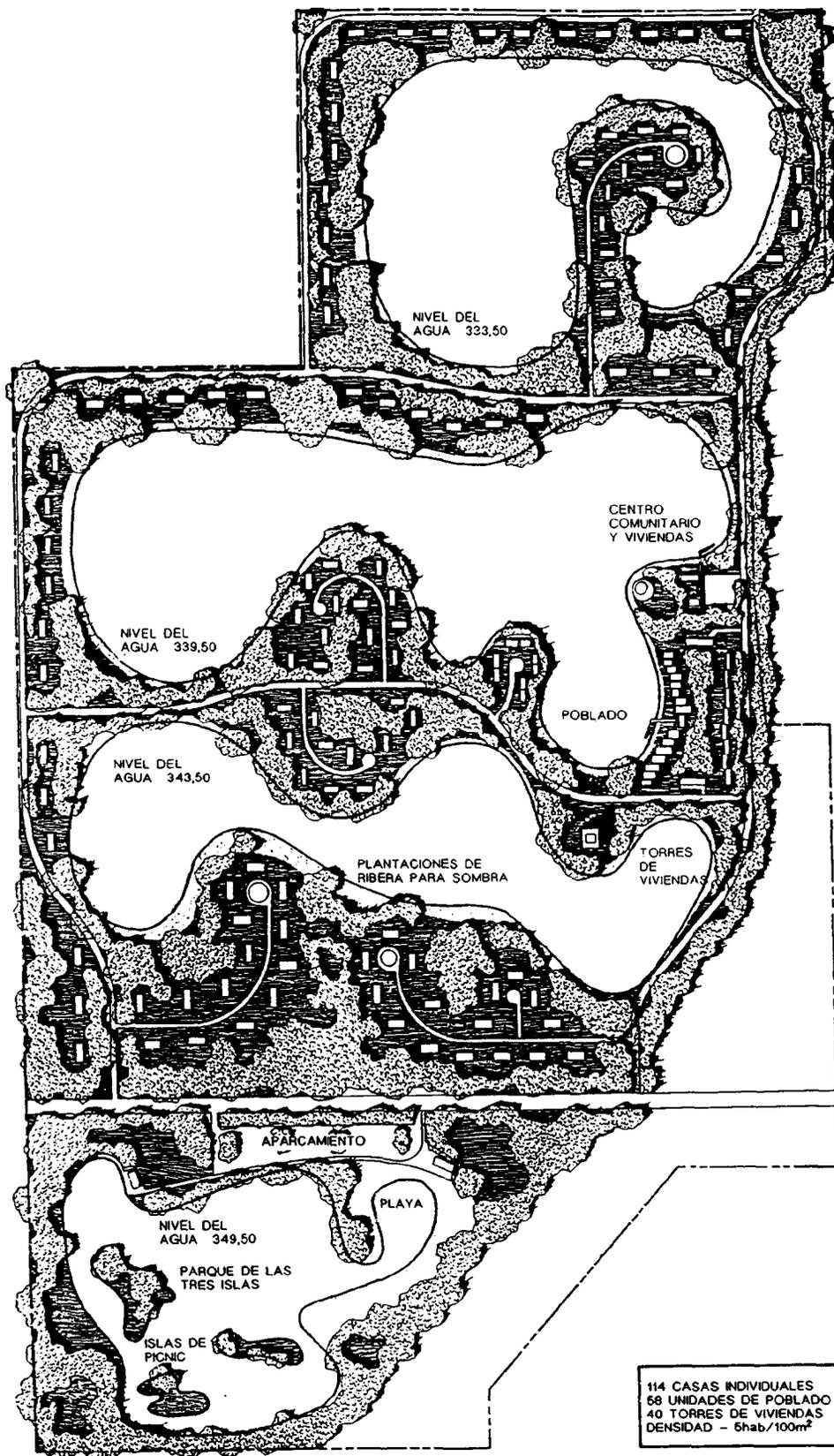


Figura 4. Prediseño detallado de la restauración.

