

**CRITERIOS TÉCNICOS PARA EL DISEÑO Y EVALUACIÓN  
DE CÁRCAVAS, REVEGETACIÓN PARA DIVERSIFICACIÓN  
DEL PAISAJE, MUROS DE CONTENCIÓN, MEJORA  
AMBIENTAL DE FUENTES Y ABREVADEROS Y  
CONSTRUCCIÓN DE CHARCAS ARTIFICIALES**

**2019**



**Autores:** J.A. Gómez<sup>1</sup>, C. Castillo<sup>2</sup>, J. Mora<sup>3,4</sup>, A. Lora<sup>3</sup>, E.V. Taguas<sup>2</sup>, J.L. Ayuso<sup>2</sup>, J. Guerrero-Casado<sup>5</sup>, F.S. Tortosa<sup>5</sup>.

<sup>1</sup> Instituto de Agricultura Sostenible-CSIC

<sup>2</sup> Departamento de Ingeniería Rural. U. de Córdoba.

<sup>3</sup> Departamento de Ingeniería Forestal. U. de Córdoba.

<sup>4</sup> IMGEMA - Real Jardín Botánico de Córdoba. Ayuntamiento de Córdoba.

<sup>5</sup> Departamento de Zoología. U. de Córdoba.

**Edita:** Junta de Andalucía.  
Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible.

**Publica:** Secretaría General Técnica  
Servicio de Publicaciones y Divulgación.

**Maquetación:** Lumen Gráfica

**Colección:** Agricultura. Estudios e Informes Técnicos.

**D.L.:** SE 1282-2019

# ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>5</b>
<b>2. CONTROL DE CÁRCAVAS .....</b>	<b>17</b>
<b>3. DIVERSIFICACIÓN DEL PAISAJE.....</b>	<b>63</b>
<b>4. MUROS DE CONTENCIÓN .....</b>	<b>91</b>
<b>5. MEJORA AMBIENTAL DE FUENTES Y ABREVADEROS.....</b>	<b>97</b>
<b>6. CONSTRUCCIÓN DE CHARCAS ARTIFICIALES .....</b>	<b>105</b>
<b>7. REFERENCIAS.....</b>	<b>121</b>
<b>8. ANEJOS .....</b>	<b>127</b>
Anejo 1: Cálculo de los caudales de diseño .....	129
Anejo 2: Determinación de los atributos geomorfológicos de una cuenca vertiente para el cálculo del hidrograma de diseño .....	138
Anejo 3: Materiales y proceso constructivo de las diferentes tipologías de diques de retención .....	155
Anejo 4: Altura óptima de diques de retención .....	163
Anejo 5: Metodología de medida en cárcavas .....	165
Anejo 6: Costes del control de cárcavas mediante diferentes tipologías de diques de retención .....	168
Anejo 7: Análisis de la densidad de cárcavas en Andalucía .....	170
Anejo 8: Ejemplo de cálculo del caudal mediante la metodología paso a paso .....	175
Anejo 9: Ejemplo de diseño de actuación integral de control de cárcavas y restauración del paisaje agrario .....	178
Anejo 10: Selección de especies por comarcas para la diversificación del paisaje agrario .....	199





# 1. INTRODUCCIÓN



# 1. INTRODUCCIÓN

Este manual pretende ofrecer de manera condensada los conocimientos necesarios para un diseño racional de las estructuras dirigidas al control de la erosión y el mantenimiento del paisaje y la biodiversidad en explotaciones agrarias en el contexto de Andalucía. No obstante, está diseñado de manera que pueda ser utilizado fuera de Andalucía en zonas análogas como, por ejemplo, la mayor parte de las regiones del Mediterráneo.

Está dirigido en primer lugar a los agricultores y técnicos encargados de elaborar y ejecutar dichas estructuras en sus explotaciones, aunque también a todos aquellos técnicos que en un momento dado tengan interés para evaluar su impacto sobre la sostenibilidad de la actividad agraria, o su traslación a otros entornos como parques naturales o zonas periurbanas. Se pretende proporcionar una guía lo más completa posible para el diseño de actuaciones de control eficaces, incorporando aspectos prácticos tanto sobre la metodología de diseño como de la ejecución de las actuaciones. Se trata de un manual con carácter divulgativo, y no normativo, recordándose la necesidad de su adaptación a las condiciones de cada explotación, por el técnico responsable de su diseño y ejecución, para un buen funcionamiento.

Este manual ha sido elaborado a partir de la experiencia adquirida por los autores durante los últimos años tanto en los procesos de erosión por cárcavas y en técnicas de control para su corrección, como de la experiencia adquirida en programas de diversificación del paisaje en comarcas agrarias. Esta experiencia ha servido para adaptarlo a las condiciones de Andalucía, pero el manual se fundamenta también en una revisión de trabajos previos ya existentes en restauración de cárcavas desde principios del siglo XX. Por desgracia, muchas de aquellas experiencias han caído en el olvido, habiéndose dedicado en las últimas décadas una atención reducida a los aspectos prácticos derivados del control de la erosión. En particular en España, la aplicación y el seguimiento de la efectividad de este tipo de medidas de control de la erosión en zonas agrícolas ha sido muy limitado en las últimas décadas, habiéndose-

se producido una discontinuidad con respecto a los trabajos realizados en décadas anteriores. Este manual, que es una versión ampliada y, esperamos, mejorada de otro elaborado en 2009 (Gómez et al. 2011) con el mismo propósito pretende ayudar a restaurar esa continuidad de trabajos que se van mejorando y adaptando a medida que avanza el conocimiento y la experiencia práctica de su aplicación en explotaciones agrarias. Se agradece en especial el apoyo prestado por la Dirección General de la Producción Agraria de la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía para la elaboración de este manual.



**Figura 1.** Imagen de la restauración de una cárcava mediante diques de retención y plantación de sauce en el Colorado Front Range (EEUU) en 1933-1934. La década de los años 30 marca el inicio de la edad de oro de la conservación de suelos en este país. Desafortunadamente, en la actualidad la preocupación social por la erosión de suelos ha disminuido notablemente. Imagen tomada de Heede (1960).

Pese a los esfuerzos realizados para introducir mejoras en el presente manual, existen todavía aspectos que serán mejorados gracias al esfuerzo de todos los que en los próximos años realicen este tipo de trabajos y compartan sus experiencias en el futuro.

## 1.1. CONCEPTOS GENERALES

### 1.1.1. Definición

Por cárcava se entiende una incisión en el terreno provocada por el flujo del agua proveniente de una cuenca vertiente reducida (normalmente son canales de hasta orden tres en la red de drenaje). En general presentan evidentes signos de inestabilidad y escasa vegetación. Presentan mayores dimensiones que un reguero, no desaparecen con las operaciones habituales de cultivo y en bastantes ocasiones forman una estructura continua. La distinción entre reguero y cárcava se suelen basar en una división arbitraria en base a su tamaño. En este manual, al igual que en el Gómez et al. (2011), se considerará cárcava toda aquella incisión en el terreno de profundidad superior a 60 cm y anchura superior a 40 cm aproximadamente (Figura 2), dimensiones que no son fáciles cubrir con un simple pase de labor y requieren movimiento de tierra.



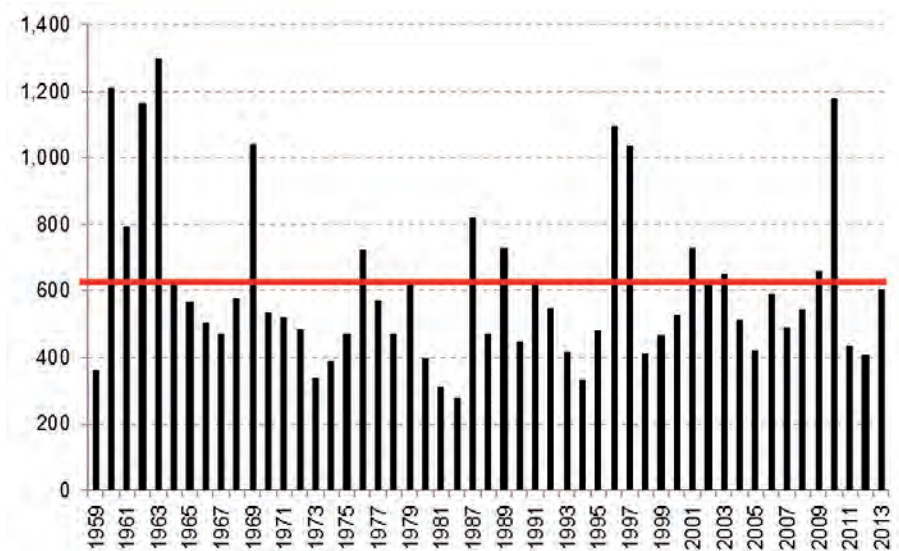
**Figura 2.** A la izquierda, cárcavas en una ladera de olivar. A la derecha, regueros en una calle.

### 1.1.2. Presencia de las cárcavas en el paisaje

Las formas erosivas son una manifestación de los procesos de denudación natural, si bien se ven agravadas por modificaciones ambientales o humanas que aumentan la vulnerabilidad del territorio. En las zonas agrícolas normalmente tienen lugar los procesos más graves de formación de cárcavas, por el impacto de las labores agrícolas en la reducción o eliminación de la cobertura vegetal, la degradación del suelo y la concentración de la escorrentía debido a la compactación en las zonas de tráfico.

Aunque pueden existir cárcavas en mitad de una ladera asociadas a algún proceso localizado, como afloramiento de escorrentía subsuperficial o desvío de escorrentía por alguna infraestructura, generalmente la mayoría de las cárcavas se sitúan en las vaguadas donde son más frecuentes y presentan un mayor desarrollo. Las vaguadas son elementos del paisaje cuya función principal es la evacuación del agua de escorrentía. Por lo tanto ocupan zonas del terreno que esporádicamente se ven ocupadas por un flujo de escorrentía con mucha capacidad erosiva. Para garantizar su estabilidad ante los eventos de lluvia, es fundamental el papel de la vegetación tanto en su papel de sujeción del terreno como en el aumento de la rugosidad. Así, cuando la vegetación es eliminada de la vaguada se produce un desequilibrio que se traduce en erosión y en crecimiento de las cárcavas que, en última instancia, afecta más allá de la vaguada original y crece dentro de la zona cultivada. En este sentido la vegetación en las vaguadas actúan como un elemento protector del paisaje ante los episodios periódicos en los que es necesario drenar la escorrentía de los eventos de lluvia muy intensos o de mucha precipitación acumulada.

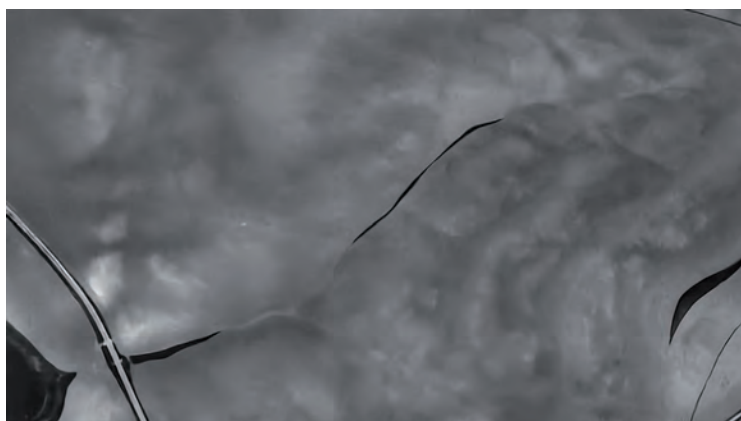
Estos episodios de 'tensión', en el clima mediterráneo están lejos de ser constantes para todos los años. Una de las características del Clima Mediterráneo es su elevada variabilidad interanual, con ciclos desiguales de precipitación donde se alternan ciclos de pluviometría alta y ciclos secos. A esta variabilidad interanual, se suma la variabilidad dentro del año, de manera que dos años con la misma precipitación acumulada es muy posible que presenten una distribución en intensidad de las precipitaciones muy diferente.



**Figura 3.** Precipitaciones anuales en la estación de Córdoba Aeropuerto (fuente AEMET). La media de la serie (alrededor de 600 mm) se presenta en rojo.

La Figura 3, referida a Córdoba capital, ilustra este concepto. En ella se aprecia cómo el valor medio no proporciona demasiada información sobre lo que ocurre, sobre todo cuando hablamos de elementos del paisaje como las vaguadas, o en su defecto las cárcavas que se forman en ellas, que son permanentes. Así lo 'normal' en nuestras condiciones, en este caso Córdoba capital, no es que lluevan anualmente 600 mm, sino una cuantía de lluvia que puede oscilar entre los 400 y los 1000. Una lectura de esto es que está garantizado que cada cierto intervalo de tiempo, que no va más allá de 10 ó 15 años, haya años muy lluviosos. En este sentido, para garantizar la estabilidad de las vaguadas, o de cárcavas restauradas, éstas deberían estar preparadas para evacuar sin daño la escorrentía en estas condiciones desfavorables que son periódicas y por lo tanto esperables.

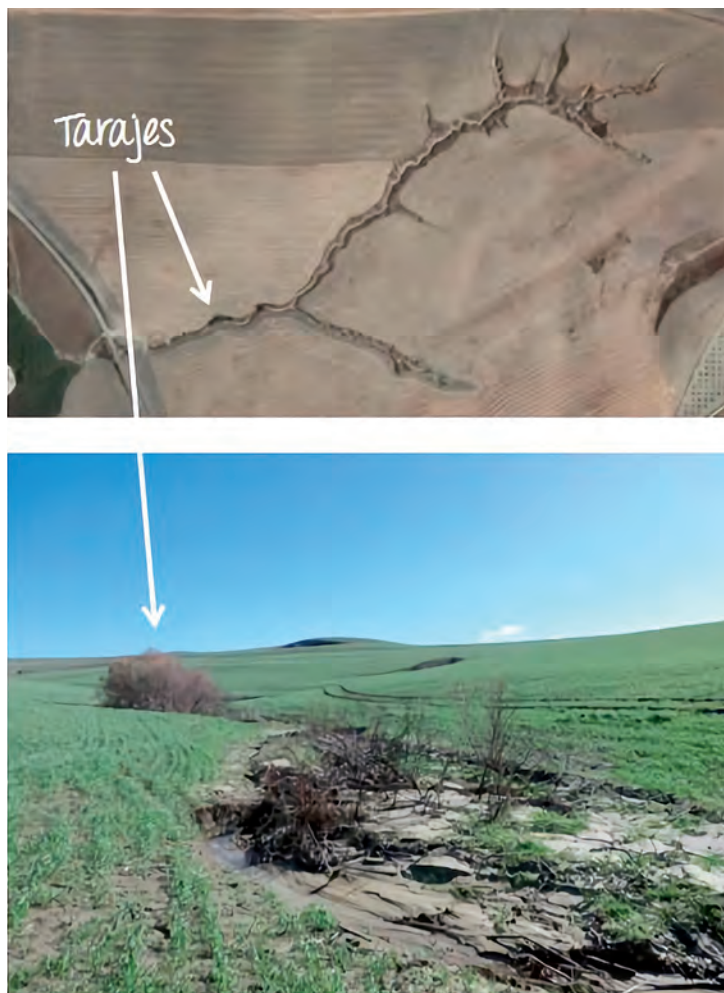
En la práctica es frecuente que en los ciclos secos estas vaguadas sean tapadas por el manejo agrícola, para volverse a abrir en las siguientes lluvias. Suele ocurrir que a los pocos años de haberse tapado, y antes de que ocurra otra tormenta importante y se vuelvan a formar, se olvide que esa cárcava existió. Sin embargo es posible observar en la serie de fotografías aéreas desde 1956 cómo ese proceso de formación y tapado periódico, es también habitual en muchas zonas agrícolas (Figura 4).