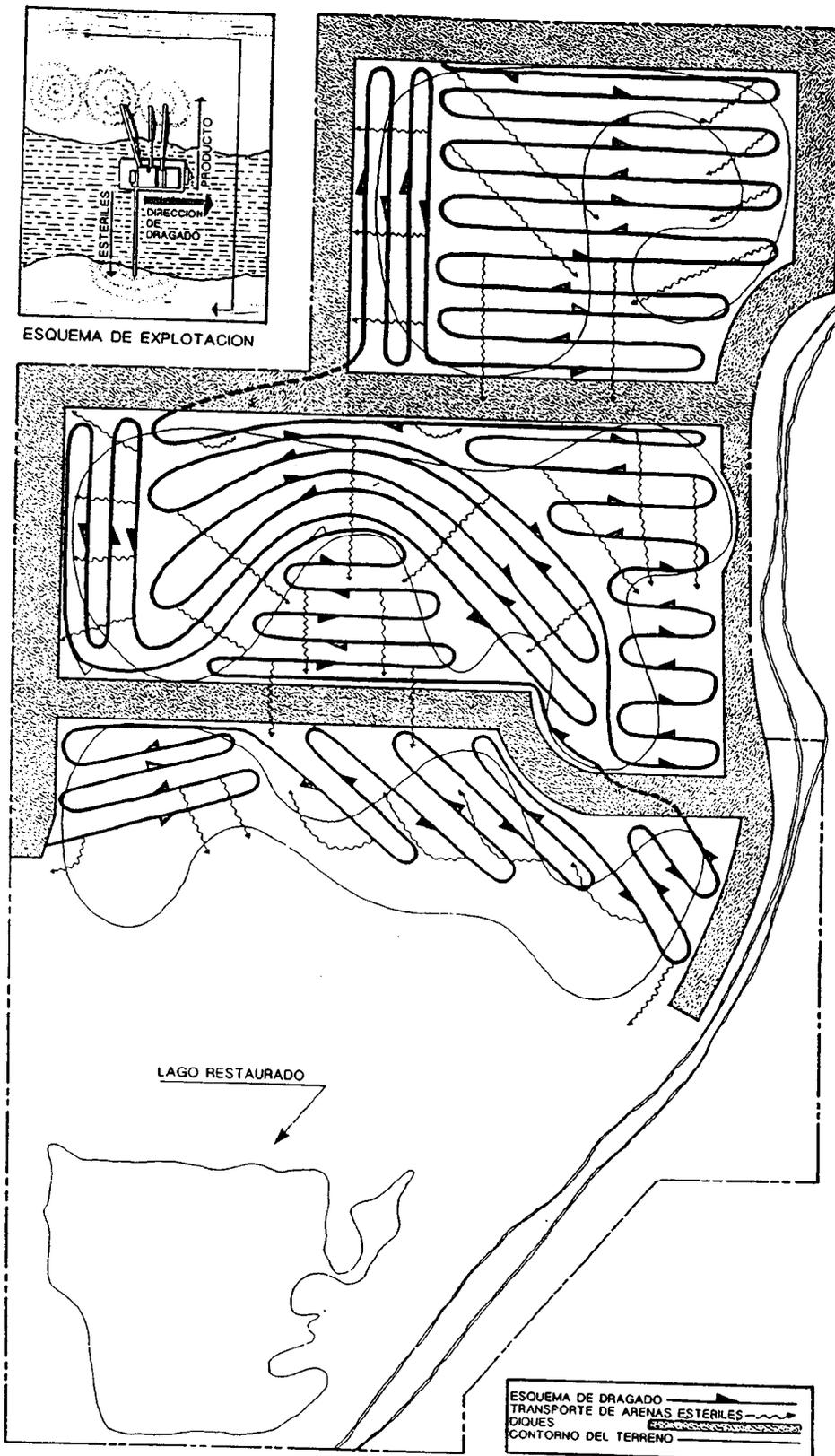


Figura 5. Plan de explotación y secuencia de extracción de los áridos.