**Figura 4.** Ortofotografía de 1980 (REDIAM, 2019) en la que se ve una cárcava parcialmente tapada, línea negra discontinua en el centro de la imagen (municipio de Córdoba). El tapado de las cárcavas es una práctica que se intensificó con la entrada de la maquinaria agrícola a mediados del siglo XX.

Sin embargo, la alternativa de no tapar las cárcavas pero no contribuir a su estabilización tampoco es una solución. Una vez desequilibradas las vaguadas, los procesos de recuperación natural (crecimiento de la vegetación y la consecución de perfiles de equilibrio en los taludes y en el eje longitudinal de la cárcava) son más lentos que los procesos erosivos y supone la formación de cárcavas de gran tamaño con la pérdida de una superficie útil muy importante, Figura 5.





**Figura 5.** Sólo algunos ejemplares de taraje (*Tamarix gallica*) han podido resistir durante años en la parte baja de este cárcava (dominancia de los procesos de deposición), afectada por intensos procesos de acaravamiento en los tramos medios y superior. Ortofotografía de agosto de 2011, la misma cárcava de la figura anterior (REDIAM, 2019). Obsérvese la acumulación de sedimento a la salida de la cárcava proveniente de aguas arriba en la foto tomada en 2011. A pesar de esa acumulación, la mayor parte del sedimento se transporta aguas abajo produciendo daños más allá de las explotaciones agrícolas (p.ej, colmatación de embalses o reducción de la sección en ríos).

La recuperación progresiva de estas vaguadas requiere normalmente la acción humana que, a través de la actuación inicial mediante obras de ingeniería, cree unas condiciones favorables para la implantación y desarrollo de la vegetación, factor último de estabilidad a largo plazo.



Este vínculo entre calidad del paisaje, estado de las vaguadas y desarrollo de cárcavas ha sido reconocido en la Estrategia Andaluza del Paisaje. Así en la misma se recoge que la simplificación del paisaje agrario en las campiñas ha generado como manifestación más visible *“la formación de cárcavas, efímeras o permanentes, a causa de la erosión hídrica, con la consiguiente disminución de la superficie de suelo fértil y la segmentación de la superficie agraria”*.

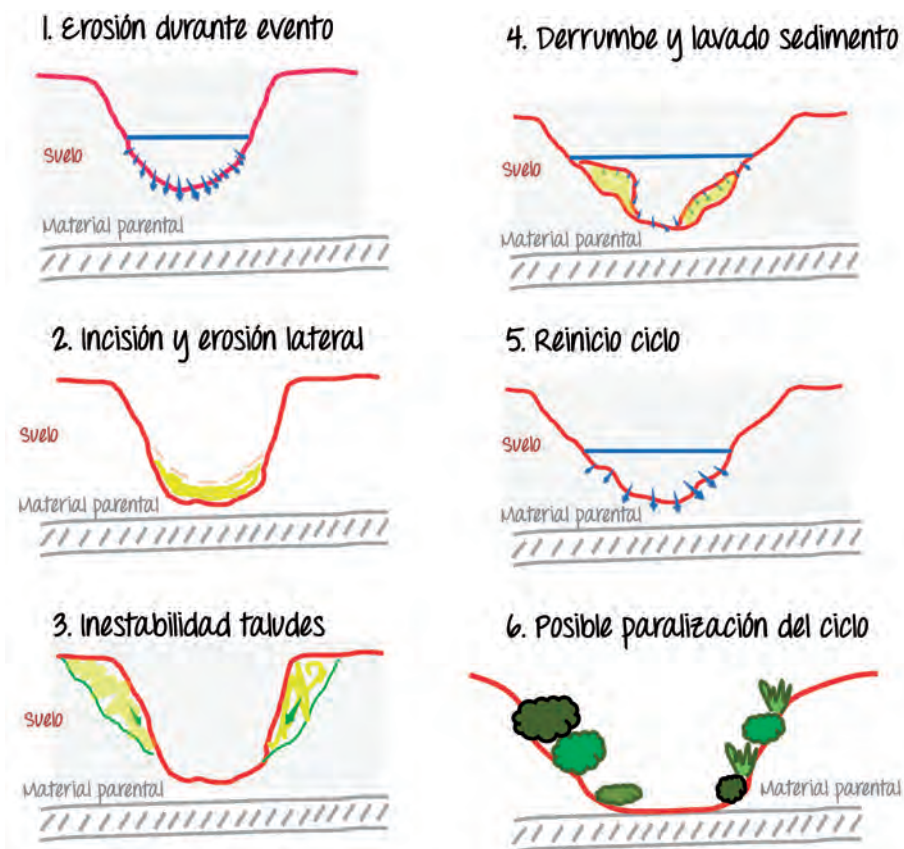
### 1.1.3. Procesos de formación y desarrollo

El fenómeno de la erosión hídrica se puede analizar atendiendo a tres factores fundamentales:

- Capacidad erosiva de la escorrentía: determinada por el caudal total y velocidades medias del flujo. Estas velocidades vienen determinadas a su vez por factores topográficos (el más importante de los cuales es la pendiente).
- Resistencia del suelo a la erosión: condicionada por propiedades del mismo, entre las que destaca su textura, su grado de consolidación y el contenido de materia orgánica.
- Protección: medidas ejecutadas con el propósito específico de minimizar las pérdidas de suelo bien reduciendo la energía del flujo o aumentando la resistencia del suelo. Esto implica actuar sobre los dos factores anteriores mediante elementos biológicos (p.ej. utilizando cubiertas vegetales en ladera o sembrando en las vaguadas) o estructuras de ingeniería (p.ej. diques de retención).

Las zonas agrícolas son normalmente las áreas del territorio más afectadas por la erosión. Esto es consecuencia de una reducida cobertura vegetal y de propiedades del suelo modificadas (normalmente menor materia orgánica y mayor compactación) que producen mayor escorrentía en las zonas de concentración del flujo (vaguadas) así como una menor resistencia a la erosión.

La erosión hídrica en cárcavas tiene lugar cuando la energía del flujo supera la resistencia del terreno a ser arrastrado. Los procesos básicos del desarrollo de una cárcava son la erosión vertical (o incisión), la erosión lateral (en el pie del talud) y el fallo del talud. El primer proceso tiende a profundizar la cárcava, mientras que los dos últimos favorecen su ensanchamiento. Estos procesos están acoplados, de modo que cuanto más profunda se hace una cárcava o más erosionado el pie de un talud, mayor es el ángulo de talud y mayor su tendencia al deslizamiento. Cuando se supera un cierto umbral el talud termina cayendo con el consiguiente aumento en anchura de la cárcava. La Figura 6 describe estos procesos básicos.



**Figura 6.** Procesos básicos en el desarrollo de cárcavas. La paralización del proceso podría ocurrir si se alcanza en la base un estrato muy resistente o por el desarrollo de la vegetación. En muchos casos el manejo intensivo de las áreas agrícolas, la existencia de sustratos blandos y la degradación continuada de las vaguadas impiden la estabilización.

El avance de la red de cárcavas puede continuar mientras persistan las condiciones de desequilibrio entre energía disponible para la erosión y la resistencia a esta erosión. Ésta es una de las razones por la que las áreas en sustratos sedimentarios blandos, como por ejemplo las margas de muchas de las zonas de Campiña en Andalucía, sean las más gravemente afectadas por la erosión por cárcavas: la incisión puede continuar a través del poco resistente material parental. Áreas con litologías duras (normalmente ígneas, metamórficas o sedimentarias muy consolidadas) pueden acabar suponiendo un obstáculo casi total a la incisión, facilitando la estabilización de la cárcava. En otras regiones el cambio de uso (por ejemplo de agrícola a forestal) ha posibilitado la estabilización natural. Desafortunadamente, desde esta perspectiva, las zonas agrícolas suelen desarrollarse sobre litologías sedimentarias por la mayor profundidad de los suelos y su mayor aporte de nutrientes.

### 1.1.4. Estrategias básicas de control

Por control de cárcavas se entiende el conjunto de actuaciones dirigidas a minimizar los procesos erosivos en las mismas, alcanzando niveles de mayor estabilidad en los canales. El objetivo final es sustituir una vaguada inestable con evidentes signos de degradación por un canal estable a medio plazo en el que la escorrentía fluya de manera controlada.

Para alcanzar esa situación de estabilidad, habitualmente es necesario combinar medidas hidrotécnicas y biológicas. Las primeras tienen como objetivo la estabilización inicial de la cárcava mediante la reducción de la energía del agua facilitando las condiciones de implantación de la cubierta vegetal. A medio plazo, el desarrollo de esta vegetación contribuirá decisivamente a la estabilización y naturalización final de la vaguada. La situación deseada sería la existencia de una vaguada naturalizada de dimensiones adecuadas para el drenaje de la escorrentía sin que crezca en dimensiones y afecte al espacio productivo aledaño.

Con carácter general se pueden considerar las siguientes técnicas de control de cárcavas:

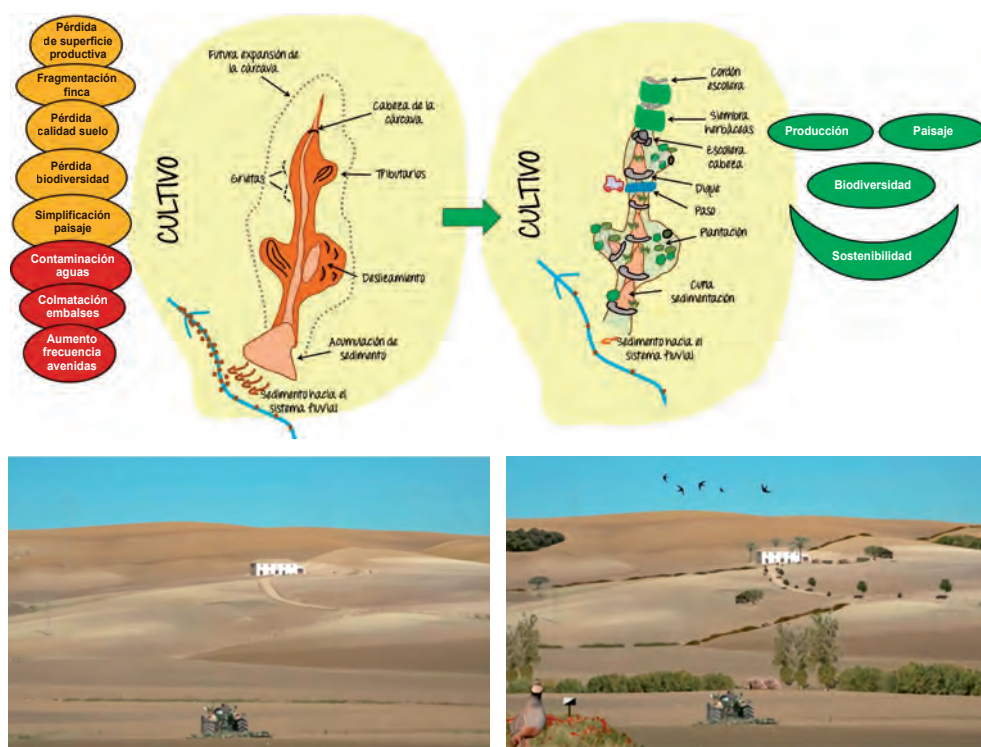
**a) Actuaciones en la cuenca vertiente de la cárcava:** incluyen medidas relacionadas con el manejo agrícola (laboreo de conservación, siembra directa, aterrazado) que persiguen fundamentalmente aumentar la infiltración y reducir la escorrentía generada. Estas actuaciones no son objeto de desarrollo en este manual. No obstante, existen numerosos trabajos en los que se ha demostrado que en condiciones mediterráneas estas acciones contribuyen a reducir el caudal circulante pero en ningún caso pueden controlar las cárcavas por sí solas una vez formadas. Esto se debe, en manera resumida, a que en años muy lluviosos (recuérdese la Figura 3) en casi todas las zonas agrícolas de ámbito mediterráneo se dan uno o más de estas situaciones: a) profundidad de suelo limitada; b) horizontes sub-superficiales de baja permeabilidad; c) suelos con carácter vértico que se expanden y sellan cuando están saturados, con el resultado de que los caudales de escorrentía siguen siendo de magnitudes elevadas.

**b) Actuaciones en la vaguada:**

1. Franjas de vegetación longitudinales (en márgenes): evitan la concentración del flujo en los laterales del cauce y aumentan la resistencia al fallo de taludes. Son especies normalmente leñosas.
2. Franjas transversales de vegetación herbácea: aumentan la rugosidad frente al flujo disminuyendo la velocidad y la resistencia del terreno.
3. Obstáculos físicos al avance de la erosión: como cordones de escollera para limitar el avance aguas arriba de la incipiente erosión por flujo concentrado.

- Series de diques de retención: reducen la energía del flujo mediante la corrección de la pendiente y disipación de la energía. Suele ser una medida necesaria para estabilizar el cauce en primera instancia hasta que las medidas de base biológica (revegetación) comienzan a ser efectivas.
- Revegetación del cauce: aumentan la rugosidad del cauce reduciendo la velocidad del flujo así como aumentan la resistencia del terreno a la erosión. Su crecimiento es relativamente lento y el éxito de la misma frecuentemente requiere la estabilización previa con estructuras de contención (diques). Suelen utilizarse especies leñosas.

La Figura 7 resume conceptualmente los problemas que crea una cárcava y cómo la concatenación de las medidas citadas anteriormente pueden resultar en su estabilización.



**Figura 7.** Modelo teórico de la necesidad de un cambio estructural en el manejo de vaguadas en zonas agrícolas. En la figura de la izquierda, situación actual en muchas zonas agrícolas afectadas por erosión por cárcavas. En la de la derecha, situación final deseada para alcanzar un óptimo productivo y medioambiental. Las imágenes de abajo ilustran el cambio mediante la elaboración de un fotomontaje en la Campiña de Córdoba.

## **2. CONTROL DE CÁRCAVAS**



## 2. CONTROL DE CÁRCAVAS

### 2.1. CONCEPTOS TÉCNICOS DE CONTROL DE CÁRCAVAS

#### 2.1.1. Criterios básicos

El objetivo del control de una cárcava es el establecimiento de una vaguada estable capaz de evacuar los caudales generados en la cuenca aportadora aguas arriba de una forma segura. La estabilización de la misma implica:

- minimizar los procesos erosivos
- detener el aumento de sus dimensiones (longitud, anchura y profundidad) para proteger las superficies productivas
- garantizar la existencia de una sección suficiente para descargar las aguas de escorrentía

Para ello es necesario normalmente combinar medidas de ingeniería y de revegetación. Dado que las medidas biológicas suelen ser esenciales en la estabilización a largo plazo de la vaguada, el control de la cárcava suele implicar su naturalización e incremento de diversidad. Así las actuaciones de control contribuyen al triple objetivo de la protección de las zonas productivas, recuperar la funcionalidad de drenaje de las vaguadas y la diversificación del paisaje agrario.

Se distinguen tres tipologías básicas de cárcavas para su control según sus dimensiones:

1. **Tipo 1, Cárcavas poco profundas con poco caudal:** se podría proceder a su tapado y perfilado de la vaguada mediante el suelo de áreas adyacentes para a continuación sembrar con especies herbáceas. Pueden construirse obstáculos de reducida altura a un espaciamiento elevado para reducir la velocidad del agua

y servir de freno al posible avance de la incisin. En este caso, el cruce de la maquinaria estarfa garantizado, teniendo en cuenta que es necesario modificar la forma de operacin en ciertas prcticas de manejo para asegurar el mantenimiento de la cubierta vegetal permanentemente.

2. **Tipo 2, Cárcavas de mediano tamao:** actuacin con diques de retencin (hasta 1 m de altura aproximadamente) y revegetacin. Son cárcavas que una vez corregidas en un primer ciclo de control, queda una superficie libre para evacuacin de los caudales y presentan un desnivel reducido entre la superficie aladaa y la base de la cárcava. Es viable ejecutar algun paso de maquinaria en varias secciones de la cárcava.
3. **Tipo 3, Cárcavas de gran tamao:** actuacin con diques de retencin (hasta 1 m de altura aproximadamente) y revegetacin. Hay secciones en la cárcava, que una vez colmatados los diques, presentan un elevado desnivel entre los márgenes y la base. La seccin libre restaurada es muy superior a la necesaria para la evacuacin de los caudales. Se podra plantear la ejecucin de diferentes ciclos de control, con recrecimiento progresivo de los diques, hasta alcanzar una situacin similar a la tipo 2, siempre que la seccin que quede sea suficiente para evacuar el caudal circulante durante una tormenta.

Tipo 1: Cárcavas o tramos de pequeas dimensiones y reducida área	
Características aproximadas	Tratamiento: Tapizado vegetal
Área de drenaje inferior a ~ 3 ha Profundidad inferior a 1 m	1. Tapado 2. Perfilado seccin 3. Creacin obstáculos: solapamiento reducido 4. Siembra herbáceas
Tipo 2: Cárcavas o tramos de mediano tamao	
Características aproximadas	Tratamiento: Diques de retencin
Área de drenaje superior a ~ 3 ha Profundidad inferior a ~ 2 m	1. Diques de retencin: solapamiento total 2. Revegetacin
Tipo 3: Cárcavas o tramos de gran tamao	
Características aproximadas	Tratamiento: Diques de retencin
Área de drenaje superior a ~ 3 ha Profundidad superior a 2 m	1. Diques de retencin: solapamiento total 2. Revegetacin 3. Posible inicio de un nuevo actuacin de control

**Tabla 1.** Tipología de cárcavas y estrategias básicas para su control.

Es habitual asimismo incluir una actuacin puntual de control en la cabeza de la cárcava, punto en el que se produce la apertura brusca de la misma. Si es de gran tamao, lo cual indica que circula mucho caudal, ésta se suele hacer, mediante bloques de escollera para evitar el avance de la erosin aguas arriba. El último dique aguas arriba



suele localizarse para que su cuña de sedimentación alcance el pie de la escollera colocada en cabeza, Figura 8. A medida que la cárcava es más pequeña esta acción en cabecera se puede hacer con escollera de menor tamaño, o con piedra más pequeña anclada con malla metálica de gavión.



**Figura 8.** Protección de la cabeza lateral de una cárcava mediante escollera. Para trabajar con escollera es necesario contar con maquinaria pesada (en este caso giratoria de 18 T) y un maquinista experimentado.

### 2.1.2. Diseño de actuaciones mediante diques de retención

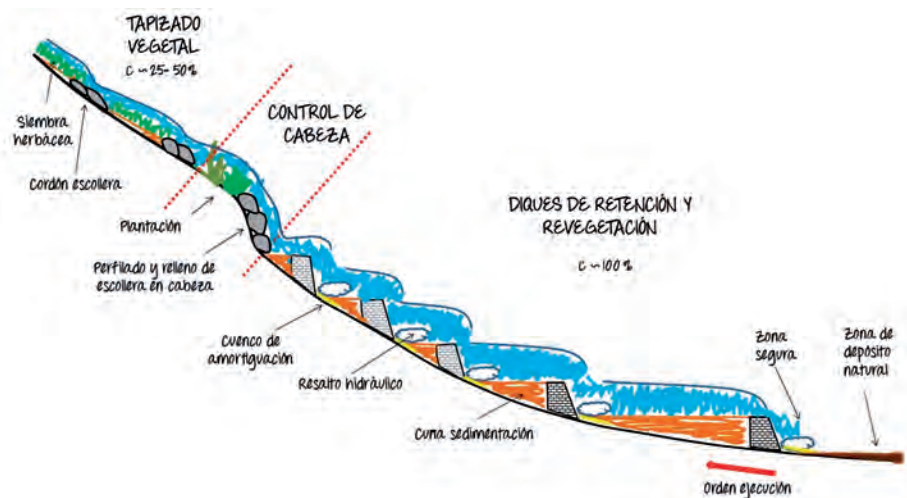
#### Espaciamiento de los diques de retención

Cuando no se ha ejecutado ninguna actuación de control, la energía que el agua adquiere al moverse aguas abajo por el cauce se disipa totalmente mediante fricción en el lecho y laterales de la cárcava. Esto origina una fuerza superficial (denominada tensión de corte) que tiende a arrastrar los agregados del suelo. Si esta tensión de corte supera la tensión crítica del suelo (resistencia), se produce el arranque y arrastre de agregados de suelo y una profundización progresiva del cauce. A medida que profundiza, existe acoplado a este proceso de erosión en el canal un desequilibrio progresivo de la estabilidad de los taludes y finalmente el fallo y desplome de los taludes de las cárcavas.

La construcción de un sistema de diques persigue reducir la capacidad erosiva del agua en su movimiento a lo largo de la vaguada hasta valores inferiores a la resistencia crítica

del terreno. Para ello, la serie de diques debe modificar el régimen hidráulico de modo que la fricción sea mínima en los tramos entre diques y se concentre la disipación de energía a pie del dique, donde se produce el impacto en la caída del agua y el posterior resalto hidráulico. Se entiende por resalto al fenómeno hidráulico de paso de régimen rápido (supercrítico) a lento (subcrítico), Figura 13, caracterizado por elevadas pérdidas de energía en un espacio reducido con presencia de turbulencias (las llamadas aguas blancas). El objetivo de la actuación es por lo tanto sustituir la disipación de la energía acumulada por el agua en su descenso a lo largo de la cárcava (originando erosión) por la disipación de la misma a pie del dique dentro de una zona protegida (cuenco de disipación).

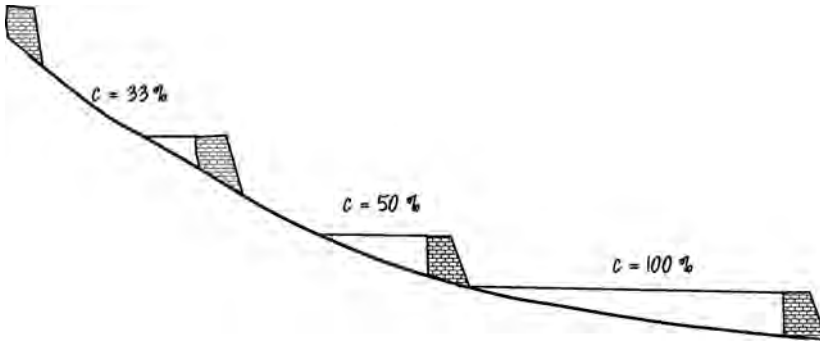
La ocurrencia del resalto en el pie del dique aguas arriba requiere que el dique aguas abajo ejerza un control efectivo sobre el régimen hidráulico. Esta influencia aumenta con la mayor cercanía entre diques. Para alcanzar una situación óptima se recomienda el espaciamiento de los diques siguiendo el criterio de nivelación (misma elevación) del pie del dique superior y vertedero del dique inferior. El aspecto general de la restauración una vez colmatados los diques sería el de una escalera. Dado que la pendiente en el perfil longitudinal de una cárcava es generalmente decreciente aguas abajo, las distancias entre diques tienden a ser crecientes mientras que las alturas de diques suelen mantenerse relativamente constantes.



**Figura 9.** Esquema de una restauración de una cárcava mediante tres estrategias: 1) tapizado vegetal en el tramo superior (reducidas dimensiones y caudal) mediante siembra de herbáceas y obstáculos de escollera; 2) control de la cabeza de cárcava mediante escollera y 3) diques de retención y revegetación en los tramos medio y bajo.

El espaciamiento entre diques ( $L$ ) es pues el elemento clave para una correcta restauración de cárcavas, tratándose de una función de la pendiente media del tramo ( $S$ ), la

altura del dique (H) y el grado de solapamiento entre diques (c). La Figura 10 ilustra este último concepto.

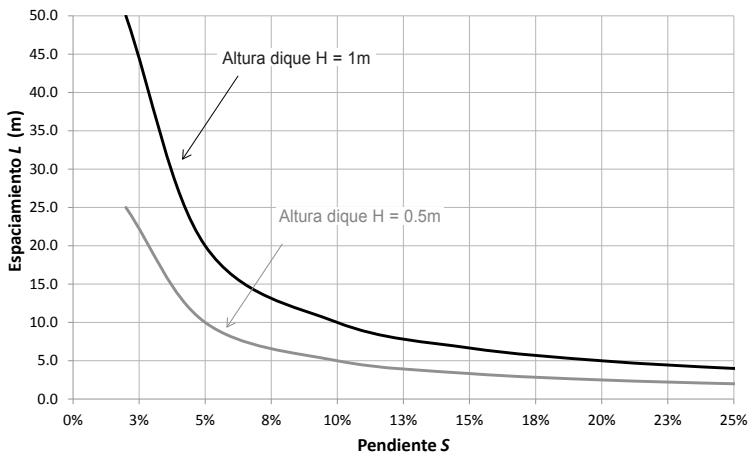


**Figura 10.** Ilustración del concepto geométrico de solapamiento entre diques.

Estas variables están relacionadas mediante la siguiente expresión:

$$L (m) = \frac{H(m)}{c(\%) \cdot S(m/m)} \cdot 100 \quad [1]$$

El valor del coeficiente de solapamiento  $c = 100\%$  equivale al criterio de nivelación recomendado. La Figura 11 permite calcular de manera gráfica estas distancias entre diques.



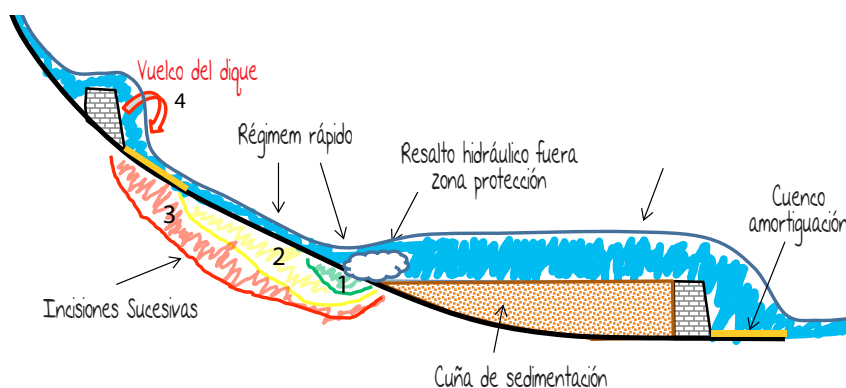
**Figura 11.** Espaciamiento recomendado entre diques según el criterio de nivelación (solapamiento  $c = 100\%$ ) en actuaciones de control mediante diques de retención en función de la pendiente media del tramo. Se muestran dos ejemplos, correspondientes a dos alturas de dique (0.5 y 1 m).

Espaciamientos superiores al del criterio de nivelación recomendado, si bien reducen el coste de la obra, ponen en riesgo la estabilidad de la misma. Mayores espaciamientos no garantizan la ocurrencia del resalto al pie del dique en el cuenco de amortiguación, pudiéndose producir en zonas sin protección. La Figura 12 ilustra este riesgo.



**Figura 12.** Vista de una restauración de una cárcava con diques de hormigón en una finca de Santaella (Córdoba). En los tramos superiores, los espaciamientos excesivos, han originado erosión aguas abajo del dique (solapamiento alrededor del 40% en los dos últimos diques). Obsérvese el efecto de protección de la cuña de sedimentación aproximadamente a una distancia definida por el criterio de nivelación.

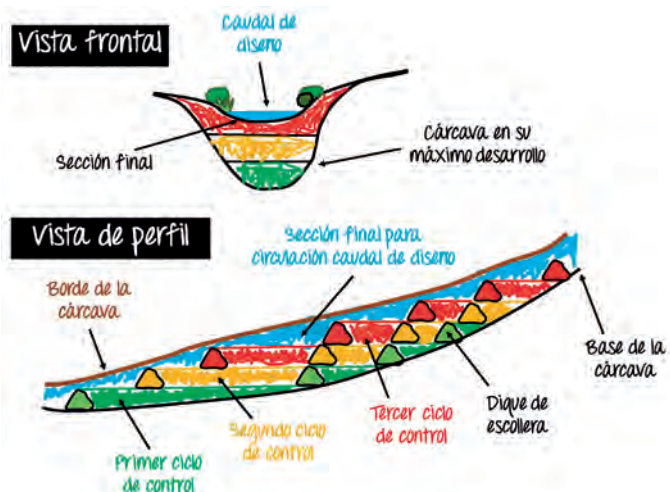
Para espaciamientos excesivos, el flujo en régimen rápido y el resalto pueden producir erosión remontante que afecte al dique situado aguas arriba, Figura 13, eventualmente generando el fallo de éste por socavación. Este proceso podría ocurrir para sucesivos diques originando un efecto de caída de fichas de dominó en dirección aguas arriba.



**Figura 13.** Esquema con la secuencia temporal mostrando las incisiones sucesivas (1-3) hasta la socavación y vuelco del dique en un tramo con un espaciamiento excesivo (solapamiento  $c \sim 50\%$ ). Este proceso puede avanzar aguas arriba sobre otros diques creando un efecto de caída de “fichas de dominó”.

Ésta es también la razón por la que se recomienda comenzar la ejecución de la serie de diques en la parte inferior de la cárcava en una zona con pendiente reducida (zona segura, normalmente inferior al 3%) y continuar en sentido ascendente. Esto permite anclar la serie de diques comenzando por una zona de seguridad en la que no va a tener lugar erosión, garantizando la estabilidad del último dique. La estabilidad de los restantes se garantiza por la protección que suministra el dique aguas abajo. La construcción de un último dique en un tramo de pendiente media o elevada no sólo pone en riesgo su estabilidad individual, sino la del conjunto de la obra al tener lugar procesos continuados de erosión remontante, más rápidos conforme aumenta la pendiente en dirección aguas arriba. Aunque lo preferible es restaurar toda la cárcava de una vez, la recomendación anterior supone que si sólo podemos restaurar un tramo al principio, optemos por el criterio que nos permite la máxima estabilidad de la obra. Esto supone asumir implícitamente que mientras se termina la restauración completa en años sucesivos a cambio permitimos que la cárcava pueda seguir creciendo en su cabecera por erosión remontante.