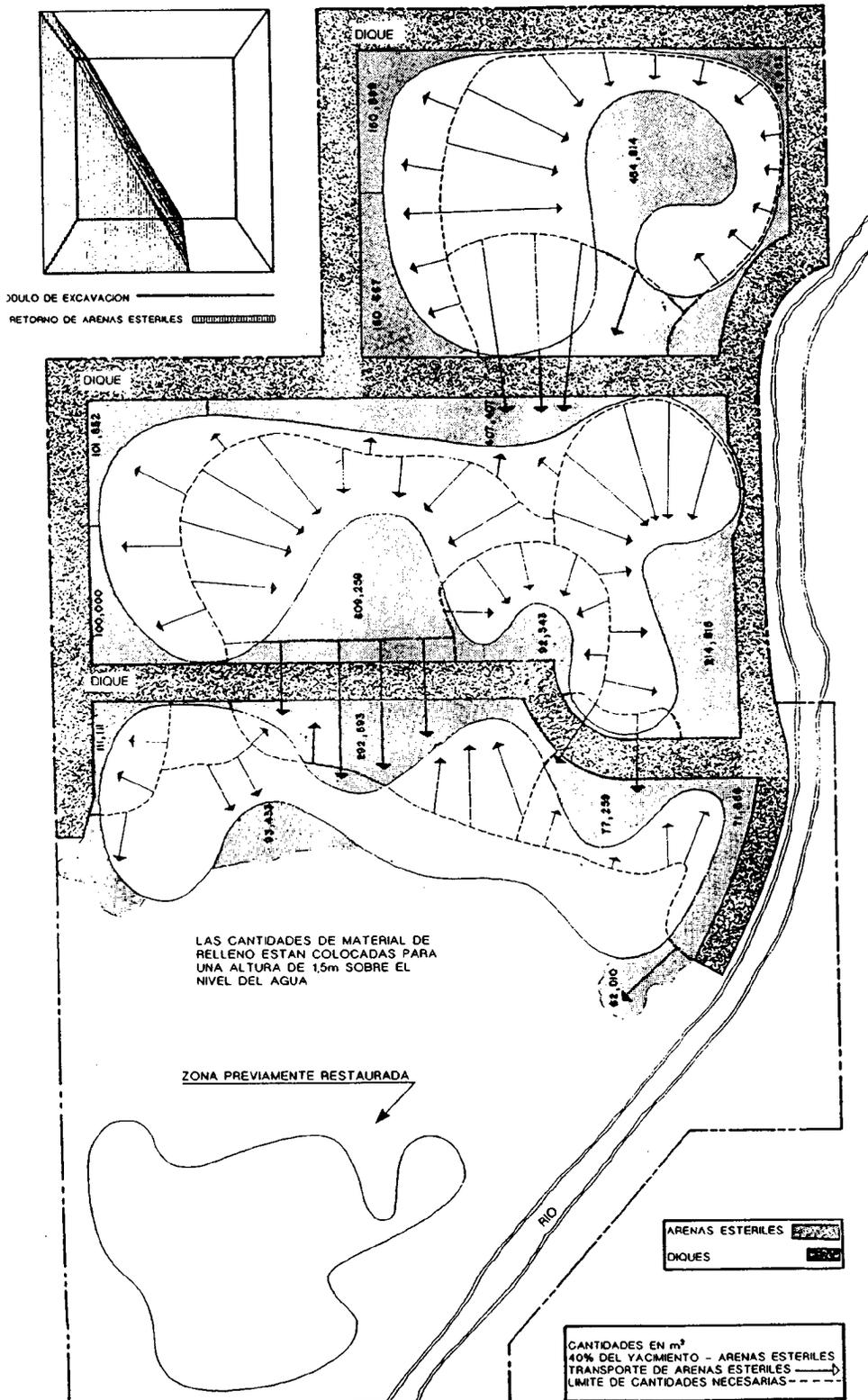


Figura 6. Plan de remodelado.

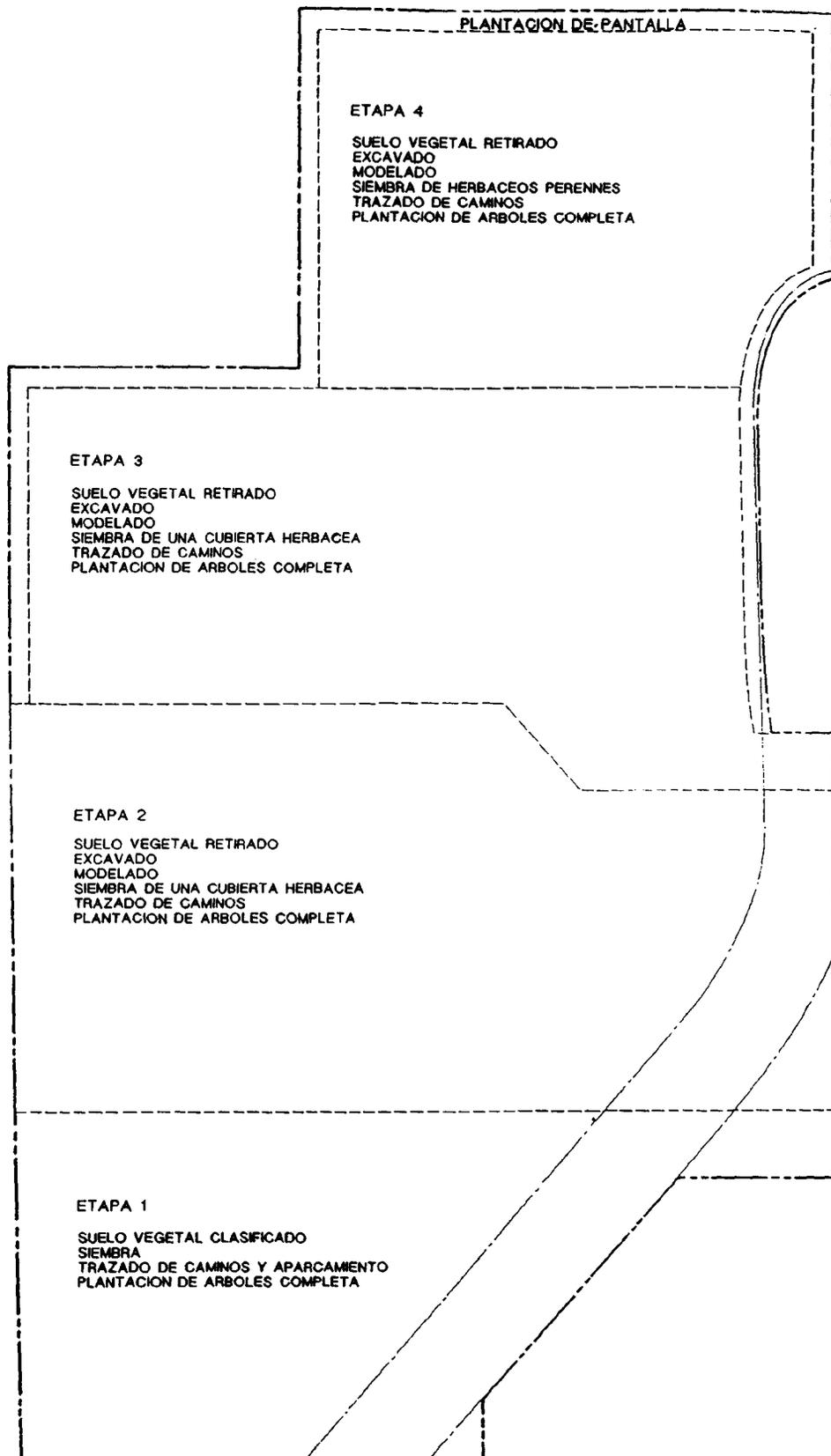


Figura 7. *Secuencia de avance de la restauración.*



*Vista aérea del río Jarama y situación de los huecos de diversas graveras de donde se extraen áridos naturales.*