Desde un punto de vista teórico, Figura 14, se podría plantear la posibilidad de restaurar las cárcavas de gran tamaño (tipo 3) mediante sucesivos controles hasta alcanzar una sección final en consonancia con los caudales esperados en la misma (p.ej. caudal de periodo de retorno de 25 años que es el que se recomienda para este tipo de obras). Esto implicaría realizar una nueva actuación con diques de retención tras la finalización del ciclo de sedimentación de la actuación anterior (por ejemplo, a los 5 años, aunque este tiempo es variable según las precipitaciones en años anteriores). No conocemos ninguna experiencia previa en este sentido, ni directa ni presente en la literatura sobre erosión, por lo que lo expuesto es simplemente un modelo conceptual que requiere su validación en futuras experiencias. En cualquier caso, nunca se debe tapar completamente la cárcava, sino establecer un cauce estable en la vaguada con unas dimensiones adecuadas al caudal que debe evacuar en función de su posición en la cuenca hidrológica.

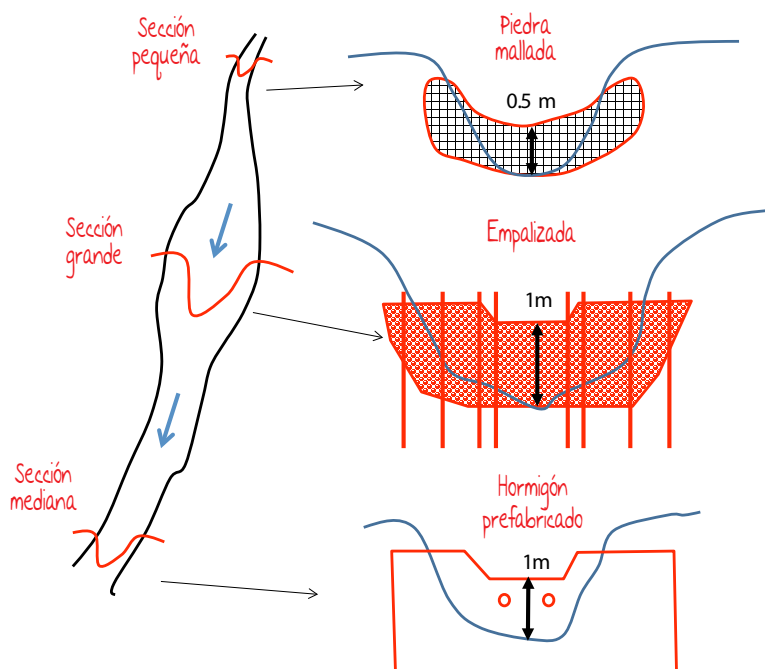


**Figura 14.** Modelo teórico de restauración completa de una cárcava hasta alcanzar la sección final en equilibrio con los caudales de diseño esperados.

## Altura de los diques

La altura de los diques debe atender tanto a criterios económicos (ver Anejo 4 donde se justifica la existencia de un rango de alturas óptimo) como de seguridad y de espacio disponible. Diques altos conducen a un menor número de diques pero de mayor envergadura y complejidad de ejecución. Asimismo, mayor altura de dique implica mayor energía en el impacto en el cuenco de disipación y mayor probabilidad de socavación del mismo. Se entiende por altura efectiva de un dique la distancia entre el pie del dique y el punto más bajo del aliviadero. En general para la restauración de cárcavas en zonas agrícolas no se recomiendan alturas efectivas inferiores a 0.5 m ni superiores a 1.5 m, siendo una altura efectiva en torno a 1 m (medida hasta el vertedero del dique) la más común y eficiente desde un punto económico, constructivo y de seguridad.

Por otra parte, se ha de tener en cuenta la profundidad de la cárcava en el tramo a restaurar. La altura de una determinada sección puede determinar la altura del dique así como la tipología del mismo, Figura 15.



**Figura 15.** Ejemplo de la elección de diferentes alturas de dique y tipología en función de las características de las secciones. Secciones pequeñas pueden no admitir diques de más de 0.5 m de altura. Secciones anchas no permiten su control mediante diques de placa de hormigón prefabricada, por las limitaciones de fabricación de las mismas (máximo 5 m de anchura). En secciones profundas no se pretende el tapado de la misma ejecutando un dique de gran altura, sino el control de los procesos erosivos, por lo que se puede adoptar una altura similar a secciones medias (en torno a 1 m, ver dique de empalizada).



## Anchura de los diques

La anchura de los diques depende de la forma de la sección y la altura del dique a construir. Para el cálculo de las dimensiones del dique es necesario considerar la anchura de la cárcava a la altura superior del dique (parte superior del vertedero) más la anchura del anclaje de las paredes del dique en las taludes de la cárcava. Como regla empírica, para dos de las alturas efectivas más comunes de diques (0.7 y 1 m), puede medirse la anchura de la cárcava a la altura de la cintura y a la altura del pecho, respectivamente. En general, se recomienda una anchura de anclaje mínima de 0.6 m en cada lateral, si bien puede ser aconsejable que sea mayor para taludes poco resistentes o secciones de gran anchura. La Figura 16 ilustra cómo desde hace décadas se presta mucha importancia a un buen anclaje en los taludes.



**Figura 16.** Ejecución de un dique de piedra por el U.S. Civilian Conservation Corps en 1939. Obsérvese en el centro de la imagen el anclado de la estructura a la base de la cárcava (~ 0.3 m) y a los taludes (~ 0.6 m) y a la derecha caja para el cuenco de disipación. El traslado de la piedra a pie de dique se realizaba con carretilla. Imagen tomada de Heede (1960).

## Caudal de diseño

Un aspecto imprescindible para el diseño de diques de retención es el dimensionamiento de las actuaciones para evacuar los caudales previstos en una determinada sección. Para el cálculo del caudal en cada sección donde se planea construir un dique o tapizar con vegetación una vaguada se ha de determinar el área contributiva (o cuenca aportadora), un coeficiente de la escorrentía generada y el evento de lluvia

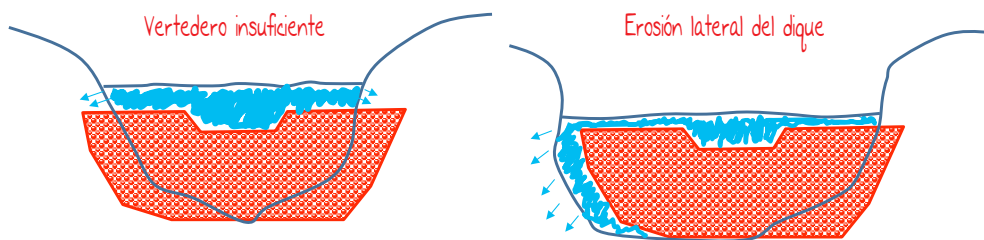
de diseño. El área contributiva es la superficie situada por encima del punto de la cárcava donde se va a actuar y que drena por el mismo. El coeficiente de escorrentía es el porcentaje (o la fracción dependiendo de las unidades) de la lluvia que se convierte en escorrentía. Y el evento de diseño usa un concepto que es el de periodo de retorno que consiste en el evento que consideramos que ocurrirá con certeza para un periodo de tiempo determinado. A mayor periodo de retorno la magnitud de este evento es mayor.

Para estructuras de control de cárcavas, se suele calcular el evento con un período de retorno de 25 años (que es el mismo periodo que se usa para cunetas y alcantarillas de caminos rurales) y una duración coincidente con el tiempo de concentración (que es el tiempo que tarda en viajar una gota de agua desde el punto más alejado del área contributiva hasta el punto donde vamos a actuar) de la cuenca aportadora.

En este manual se propone como metodologías para el cálculo del caudal aquella basada en la aplicación de Sistemas de Información Geográfica para la determinación del área aportadora (Anejo 1) y en la utilización de las ecuaciones y gráficos necesarios para la determinación por parte del usuario del caudal de 25 años de período de retorno (Anejo 2).

### Dimensionamiento del aliviadero

El dique debe contar con un aliviadero con capacidad para desaguar el caudal de diseño. Se pretende así evitar que el agua circule por encima del dique originando la erosión lateral del mismo y su colapso final.



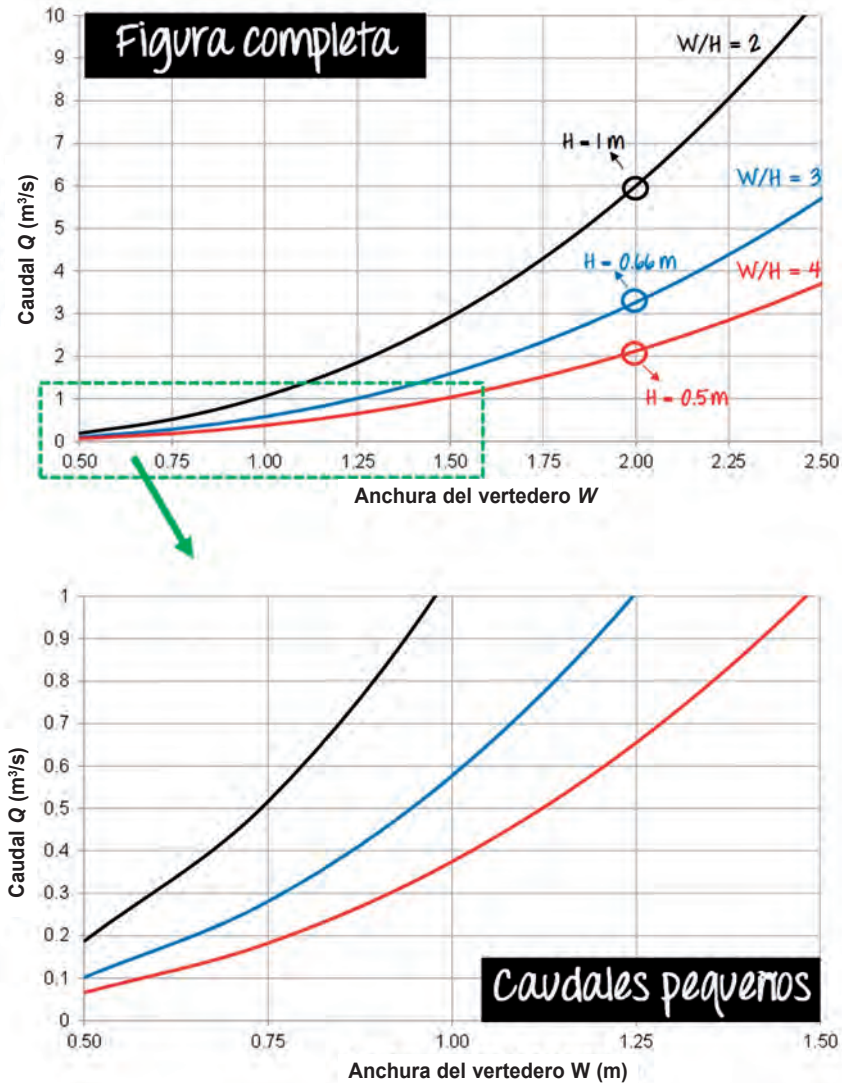
**Figura 17.** Erosión lateral por insuficiencia de la capacidad del vertedero. El vertedero debe ser diseñado para descargar el caudal de diseño en la sección correspondiente.

El aliviadero en los diques de retención se suele dimensionar como un vertedero de pared gruesa cuyo dimensionamiento viene dado por la siguiente ecuación:

$$Q = C \cdot W \cdot H^{1.5} \quad [2]$$



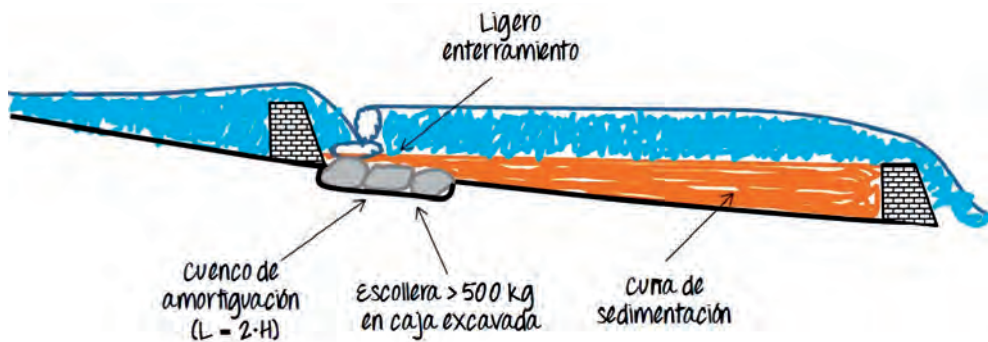
Donde  $Q$  es el caudal que pasa por el aliviadero ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) calculado en el apartado anterior,  $C$  un coeficiente experimental (normalmente se adopta un valor de 3),  $W$  es el ancho del vertedero (m) y  $H$  el alto del vertedero (m). La Figura 18 permite hacer esa estimación de manera gráfica.



**Figura 18.** Anchura del vertedero en función del caudal y de la relación geométrica de vertedero Anchura – Profundidad ( $W/H$ ). Se indican a modo de ejemplo los valores de caudal correspondiente a tres alturas de un vertedero de 2 m de ancho (gráfico superior). La figura inferior se muestra para facilitar la lectura del gráfico en el caso de caudales pequeños.

## Cuenco de disipación

La función del cuenco de disipación es proteger al dique de la socavación que genera el impacto del salto de agua y el posterior resalto hidráulico (fenómeno de gran turbulencia). De no existir protección, el dique terminaría por socavarse y colapsar. La longitud de la zona de amortiguación varía con la altura del dique y el caudal. Generalmente se adopta una regla empírica por la que su longitud se estima en aproximadamente el doble de la altura del dique, nunca menos. Hay que tener en cuenta que esta longitud suele ser suficiente siempre que el espaciamiento del dique sea adecuado (regla de nivelación). Cuando esto es así, la cuña de sedimentación del dique inferior puede llegar hasta el pie del dique superior (incluso cubrir la parte inferior del muro) lo que proporciona un colchón adicional protector a la caída, ver Figura 19.



**Figura 19.** Esquema de la relación entre el cuenco de amortiguación y cuña de sedimentación. Un adecuado espaciamiento es necesario para evitar la erosión remontante, incluso haciendo un correcto diseño del cuenco.

En caso contrario, puede existir un tramo relativamente largo desde el pie del dique hasta el fin de la cuña de sedimentación del dique aguas abajo en el que el régimen es muy rápido, ocurriendo el resalto fuera del cuenco de sedimentación (ver Figura 13).

En cuanto al material del cuenco de disipación se debe asegurar un espesor mínimo de 0.3 m, bien de piedra mallada (para que no pueda ser arrastrada por el impacto del agua) o bien de escollera suelta, lo que requiere piedras mayores de 500 kg, es decir, piedras de al menos 0.3 m de ancho por 0.8 m de largo. La piedra mallada es piedra de menor tamaño, bolo de unos 10-20 cm de diámetro, envuelta en malla de gavión (ver por ejemplo la Figura 30 en el pie de la empalizada simple).



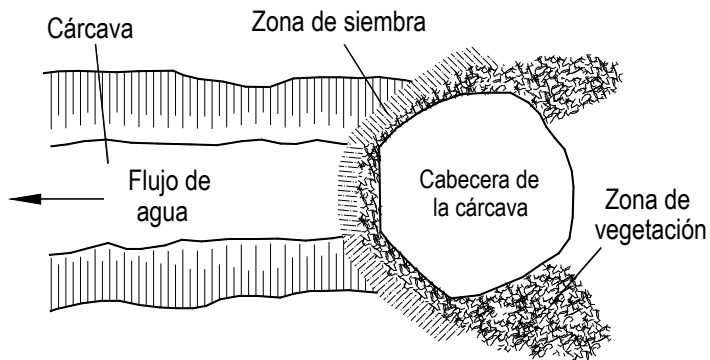
**Figura 20.** Vista de dique de gavión con cuenco de disipación enterrado por la cuña de sedimentación del dique aguas abajo con espaciamiento definido por el criterio de nivelación ( $c = 100\%$ ). Obra realizada por Tragsa en la provincia de Córdoba.

### Metodología de medida de cárcavas

El diseño de las actuaciones de control de cárcavas requiere la medida de ciertas dimensiones de las mismas en campo. Los aspectos más importantes referentes a la medida son la aplicación del criterio de nivelación para definir el espaciamiento entre diques y la medida de las dimensiones de las secciones en la cárcava. Para más información sobre la metodología de medida recomendada puede consultarse el Anejo 5.

#### 2.1.3. Revegetación de cárcavas

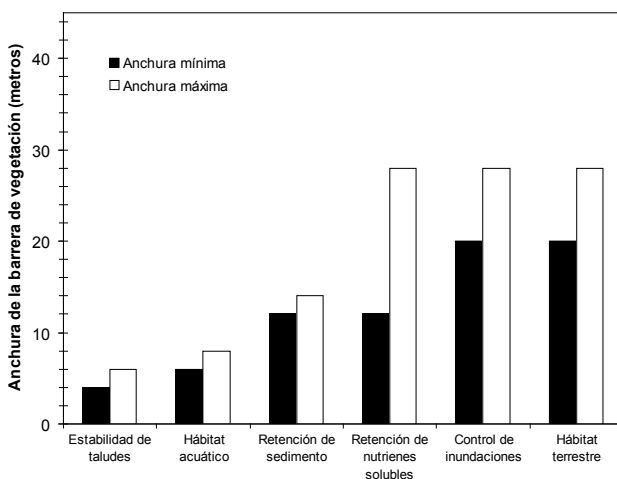
Desde el punto de vista de la conservación de suelos, el objetivo de la revegetación de la cárcava restaurada es estabilizar el terreno frente al deslizamiento y a la erosión provocada por la escorrentía que fluye por el perímetro de la cárcava. Este flujo de escorrentía ocurre en cabecera pero no únicamente. Es el elemento fundamental para terminar de dar estabilidad a las cárcavas a largo plazo, teniendo un efecto muy beneficioso desde el punto de vista ambiental, ya que una cárcava restaurada de esta manera articula el paisaje estableciendo una red de hábitats para fomentar la biodiversidad. La Figura 21 ilustra este concepto.



**Figura 21.** Esquema de disposición de vegetación en cabecera de la cárcava. Elaboración propia a partir de Gray y Leiser (1989).

En función del tamaño de la cárcava y de la magnitud de la escorrentía, esta revegetación se puede hacer únicamente con especies herbáceas (las cárcavas más pequeñas), o con una combinación de especies herbáceas y leñosas. En caso extremo, como es en el de una cabera de cárcava muy abrupta (ver Figura 8) es necesario usar algún tipo de escollera o piedra mallada para estabilizar completamente el talud.

La banda de vegetación herbácea tiene muchas otras funciones, y la Figura 22 indica la recomendación de su tamaño mínimo en función de estas funciones. La revegetación perimetral únicamente con herbáceas sólo se recomienda en cárcavas de pequeño tamaño, Figura 23.



**Figura 22.** Anchura recomendada para barreras de vegetación. Elaboración propia a partir de Schultz et al. (2009).

Lo recomendable es combinar la revegetación con herbáceas con una plantación con especies leñosa que forme una especie de seto perimetral a lo largo de la cárcava, en especial en su cabecera (Figura 23). Para que estos setos sean efectivos deben formar una barrera de vegetación densa, suficientemente rígida y alta; sólo así serán capaces de retener el terreno y el sedimento sin ser arrancados o enterrados. Deben situarse de manera perpendicular a la dirección de entrada de la escorrentía. Como orientación se pueden usar las recomendaciones de densidad de plantas indicadas en la Tabla 2, medida a una altura de unos 15 cm sobre el suelo. En cualquier caso, en el caso de necesitar un seto muy denso, se debe buscar que al final de la primera campaña, no haya espacios entre tallos mayores de 7 cm. La Figura 24 muestra ejemplos y puede orientar acerca de la densidad óptima que se debería conseguir en este tipo de setos.



**Figura 23.** Ejemplo de siembra combinada con plantación en cabecera de cárcava. Cortesía del NRCS.

Díámetro de tronco (cm)	Zona de flujo concentrado Tallos/m <sup>2</sup>	Otras zonas Tallos/m <sup>2</sup>
0.25	11000	5500
0.38	2200	1100
0.51	666	333
0.64	333	166
1.25	44	22
>2.54	11	11

**Tabla 2.** Densidades de plantas recomendadas en setos para control de erosión (adaptada de National Resources Conservation Service, 2003).



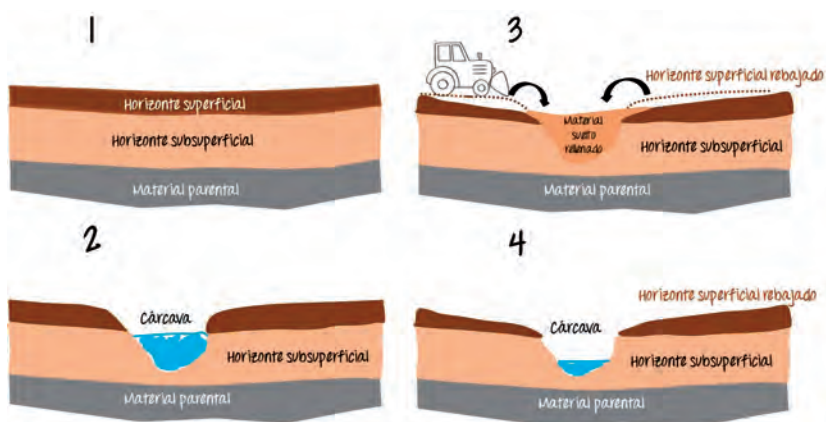


**Figura 24.** Setos de vegetación para protección de cauces (izquierda) y control de erosión en lindes de campos cultivados (derecha). Cortesía NRCS.

La sección 3 de esta manual y los Anejos 9 y 10 orientan en detalle sobre este proceso de plantación perimetral.

### 2.1.4. Diseño de las actuaciones de tapizado vegetal

En la actualidad el manejo más habitual que se realiza en las cárcavas es el tapado de las mismas con maquinaria, especialmente en cultivos herbáceos. Para ello se utiliza el horizonte superficial del suelo de zonas aledañas (el horizonte con mejor estructura y más rico en materia orgánica y nutrientes) para tapar la incisión abierta. Este material está suelto y no tarda en verse arrastrado por las siguientes lluvias. Este manejo repetido a lo largo del tiempo conduce a la profundización de las vaguadas y al empobrecimiento progresivo de superficies crecientes en las zonas próximas a las mismas, Figura 25.

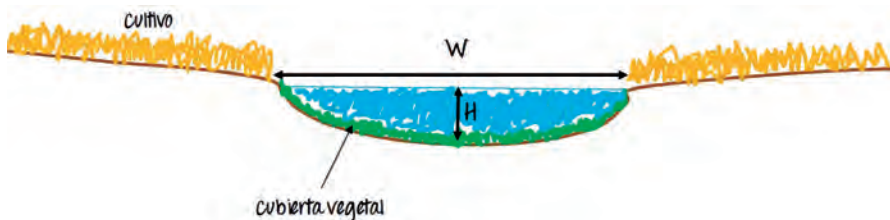


**Figura 25.** Procesos de degradación de los suelos de vaguada y aledaños por la erosión por cárcavas bajo el manejo de tapado. Obsérvese el adelgazamiento del horizonte superficial del suelo contiguo a la cárcava.

Por lo tanto, el tapado de las cárcavas no se recomienda como medida aislada por no tratarse de una actuación efectiva para el control de cárcavas y la estabilización de las vaguadas. Únicamente en cárcavas pequeñas, con poca área contributiva y, por lo tanto, un caudal punta moderado, se puede realizar el tapado previo de las mismas para posteriormente proceder a la revegetación de la vaguada con especies herbáceas, con el objeto de crear un corredor permanente vegetado. Este tratamiento se conoce en la literatura inglesa como “grassed waterways” que en castellano se podría traducir como canal vegetado, Figura 26.



**Figura 26.** Ejemplo de canal vegetado para evacuar escorrentía en pequeñas vaguadas sin que se formen cárcavas. Cortesía NRCS.



**Figura 27.** Esquema de una vaguada vegetada bajo el caudal de diseño de anchura  $W$  y altura  $H$ . El agua discurre por una sección amplia con bajo calado por lo que su capacidad erosiva es reducida. La siembra de herbáceas aumenta la rugosidad, reduciendo la velocidad del flujo al tiempo que aumenta la resistencia del suelo al arrastre. En general, sólo se recomienda su utilización en cárcavas de pequeñas dimensiones y área de drenaje donde el tapado sea factible y el caudal de magnitud reducida.

La función de estas vaguadas vegetadas es aumentar la rugosidad, reducir la velocidad del flujo y aumentar la resistencia del terreno a la erosión. En general, no se recomienda implantarlas en pendientes superiores al 10%. Para pendientes superiores, debería combinarse su uso con obstáculos de baja altura. Su función sería servir de freno a la erosión incipiente que pudiera tener lugar, así como contribuir a reducir la pendiente y por lo tanto la velocidad del agua. Se recomiendan estructuras de poca altura (de 0.3 a 0.5 m) que van a ser largas pues ocupan la anchura de la vaguada perfilada, Figura 28.



**Figura 28.** Ejemplo de canal vegetado con cordones de piedra para reducir la velocidad de la escorrentía. Cortesía del Soil Conservation District del Condado de Blount, Tennessee.

Un ejemplo de estos obstáculos podrían ser cordones de escollera suelta (de 500 a 100 kg por piedra). En este caso el espaciamiento no tendría que ser tan exigente como en las actuaciones mediante series de diques en cárcavas medianas o grandes. Valores de solapamiento en torno al 25 - 50 % pueden ser razonables. Para el cálculo del espaciamiento de estos obstáculos, se puede utilizar la siguiente expresión que define el solapamiento necesario para obtener una pendiente final corregida ( $S_f$ ) en función de la pendiente inicial:

$$c(\%) = \left(1 - \frac{S_f}{S}\right) \cdot 100 \quad [3]$$



Así para pasar de una pendiente de un 15% a un 10 %, el solapamiento necesario sería del 33%. El espaciamiento entre obstáculos se podría obtener con la Ecuación 1. Así, para este caso, utilizando cordones de escollera con 0.3 m de altura efectiva, el espaciamiento necesario sería de 6 m.

En el tapado, se debe perfilar la vaguada para garantizar que el caudal de diseño (normalmente para un período de retorno de 10 años) circula por la sección con velocidades inferiores a 1.5 m/s para evitar la erosión de la cubierta vegetal. La profundidad y anchura mínima de la sección se puede obtener mediante la Tabla 3. Esta tabla debe interpretarse como sigue. En primer lugar hemos de calcular qué caudal va a circular por esa sección de canal vegetado para la tormenta de diseño, en el Anejo 2 se explica cómo. Una vez calculado se entra en la misma con el caudal obtenido, y se puede determinar, en función de la pendiente, la anchura y altura mínimas para que la escorrentía circule sin alcanzar una velocidad superior a la velocidad crítica. En los cálculos de la Tabla 3 se ha considerado una velocidad crítica de 1.5 m/segundo de acuerdo a Blanco y Lal (2008). Estos cálculos se deben realizar en diferentes tramos de la cárcava, estimando la pendiente media y el caudal circulante.

		Caudal $Q$ (m <sup>3</sup> /s)											
		0.3 m <sup>3</sup> /s		0.5 m <sup>3</sup> /s		1 m <sup>3</sup> /s		2 m <sup>3</sup> /s		3 m <sup>3</sup> /s		5 m <sup>3</sup> /s	
		H (m)	W (m)	H (m)	W (m)	H (m)	W (m)	H (m)	W (m)	H (m)	W (m)	H (m)	W (m)
<b>Pendiente S</b>	<b>2%</b>	0.27	1.12	0.27	1.86	0.27	3.72	0.27	7.43	0.27	10.94	0.27	18.95
	<b>3%</b>	0.20	1.51	0.20	2.52	0.20	5.02	0.20	10.29	0.20	15.07	0.20	28.19
	<b>4%</b>	0.16	1.87	0.16	3.13	0.16	6.23	0.16	12.65	0.16	20.66		
	<b>5%</b>	0.14	2.22	0.14	3.70	0.14	7.55	0.14	16.46	0.14	23.27		
	<b>6%</b>	0.12	2.54	0.12	4.30	0.12	8.53	0.12	17.75				
	<b>7%</b>	0.11	2.86	0.11	4.77	0.11	9.67	0.11	20.52				
	<b>8%</b>	0.10	3.17	0.10	5.31	0.10	11.27	0.10	27.60				
	<b>9%</b>	0.09	3.47	0.09	5.76	0.09	11.81						
	<b>10%</b>	0.08	3.74	0.08	6.35	0.08	12.69						

**Tabla 3.** Determinación de la anchura y altura mínimas de la vaguada perfilada para su revegetación en función de la pendiente y el caudal de diseño. Normalmente caudales grandes corresponden a pendientes reducidas.

Para la revegetación la recomendación es usar alguna especie de gramínea de porte bajo y sea bien perenne o tenga un ciclo relativamente corto de manera que pueda semillar de un año para otro aunque la primavera sea seca. Aunque no son muy numerosas, existen ya disponibles en el mercado diferentes variedades de vallico (*Lolium*), *Brachypodium* o *Bromus* para este propósito. Dependiendo de la especie y variedad, el material de reproducción proviene de semilla certificada o recolectada de plantas silvestres, y cada una de ella tiene una dosis de siembra específica que conviene contrastar con el distribuidor, aunque un valor orientativo se sitúa entre 20-30 kg/ha. En todos los casos conviene aplicar una fertilización nitrogenada (equivalente a 50 UF) en el momento de la siembra en otoño. En el caso de no disponer de suficiente semilla

de estas especies se puede sembrar en bandas perpendiculares a la máxima pendiente. Sería el equivalente de las bandas de piedra en la Figura 28, sembrando fuera de ellas otra gramínea fácilmente disponible, por ejemplo cebada. En uno o dos años las poblaciones de estas gramíneas de ciclo más corto acabarán ocupando todo el canal vegetado si se logran sembrar adecuadamente. Es muy importante, cuando optemos por este tipo de canal vegetado, asegurarnos de que no introducimos ninguna especie exótica ni por supuesto que sea de difícil control, ya que podría acabar infestando la parcela agrícola adyacente.