*Explotación en un solo banco de un paquete de gran potencia. La extracción del material se realiza bajo lámina de agua con una dragalina.*

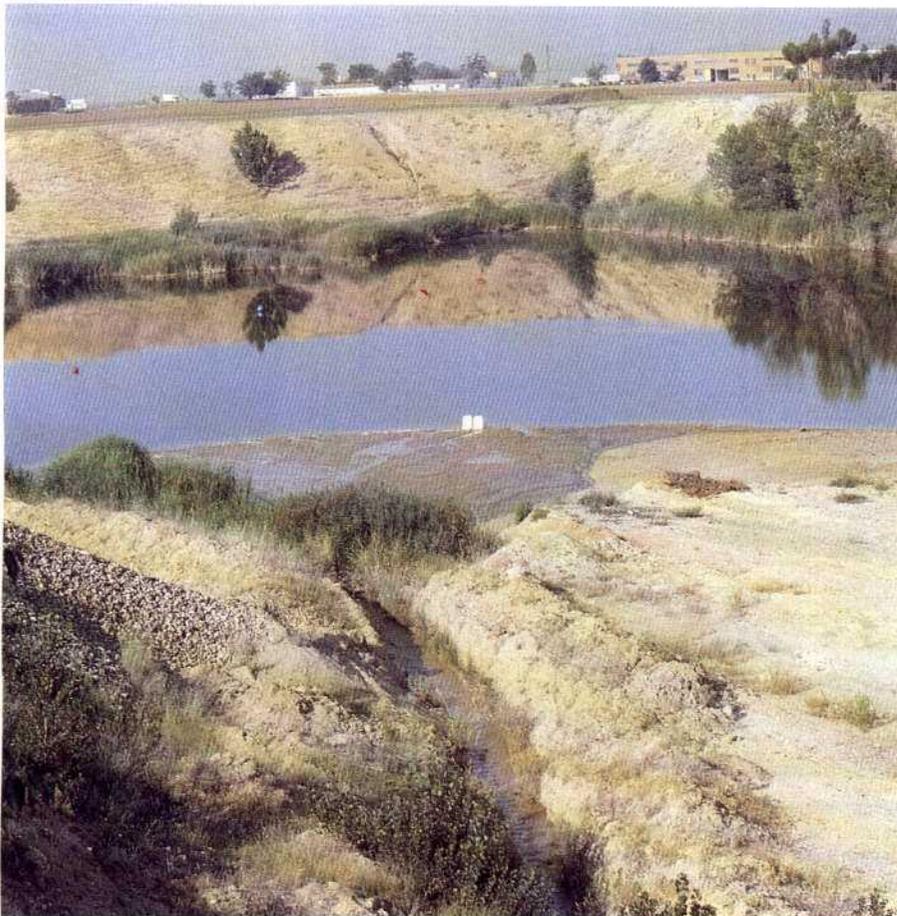
*Método típico de explotación de paquetes situados por debajo del freático. La extracción se realiza con dragalina, y la carga y el transporte por el sistema de pala o excavadora y camión.*



*Cinta transportadora que traslada el material desde la zona de extracción hasta la planta de lavado y clasificación. Este método de transporte es uno de los más recomendables, pues se evitan todos los problemas típicos que conlleva el tráfico de camiones de gran tonelaje: polvo, ruido, emisión de gases de combustión, compactación, etc.*



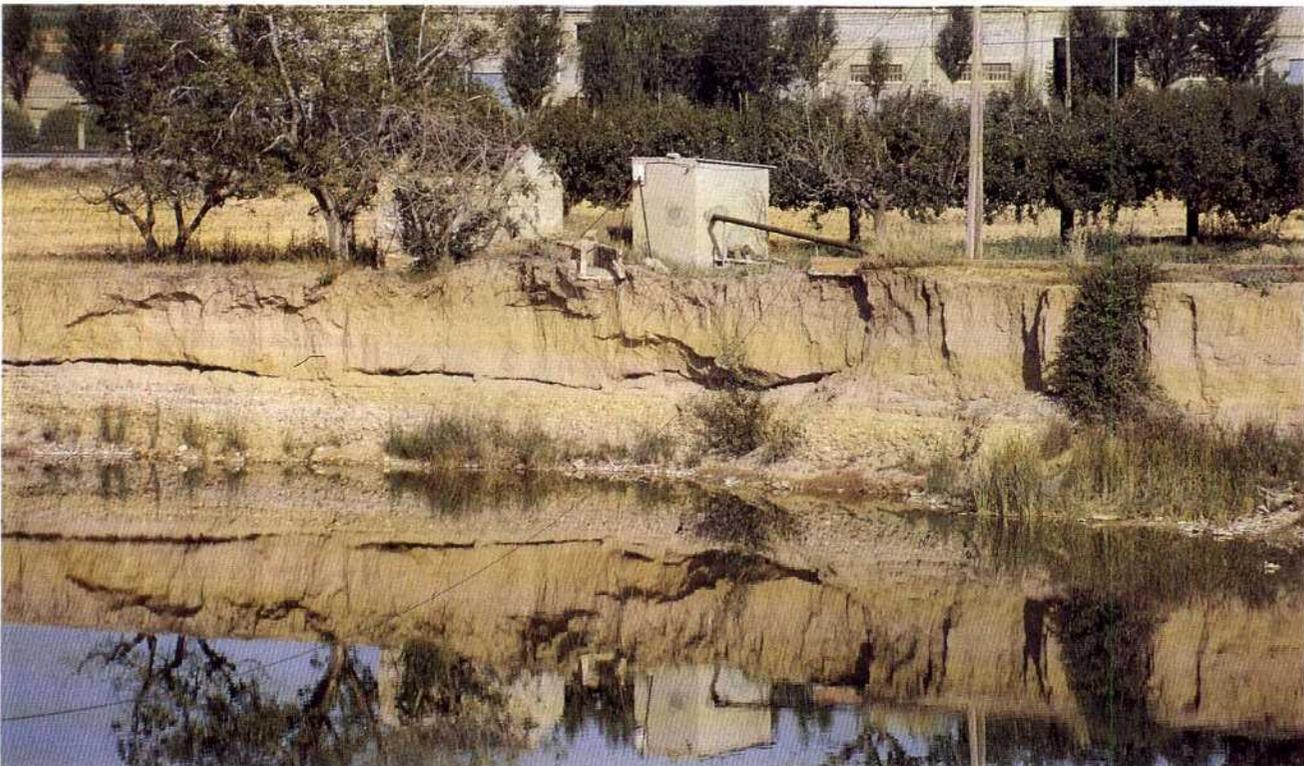
*Aspecto típico de una gravera en explotación. En primer término, laguna residual cuyas orillas han sido colonizadas por carrizos y espadañas. Al fondo, zona de la planta con acopios de material clasificado y camiones de transporte.*



*Vertido del agua procedente del lavado del material en un hueco abandonado para su decantación. Este sistema, sin ser el más idóneo en relación con la protección de las aguas, al menos evita que estas aguas cargadas de sólidos en suspensión sean vertidas directamente a los ríos, práctica ésta bastante habitual.*



*Además de la eliminación directa de la vegetación que implica la apertura del hueco de extracción, en las explotaciones que se realizan por debajo del freático pueden ocasionarse daños indirectos e incluso la muerte de la vegetación freatofítica del entorno del área.*



*Las orillas de las graveras que fueron abandonadas sin realizar en ellas ningún tipo de restauración, frecuentemente presentan graves problemas de erosión y hundimientos. Las olas van excavando su base hasta que se produce el desplome. Los materiales generados por este proceso pueden ir acumulándose, formando una banda paralela a la orilla, en la que la profundidad del agua y la pendiente es menor, capaz de absorber el efecto erosivo de las olas. En algunos casos, si hay espacio suficiente, la vegetación comienza a introducirse de forma natural.*



*Las graveras abandonadas frecuentemente se convierten en vertederos incontrolados, en los que se deposita todo tipo de materiales.*



*La erosión de las orillas por efecto de las olas puede prevenirse mediante un modelado adecuado y la implantación de una cubierta vegetal protectora. Conviene que la pendiente de la orilla no sobrepase los 15°, y fomentar en ellas el desarrollo de una cubierta herbácea continua o bien crear bandas de carrizal paralelas a la orilla que amortigüen el impacto de las olas sobre el terreno.*