### 2.1.5. Tipologías de diques de retención

La elección de la tipología a emplear en diques de retención depende de las características de la sección particular en las que se va a localizar así como de la disponibilidad de los recursos (material y mano de obra) para el propietario. Se propone la siguiente clasificación sencilla para tener una orientación de los diseños que pueden ser más adecuados:

		Anchura de la cárcava		
		< 1 m	1 - 3m	> 3m
Profundidad de la cárcava	< 1 m	Cordones de escollera Siembra de herbáceas	Piedra mallada Escollera suelta	Piedra mallada Escollera suelta
	> 1 m		Placa de hormigón prefabricado Empalizada (simple o doble) Escollera suelta	Empalizada (simple o doble) Escollera suelta

**Tabla 4.** Propuesta orientativa de clasificación de cárcavas y posibles tipologías a utilizar.

En general, se recomiendan los diques de materiales porosos con capacidad de evacuar agua a través de la estructura, Figura 29, por lo que sólo caudales elevados pasarán por el vertedero.

**Figura 29.** Los diques de materiales porosos descargan parte del caudal a través de la estructura. Esto hace que sólo caudales elevados descarguen sobre el vertedero, lo que reduce las presiones hidrostáticas, así como el riesgo de desbordamiento y colapso de la estructura. Imagen tomada de Heede (1960).



En la Figura 30 se muestran algunos de los diseños recomendados basados en experiencias realizadas en Andalucía por los autores y en las que se apuesta por diques en los que el peso del material proporciona la estabilidad estructural.



**Piedra mallada (sin armadura)**



**Piedra mallada (con armadura)**



**Empalizada simple**



**Empalizada doble**



**Placa de hormigón prefabricado**



**Cordones de escollera**

**Figura 30.** Algunas de las tipologías recomendadas en la ejecución de actuaciones de control de cárcavas.

No obstante, estos diseños no agotan todas las posibilidades y existen otras alternativas que usan otras aproximaciones. Las Figuras 31 y 32 muestran otros diseños recomendados en numerosos manuales. Es muy importante recordar que cuando se construyan diques de retención basados en materiales ligeros, como ramas, troncos, etc..., estos materiales tienden a flotar cuando la cárcava transporta agua por lo que

su anclaje apropiado al terreno es fundamental. Sin diseñar y ejecutar correctamente un buen anclaje, este tipo de alternativas son muy poco estables y tienen un alto índice de colapso. Este anclaje es especialmente complicado en suelos sobre materiales blandos tipo margas en los que las clavijas o pilones tienden a deslizarse verticalmente cuando están húmedos debido a su elevado porcentaje de arcilla.

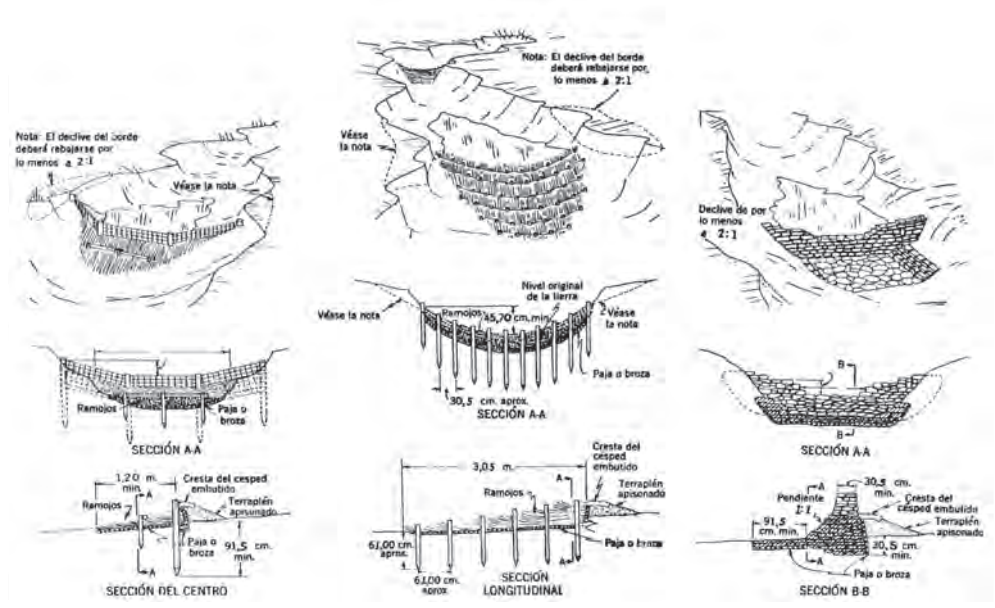


Figura 31. Ejemplos de diques de retención. Secretaria de Estado de los EEUU (1950).

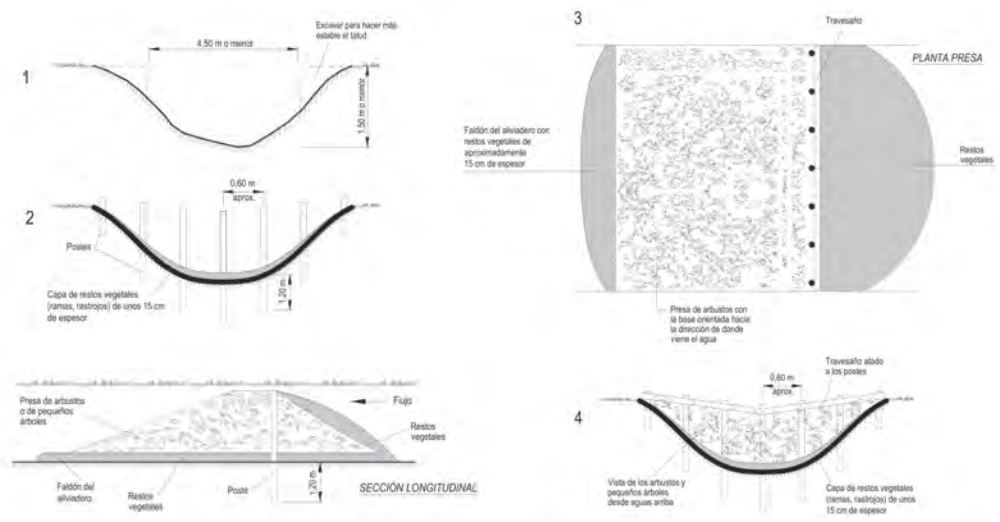


Figura 32. Esquema de dique de una fila de estacas y ramas. Elaboración propia a partir de Gray y Leiser (1989).

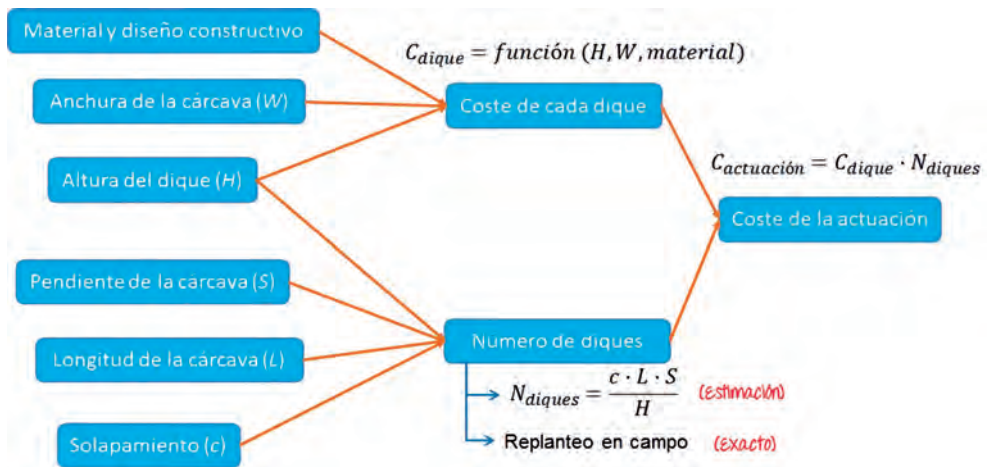


Para más detalles sobre los materiales y proceso constructivo de las diferentes tipologías puede consultarse el Anejo 3.

### 2.1.6. Análisis de costes de medidas de control de cárcavas

#### Costes de actuaciones con diques de retención

El coste de una actuación de control de cárcavas mediante diques de retención depende de los factores resumidos en la Figura 33:



**Figura 33.** Factores que influyen en el coste de una corrección de una cárcava mediante diques de retención.

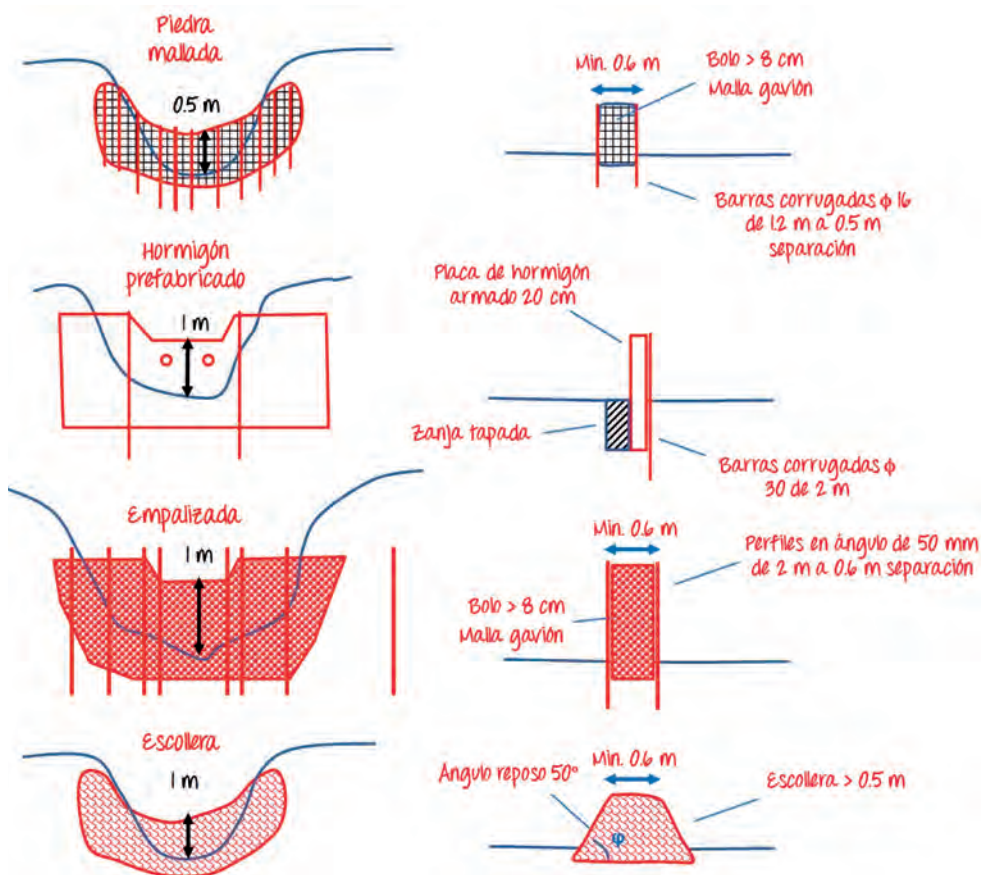
#### a) Altura óptima para el control de una cárcava

El coste total de una actuación es el producto del número de diques y el coste medio por dique. A medida que crece la altura efectiva de un dique, se incrementan sus costes por la mayor cantidad de recursos utilizados. Por otra parte, para el conjunto de la obra, a mayor altura de dique menor número de ellos es necesario. ¿Qué es más eficiente desde un punto de vista económico, construir pocos diques altos más caros o muchos diques bajos y baratos? En el Anejo 4 se incluye una justificación de las alturas óptimas de las diferentes tipologías de dique.

#### b) Material y diseño constructivo. Coste por metro de anchura de dique.

El coste de cada dique es una función del diseño escogido y recursos utilizados en su construcción. En este manual se recogen 4 tipologías principales: piedra mallada, placa

de hormigón prefabricado, empalizada (simple o doble) y escollera suelta. Estos diseños han demostrado ser eficaces y fácilmente ejecutables en la restauración de cárcavas en zonas agrícolas. En la figura 34 se muestra un esquema de las diferentes tipologías.



**Figura 34.** Esquema de las principales tipologías de diques en la restauración de cárcavas en zonas agrícolas. Obsérvese la necesidad de anclaje de la estructura tanto en el fondo de la cárcava como en los laterales. En caso de diques de más de 1 m de altura, el espesor del muro debe incrementarse respecto al mínimo de 0.6 m indicado, al igual que los diámetros de perfiles y barras metálicas.

Para el diseño de las diferentes tipologías se han seguido criterios constructivos recomendados en manuales de control de cárcavas. Dado que se trata de obras de muy pequeño tamaño (normalmente hasta 1.5 m de altura), en general no es necesario realizar un estudio exhaustivo de la estabilidad de los diques. Para obras de mayor complejidad y tamaño este estudio debe realizarse y pueden tomarse como referencia manuales de estructuras y cimentaciones (p.ej. Ayuso et al., 2010).

El total de recursos utilizados incluye los materiales, maquinaria y mano de obra necesarios para la ejecución del muro y del cuenco de disipación. Se ha supuesto que el cuenco de disipación de los diques de piedra mallada y doble empalizada se realiza con piedra mallada, y en el caso de placas de hormigón prefabricado y escollera suelta, con escollera.

Para estimar el coste de cada dique es necesario valorar dos aspectos: los recursos que se van a utilizar (materiales, maquinaria y mano de obra) y el precio de los mismos. En el Anejo 6, se aporta la cantidad de cada uno de estos recursos básicos para cada tipología en función de la altura efectiva del dique. Estos datos se aportan por metro de anchura del dique. Estas tablas pueden ser utilizadas para estimar la cantidad de cada recurso para un dique conocida la altura y su anchura.

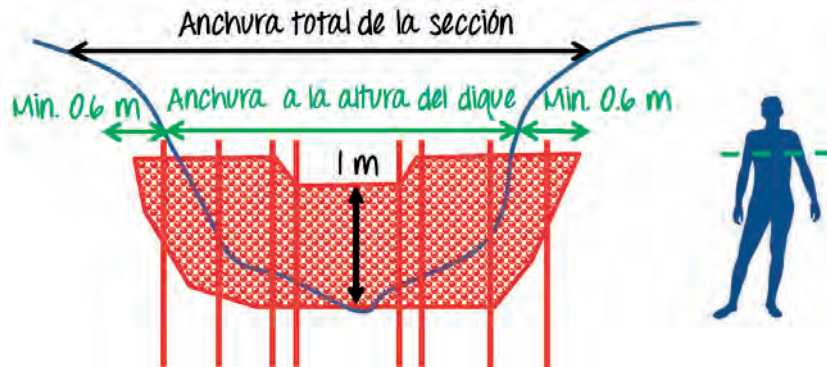
En el Anejo 6 se incluyen asimismo los precios considerados en este manual para estimar las curvas de costes, realizados con precios de junio de 2014. Estos precios corresponden a la ejecución por Administración, lo que implica normalmente costes superiores a los que pueden conseguir los propietarios en su negociación con las empresas proveedoras. Las tablas proporcionadas permiten estimar por parte del usuario los precios aplicables a su caso particular.

Las tablas permiten asimismo estimar los costes eliminando algunos de los conceptos de coste (p.ej. mano de obra) en el caso que para el propietario dispusiera del mismo en su explotación. Los resultados que se presentan (incluyendo cantidad de materiales, rendimientos y precios de los recursos) corresponden a los datos reales obtenidos en diferentes obras realizadas en restauración de cárcavas por lo que pueden ser orientativos para obras de similares características.

### c) Coste de un dique

Decidida la altura de dique, se puede estimar el coste por dique utilizando las tablas del Anejo 6 y multiplicando por la anchura de la cárcava a la altura total del dique (como regla se puede utilizar la altura de la cintura para diques de 0.7 m y la altura del pecho para diques de 1 m), ver Figura 35. A esta anchura se le debe sumar 2 veces el anclaje lateral de los diques, que como mínimo debe ser de 0.6 m en cada lateral. Así, la anchura del dique será:

$$W_{dique} = W_{cárcava\_altura\_dique} + 1.2 \quad [4]$$



**Figura 35.** Ilustración de las diferencias entre la anchura de la sección y anchura a la altura del dique para un dique de empalizada de altura efectiva 1 m. Se podría medir esta anchura a la altura del pecho (~1.3 m) para tener en cuenta la altura del vertedero.

El coste de un dique es el producto del coste por metro de anchura y la anchura del dique:

$$C_{dique} = C_{m\_de\_Anchura} \cdot W_{dique} \quad [5]$$

d) Número de diques

El número aproximado de diques necesario para la restauración de un tramo de cárcava es una función del grado de solapamiento, la longitud del tramo a restaurar, la pendiente media y la altura efectiva de los diques. Para una primera estimación del número de diques necesario, en base a datos medios de pendiente y altura de dique se puede utilizar la siguiente ecuación:

$$N_{diques} = \frac{c(\%) \cdot L \cdot S}{H \cdot 100} \quad [6]$$

El grado de solapamiento recomendado es del  $c = 100\%$  y  $S$  debe ser la pendiente media en el tramo a restaurar. Si bien se puede utilizar esta ecuación como una primera aproximación, se recomienda el cálculo de los diques realizando el replanteo de los mismos en campo (ver ejemplo en Anejo 9) teniendo en cuenta el perfil longitudinal real de la cárcava.

e) Coste total de la actuación

El coste total es la suma de los costes de los diferentes diques:

$$C_{actuación} = \sum C_{dique} = \sum C_{m\_de\_Anchura} \cdot W_{dique} \quad [7]$$



En el Anejo 9 se incluye un ejemplo de la estimación del coste de una obra mediante diques de retención.

### Costes del tapizado vegetal

El coste del tapizado vegetal es básicamente el de las operaciones de siembra, la semilla y el abonado. Pueden ser muy variables en función sobre todo del coste final de la semilla usada, pero un valor aproximado, de nuevo precios de Administración, está alrededor de 135 €/ha sembrada. En el caso de utilizar cordones de escollera, éste se puede calcular conforme a los criterios y costes unitarios explicados en el Anejo 9.

### 2.1.7. Eficacia de las actuaciones de control de cárcavas

La eficacia de estas actuaciones se puede valorar atendiendo al grado de estabilidad alcanzado tras su implantación. Si una actuación es exitosa inicialmente, el crecimiento de la cárcava debe detenerse y empezar a apreciarse signos de estabilización como la ausencia de procesos erosivos de importancia, la sedimentación en los diques y el crecimiento de vegetación.

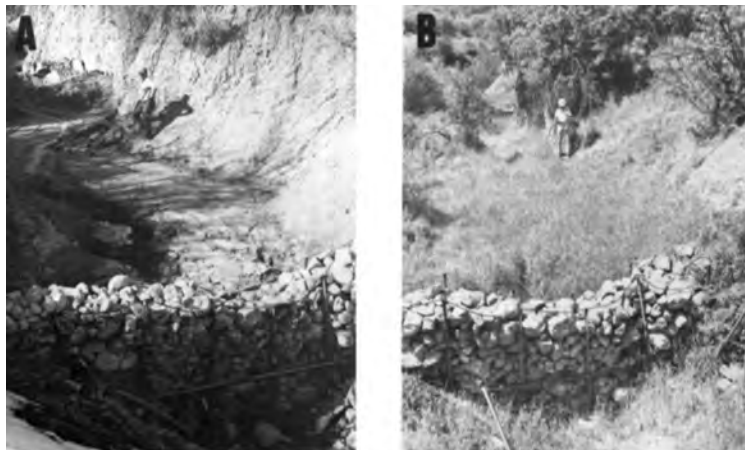
La eficacia de las vaguadas vegetadas depende principalmente de la implantación de la cubierta permanente y el mantenimiento que se haga de la misma con el tiempo (resiembras, cuidado en las labores de manejo agrícola).



**Figura 36.** Comparación del estado de una vaguada vegetada con obstáculos el momento de su ejecución (1964) y cuarenta años después (2004). Tomada de Weinhold (2004).

Las medidas de ingeniería, si son bien diseñadas, son de gran eficacia desde el momento de su construcción por su efecto represa que reduce drásticamente la capacidad erosiva de la escorrentía. Tras la sedimentación, los diques continúan siendo efectivos como consecuencia de la reducción de pendiente en la solera. En las condiciones climáticas y edáficas mediterráneas en zonas agrícolas la sedimentación de estas pequeñas infraestructuras

tiene lugar normalmente en sólo unos años. Una vez colmatados, los diques contribuyen a la estabilización de los taludes al reducir su altura, así como favorecen la conservación del agua en la cárcava facilitando el establecimiento de la vegetación.



**Figura 37.** Comparación del estado de una cárcava en el momento de su ejecución y diez años después. Obsérvese la reducción de la pendiente de los taludes y el establecimiento de la vegetación. Imagen tomada de Heede (1976).

La estabilidad va incrementándose con el tiempo, especialmente con el desarrollo de la vegetación y naturalización del cauce.



**Figura 38.** Sedimentación en diques de doble empalizada en el primer otoño tras su implantación en una finca de olivar.



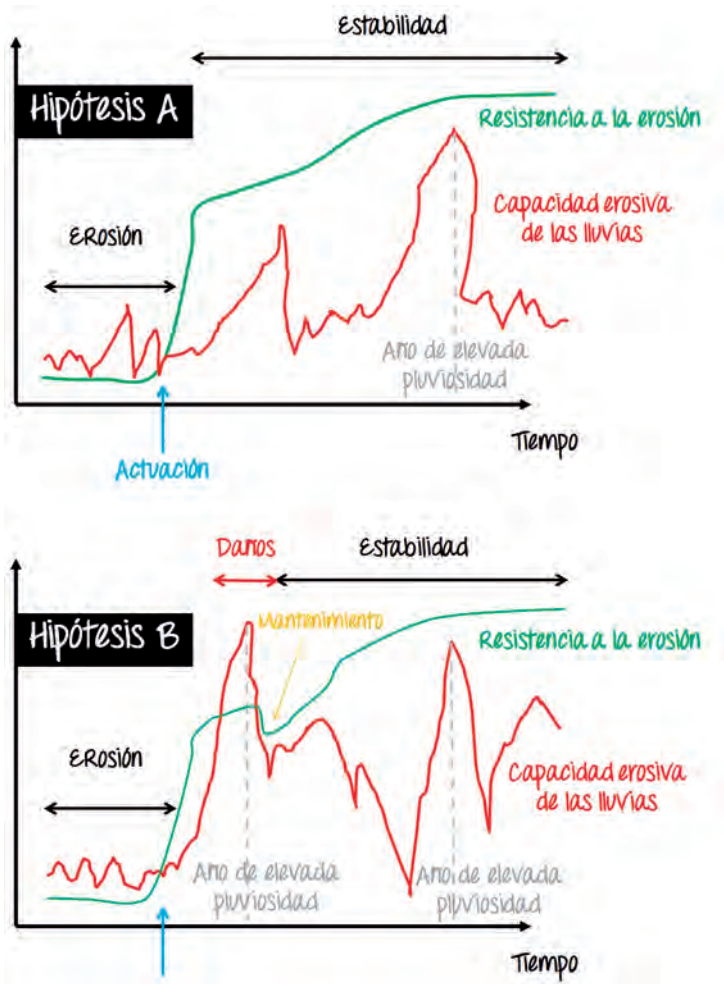
**Figura 39.** En primer plano, dique de piedra mallada colmatado en una cárcava en olivar. El elemento más visible es el cuenco de disipación. El tramo restaurado aparece tras tres años de la actuación como totalmente estabilizado y la vegetación tanto espontánea como plantada en pleno crecimiento. Obsérvense a los dos lados los tubos protectores verdes de los pies plantados.

El logro de la estabilidad a largo plazo es una función del progreso de la ‘resistencia’ de la actuación y los ‘esfuerzos’ a que está sometida por la distribución de las lluvias en los años posteriores a la restauración. La resistencia del sistema crece bruscamente al inicio con las medidas de ingeniería y lentamente después con el desarrollo de la vegetación (Figura 40). Si, como en la hipótesis A, los grandes eventos se originan en un momento que el sistema ha desarrollado una elevada resistencia, en el tramo de actuación se alcanzará la estabilización.

Si la capacidad erosiva de la lluvia supera la resistencia del sistema en algún punto (hipótesis B) se pueden producir daños en las estructuras que requerirán mantenimiento. Si el diseño de la actuación ha sido correcto, estos daños normalmente serán reducidos y no implicarán el colapso de ninguna estructura.

La eficacia de las actuaciones depende críticamente del diseño realizado (espaciamiento, altura de los diques, presencia de cuenco de amortiguación...). Es importante poner en práctica criterios conservadores en la ejecución de las obras (como los propuestos en este manual) para tener una elevada posibilidad de éxito, dada la conocida capacidad destructiva de los eventos intensos de lluvia que es probable que tengan lugar durante la

vida útil de las estructuras (25 años). En este sentido es preferible realizar una inversión ligeramente superior por aplicar un correcto diseño, que inversiones inferiores que en última instancia tienen un reducido efecto, poca duración y a larga muy poca rentabilidad ya que, sea cual sea su coste, su efectividad es nula.



**Figura 40.** Modelo teórico de eficacia del control de cárcavas. La eficacia de una actuación depende del ritmo de crecimiento de la resistencia del sistema (en verde) y la particular distribución de la pluviometría ('esfuerzos' sobre el sistema, en rojo) tras la actuación.



### 2.1.8. Errores comunes, ¿qué no hacer?

Es frecuente encontrar en la literatura ejemplos del fallo de estructuras en el control de cárcavas, mientras que al mismo tiempo, se conocen ejemplos de estructuras plenamente eficaces y funcionales tras más de cuarenta años de funcionamiento. En la mayoría de los casos, la diferencia se encuentra en el diseño de las mismas. En la práctica, un reducido número de deficiencias en el diseño y ejecución son las responsables de los fallos de estas estructuras.

Las principales causas directas de fallo en los diques son:

1. La erosión lateral del dique, Figura 41: suele ser ocasionada por:
  - la ausencia o insuficiente tamaño del vertedero
  - la ausencia de anclaje lateral del dique en el talud de la cárcava.



**Figura 41.** Colapso de un dique por erosión lateral. Este dique de piedra mallada fue ejecutado sin aliviadero.

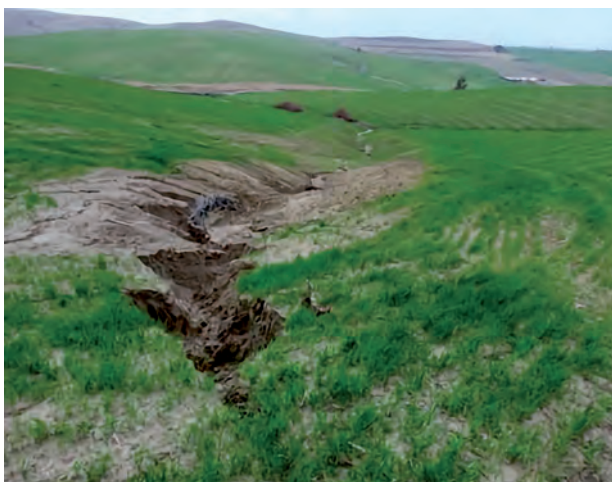
2. Socavación en el pie del dique, Figura 42, suele ser ocasionada por:
  - la ausencia de un cuenco de disipación
  - excesivo espaciamiento entre diques
  - colocación del último dique en zonas con suficiente pendiente para originar erosión.



**Figura 42.** Colapso de un dique por socavación. Este dique de piedra mallada fue ejecutado sin cuenco de amortiguación.

A continuación se recoge una clasificación de las principales deficiencias encontradas en la ejecución de diques de retención:

1. Tapado de la cárcava, Figura 43.



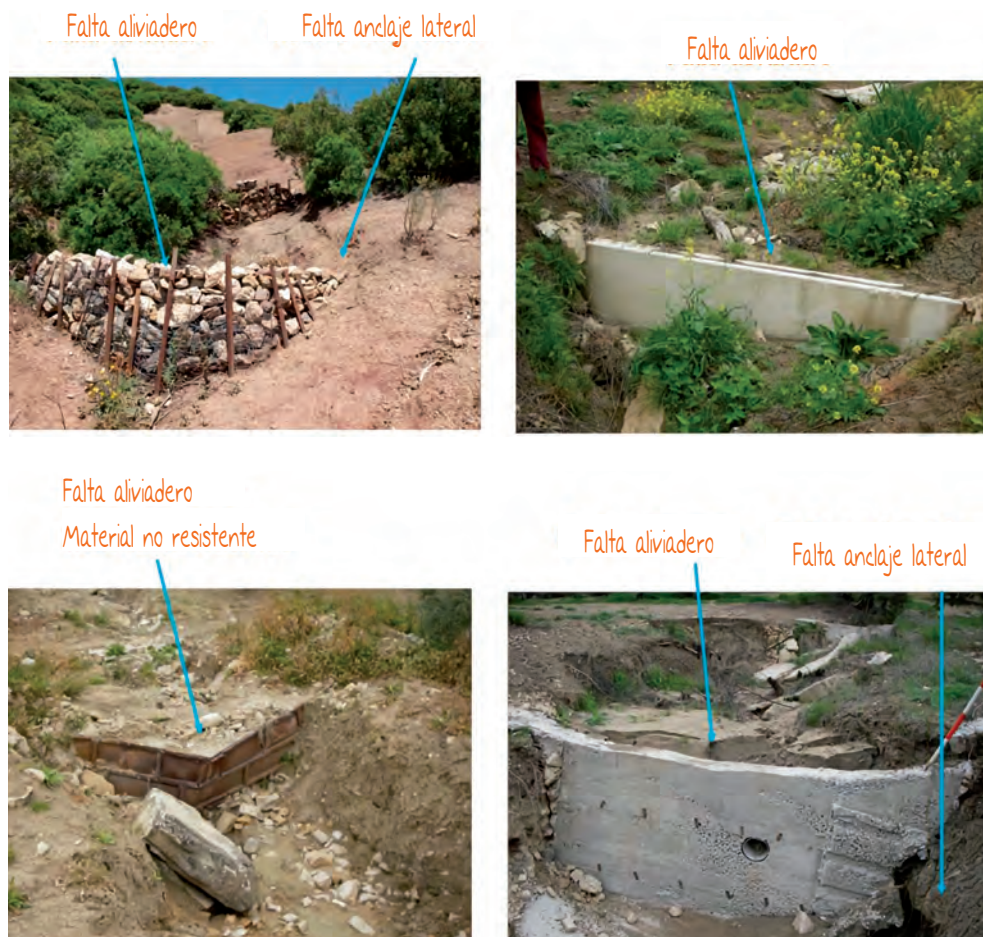
**Figura 43.** El tapado de cárcavas no es un método de control. Las lluvias siguientes arrastrarán sin dificultad el suelo depositado (cárcava en el municipio de Córdoba). Esta práctica continuada conduce al empobrecimiento de áreas crecientes de suelo y a la inclinación progresiva de las laderas vertientes.