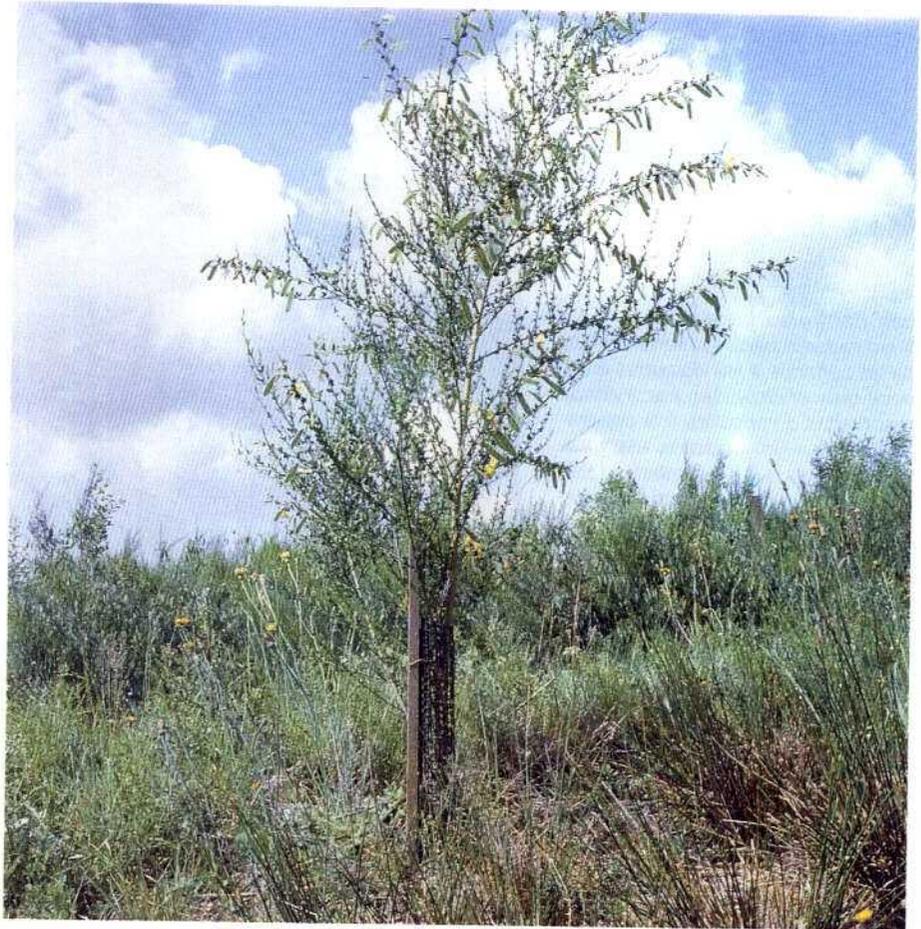


*Retirada selectiva de los horizontes que constituyen el suelo para su posterior aprovechamiento en labores de restauración.*



*Plantación de dos años realizada con una mezcla de árboles y arbustos pertenecientes a la vegetación natural del área. Los ejemplares están provistos de protectores en espiral de propileno, para prevenir posibles daños ocasionados por conejos, liebres y otros mamíferos de pequeño tamaño.*

*Detalle de plantación de arbustos en un acopio de tierra vegetal. La planta está provista de un protector de netón fijado al suelo mediante un tutor de plástico.*



*Siembra fallida de la pared de un hueco debido a que, durante las operaciones de remodelado y preparación del sustrato, la maquinaria ocasionó una compactación excesiva del suelo. Se pueden apreciar incluso huellas de cadenas dejadas por las palas con las que se realizaron las labores.*

*Las pantallas vegetales son un buen sistema para mantener dentro de los caminos a los visitantes e impedir que se dispersen hacia zonas reservadas o sensibles a la presencia humana, en aquellas restauraciones en las que se combine el uso natural, como hábitat faunístico, con el recreativo, de paseo y observación de las aves.*



*Pantalla cortaviento permeable construida con vegetación, en una isla.*



*El uso agrícola está especialmente indicado en aquellas graveras en las que es posible realizar un relleno total del hueco, y en aquellas otras extensas y poco profundas, en las que el material aluvial aparece dispuesto en capas de poco grosor. En estas últimas, el uso se implanta de forma inmediata tras la reinstalación del suelo previamente retirado, sin que haya relleno posterior del hueco. La modificación fisiográfica resultante se reduce a un pequeño rebajamiento del terreno (entre 50 cm y 1,5 m) respecto de su nivel original. En la fotografía, viñedos implantados en una antigua gravera, en La Rioja.*



*Una posibilidad que ofrecen las graveras en las que no se llega a explotar por debajo del freático, es la utilización del hueco como vertedero controlado. En la gravera de la fotografía, las operaciones de extracción del material, sellado del fondo del hueco, vertido de los residuos y clausura y restauración del vertedero se van realizando de forma progresiva y simultánea, utilizándose la capa de arcillas grises que aparece situada por encima del material aluvial.*



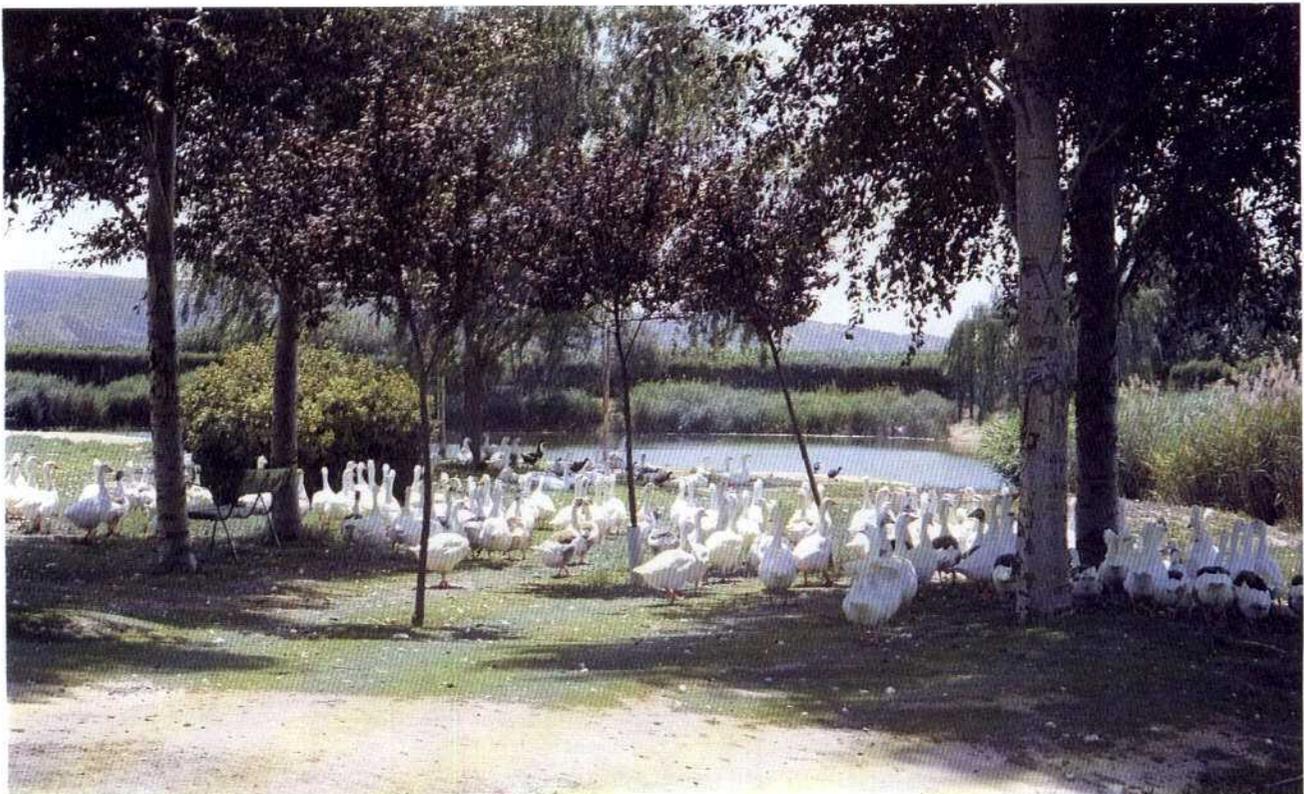
*Aprovechamiento del hueco de una gravera para su relleno con materiales inertes procedentes de excavación de solares y escombros de derribo de edificios.*



*Dentro del uso recreativo en graveras con lámina de agua residual, la pesca es una de las actividades que gozan de mayor aceptación, especialmente en áreas periurbanas. En las orillas deberán realizarse plantaciones de árboles y arbustos, para proporcionar sombra a los pescadores y evitar un recalentamiento excesivo del agua, pero sin crear una cubierta excesivamente densa, para no dificultar el acceso al agua.*



*Restauración de una gravera como parque periurbano. Laguna de Las Madres en Arganda (Madrid).*



*Parque urbano realizado en una antigua gravera húmeda. El hueco fue rellenado parcialmente, reservando una parte de la laguna residual a modo de estanque.*



*Gravera recuperada con fines recreativos. Próximo a la orilla se encuentra un embarcadero y en el interior del lago se han construido pequeñas islas.*



*El potencial faunístico de esta restauración es bastante limitado. Las orillas son excesivamente verticales, carecen de zonas de aguas someras, y la lámina de agua es continua, sin islas ni zonas protegidas del viento. Como consecuencia, la diversidad de hábitats faunísticos es limitada. Desde un punto de vista paisajístico, el área resulta atractiva y queda bien integrada en el entorno, y para el desarrollo de actividades recreativas ligadas al agua posee un gran potencial.*



*Humedal secundario de aguas muy someras, anejo a una laguna principal de gran extensión, creado mediante excavación. En la revegetación se dotó al área de una densa cubierta de vegetación, compuesta por una amplia gama de plantas acuáticas y ribereñas. Este tipo de charcas y pequeños humedales, adosados a los cuerpos de agua principales de las graveras, constituyen un hábitat alternativo de alimentación, refugio y cría inmejorable para multitud de aves acuáticas y palustres, especialmente cuando aquéllos son continuos y poco diversos en cuanto a profundidad, forma y pendiente de las orillas.*



*Posadero artificial, construido con un poste coronado por una plataforma de madera, para nidificación.*



Los taludes verticales situados cerca del agua son lugares ideales de nidificación para ciertas aves, como los abejarucos o los aviones zapadores. En graveras abandonadas, e incluso en graveras en explotación, es relativamente frecuente la existencia de colonias de esta tipo de aves. En la fotografía se observa una colonia de abejarucos en la pared de una gravera abandonada en el sur de Madrid.



En aquellas restauraciones en las que la observación de aves acuáticas esté programada como actividad educativa, deberán disponerse paneles informativos que proporcionen al visitante información clara y precisa acerca de lo que está viendo. En estos paneles debe cuidarse tanto el contenido informativo como su diseño y ubicación. Fundamentalmente deberán construirse con materiales resistentes a las inclemencias del tiempo, y tanto su altura como el tamaño de letra deben asegurar una lectura fácil. En la fotografía, panel construido en madera tratada, con forma de atril. La tapa practicable protege el cartel de información de la lluvia, evitando o retardando su deterioro.



Los materiales de construcción de los caminos, así como su diseño, dependen de la intensidad de uso prevista para el área y el grado de naturalidad que se pretenda conseguir. En la fotografía, zona de uso intensivo de una gravera restaurada para uso mixto de conservación y recreo. En el diseño de los caminos se ha buscado, fundamentalmente, la facilidad de tránsito, su duración combinada con un mantenimiento mínimo, y que sean atractivos para los visitantes, dentro de un escenario de parque rústico acorde, en cuanto a estética, con el resto del área, en la que la restauración tiene un enfoque más naturalístico. El sendero, de unos 2 m de ancho, está asfaltado y limitado por una valla de troncos para definir el espacio utilizable por los visitantes y evitar que se dirijan hacia zonas reservadas.

### FINCHAMPSTEAD RIDGES BLACKWATER VALLEY CIRCULAR WALK

A waymarked circular walk using public rights of way and a permitted path through the National Trust owned Finchampstead Ridges. The walk crosses the wooded slopes of the Blackwater valley and follows a riverside footpath.

The Valley in this area has been subject to gravel extraction but has now been restored. The pits have been flooded and will now be used for a variety of uses. Some are for recreational pursuits such as fishing, sailing and windsurfing while others have been set aside for wildlife conservation. Those of the lakes on this walk are to be managed by B.B.O.N.T. (the local Naturalists' Trust) and further information can be obtained by phoning Reading 341721.

The walk is about 3 1/2 miles long and should take about 2 1/2 hours to do. Sturdy shoes or walking boots are recommended, as the paths can become muddy after wet weather.

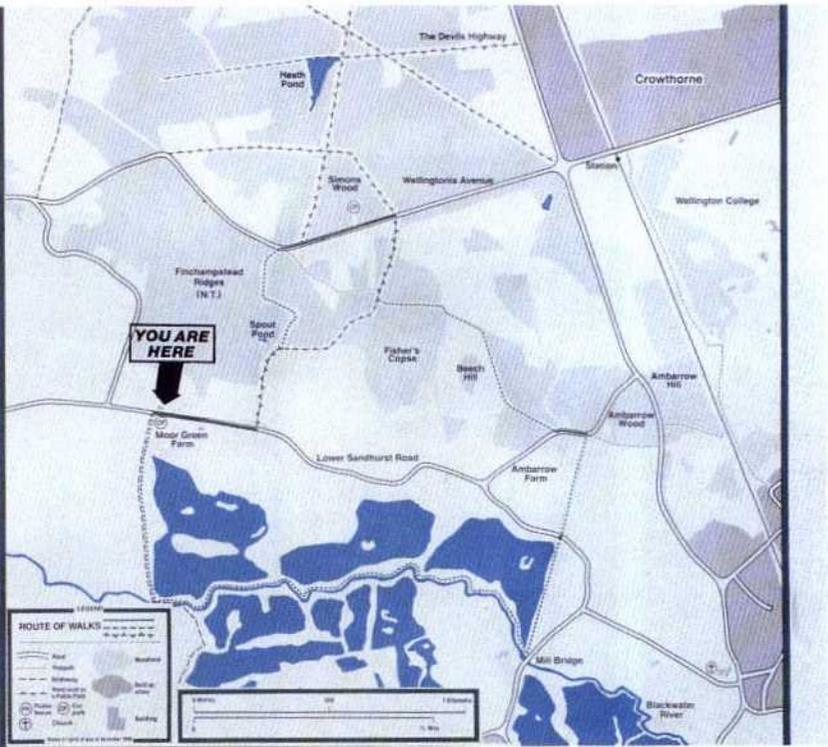
The route is waymarked with the Countryside Commission's standard colour waymarks. There may be other waymarks in the area. Those for this route bear the Berkshire crest of a crown above two lions and the words "Recreational Route". The colour of the arrow depends on the status of the right of way.

<b>FOOTPATH</b> open to walkers only	<b>YELLOW ARROW</b>
<b>BRIDLEWAY (OR DISPUTED ROAD USED AS A PUBLIC PATH)</b> also open to horses	<b>BLUE ARROW</b>
<b>BYWAY OPEN TO ALL TRAFFIC</b> also open to horses and vehicles	<b>RED ARROW</b>
<b>PERMITTED PATH</b>	<b>WHITE ARROW</b> on a green background

The walk crosses farmed land and woods which are privately owned, and home to a wealth of wildlife. Please keep to the marked paths and follow the Country Code.

This walk has been promoted by Berkshire County Council, with help of the Countryside Commission and the landowners.

Leaflets about this and other walks and rides are available from the Department of Highways and Planning to whom any comments, problems or complaints should be directed, and from Public Libraries in the area. By post, please send 41" x 8 1/2" S.A.E. to: Royal County of Berkshire Department of Highways Planning, Shoe Hat, Shenfield Park, Reading RG2 9XG.



Panel informativo instalado en una gravera restaurada para un uso mixto de recreo extensivo y natural. En ella, mediante rellenos y dejando barras de material sin explotar, se ha creado una serie de lagunas de distinta forma, tamaño, profundidad y orientación. Se ha dado a las orillas un trazado irregular, y se han dispuesto islas y atolones para proporcionar a las aves espacios aptos de refugio, nidificación y cría.



*Restauración realizada para recuperación de hábitats faunísticos.*



*Islas de diversos tamaños y tipos de sustratos, y barras de material dispuestas para compartimentar el cuerpo de agua principal, en una restauración realizada para la creación de hábitats faunísticos.*