## 2. Deficiencias en los materiales utilizados, Figura 44.



**Figura 44.** El vertido de material suelto no suele tener efectos positivos en el control de las cárcavas dada la fuerza de arrastre de las aguas de escorrentía. Si los materiales no son de gran tamaño deben encerrarse en una malla para evitar ser arrastrados. Materiales vegetales (como pacas de paja o ramas de olivo) tampoco son efectivos dada su flotabilidad. Ambas estrategias presentan el inconveniente adicional de no canalizar de forma segura la escorrentía en la parte central del cauce. En la última imagen se muestra bolo de tamaño inadecuado (incluye finos y zahorra) que puede pasar a través de la malla de gavión y perderse.

3. Deficiencia en elementos del dique, Figura 45.



**Figura 45.** Diferentes deficiencias en el diseño de algunos elementos de los diques de retención.



## 4. Deficiencias en el diseño de la actuación, Figura 46.



**Figura 46.** Diferentes deficiencias en el diseño la actuación de diques de retención (espaciamiento y ubicación del último dique en zona no segura). La tercera imagen corresponde a la descarga aislada de material 'apropiado' en una sección de la cárcava pero sin diseño (anclaje, vertedero, cuenco de amortiguación) y en exceso. En ocasiones se realizan actuaciones que implican un coste elevado pero de eficacia reducida.

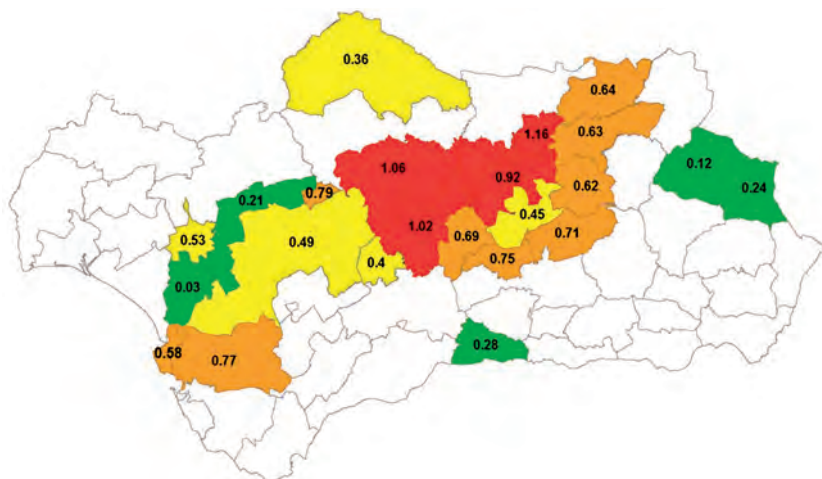
## 2.2. ANÁLISIS DEL RIESGO DE LA EROSIÓN POR CÁRCAVAS

### 2.2.1. Estudio de la erosión por cárcavas a nivel comarcal. Modelo conceptual de riesgo

Para la profundización en el conocimiento de los procesos de erosión por cárcavas es de interés analizar cuáles son los principales factores ambientales que pueden tener influencia en su desarrollo. En general en escalas grandes (como la comarcal, aplicada en este estudio) se puede cuantificar mediante bases de datos de información geográfica algunas de estas variables ambientales (como las topográficas o algunas climáticas) pero otras normalmente son difícilmente caracterizables (como el tipo de suelo o manejo aplicado). Por lo tanto, hay que recordar que cualquier análisis estadístico de este tipo de proceso erosivo es una aproximación al mismo, siendo útil siempre que se entienda este hecho a la hora de interpretarlo. En este estudio se ha explorado la capacidad que algunas variables de fácil determinación tienen para explicar la densidad de cárcavas a nivel comarcal.

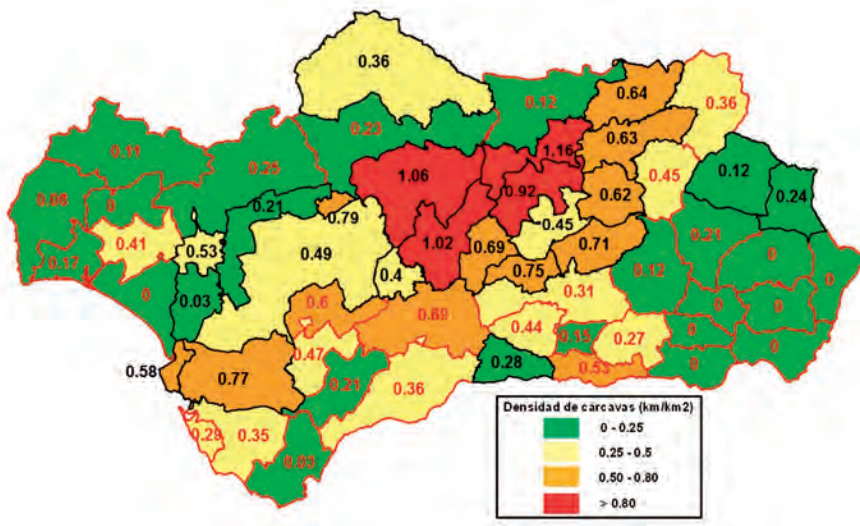
Para conocer la incidencia de este fenómeno en Andalucía se ha analizado la densidad de cárcavas existente en las comarcas andaluzas con más de un 50% de superficie agrícola, expresada como longitud de cárcavas (km) en el total de superficie agrícola de la comarca (km<sup>2</sup>), en el año 2011-2012. Estos años corresponden con el período posterior a las precipitaciones muy intensas ocurridas desde el 2009 al 2011, por lo que pueden reflejar fielmente la magnitud del problema. Para detalles sobre la metodología seguida puede consultarse el Anexo 6.

En la Figura 47 se puede observar la densidad de cárcavas obtenida mediante fotointerpretación en las comarcas mayoritariamente agrícolas de Andalucía:



**Figura 47.** Densidad de drenaje (km/km<sup>2</sup>) en las comarcas eminentemente agrícolas de Andalucía determinadas mediante interpretación de las ortofotografías de los años 2010-2011.

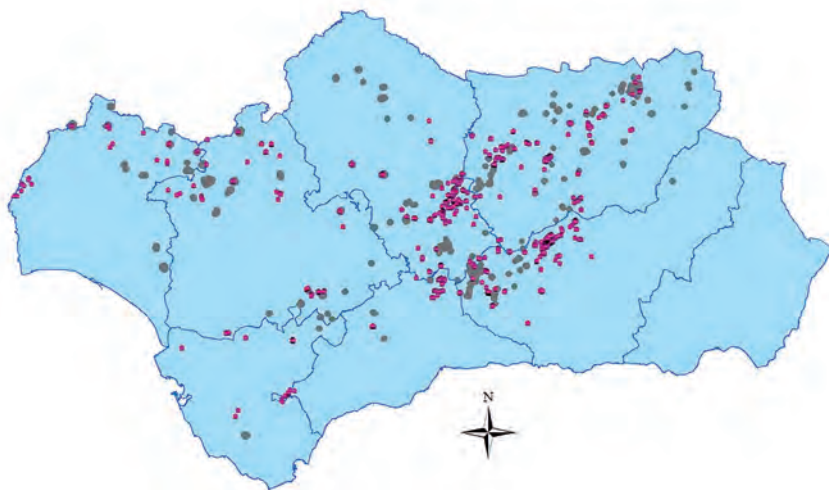
A partir de estos datos se ajustó un modelo simple basado en cuatro factores (uso de suelo, litología, pendiente y precipitación). Nuestro análisis mostró que el único factor estadísticamente significativo fue el uso de suelo ponderado (por el porcentaje de uso por cada cultivo) a nivel comarcal. Se utilizó este modelo para estimar la densidad de cárcavas en el resto de comarcas en las que no había un uso mayoritariamente agrícola.



**Figura 48.** Mapa de densidad de cárcavas (km de cárcavas/km² de superficie agrícola) por comarcas de Andalucía. Los valores y límites en negro corresponden con las comarcas analizadas mediante fotointerpretación, mientras que aquellos en rojo corresponden con los valores estimados utilizando el modelo ajustado. Se observa cómo los valores de mayor densidad de cárcavas se concentran en las campiñas de Córdoba y Jaén.

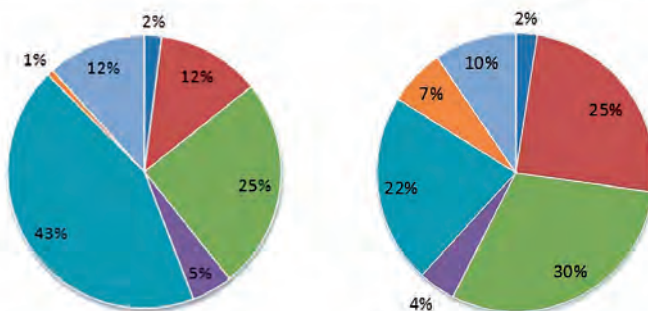
### 2.2.2. Información experimental de cárcavas 2009-10 y 2010-11

Otra fuente de información para estudiar el riesgo de erosión por cárcavas, y contrastar los resultados de la sección anterior, es el análisis de actuaciones de control de cárcavas en Andalucía descritas previamente por Castillo et al. (2013). En la Figura 49 se presenta la localización de las fincas donde se identificaron actuaciones durante los años hidrológicos 2009-2010 y 2010-2011. También en la Figura 50 y en la Tabla 5 se indican los porcentajes y el número de actuaciones por provincia.



**Figura 49.** Localización de las fincas donde se identificaron actuaciones durante los años hidrológicos 2009-10 (rojo) y 2010-11(verde) para control de cárcavas tomadas de Castillo et al. (2013).

■ Cadíz ■ Córdoba ■ Granada ■ Huelva ■ Jaén ■ Málaga ■ Sevilla



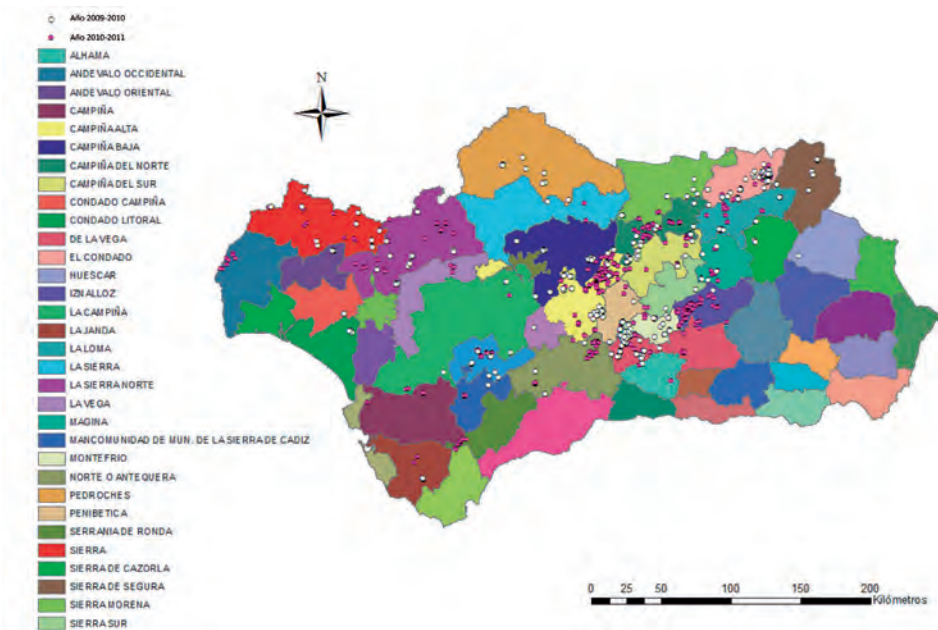
**Figura 50.** Porcentajes de acciones de control de cárcavas evaluadas por provincias: Izquierda en año hidrológico 2009-10 y derecha año hidrológico 2010-11.

El número de actuaciones evaluadas se redujo notablemente en el segundo año (Tabla 5) ya que en todas las provincias, a excepción de Cádiz donde se mantuvo el mismo número y en Córdoba donde su número casi se duplicó, se produjeron reducciones. Destaca el caso de Jaén donde se pasó de 234 a 97.

Provincia	Año 2009-10	Año 2010-11
Cádiz	11	11
Córdoba	66	109
Granada	135	133
Huelva	26	19
Jaén	234	97
Málaga	4	29
Sevilla	63	42
<b>Total</b>	<b>541</b>	<b>440</b>

**Tabla 5.** Número total de observaciones por provincias.

En la Figura 51 se presentan las actuaciones por comarcas. En la leyenda aparecen las comarcas donde mayoritariamente se han concentrado las actuaciones.



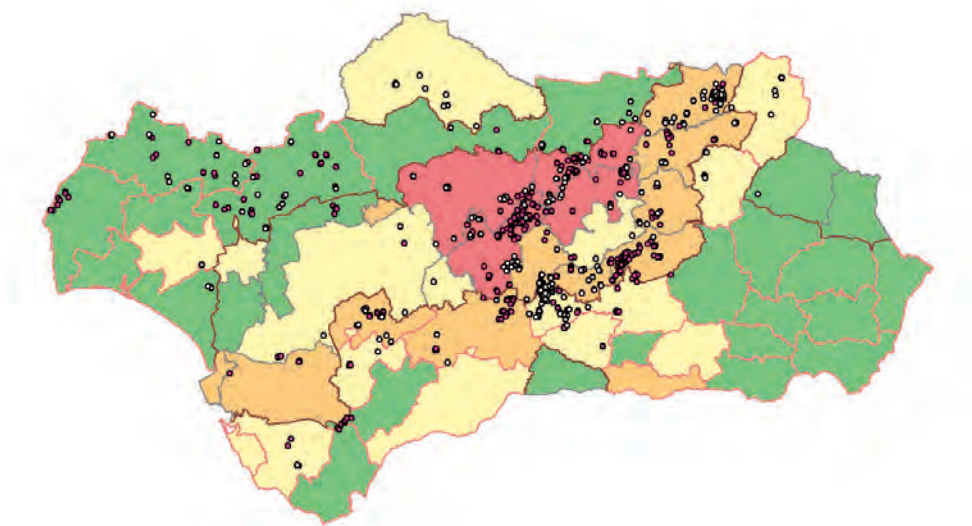
**Figura 51.** Localización de las actuaciones de control de cárcavas evaluadas por comarcas.

Como puede observarse en la Figura 51 es en las comarcas de Campiña Alta y Pedroche en Córdoba; La Vega, Iznalloz y Montefrío en Granada; Campiña del Norte y el Condado en Jaén; en Málaga, la comarca de Antequera; en Cádiz, en la serranía de



Ronda; en Sevilla en Sierra Norte y Sierra Sur y en Huelva en el Andévalo Occidental y la Sierra de Huelva aquellas en las que se concentraron la mayor parte de las cárcavas evaluadas en campo.

En la Figura 52 se muestran superpuestas las cárcavas evaluadas en campo y la densidad de cárcavas comarcal a partir del modelo de la Figura 48. En general puede apreciarse cómo en las comarcas donde se detectó un mayor riesgo, Figura 48, también se concentraron la mayoría de las observaciones en campo de actuaciones sobre cárcavas. Esto sugiere que el análisis realizado ha capturado una la dinámica fundamental del problema. No obstante también se observa cómo en comarcas de Sierra Morena oriental se observaron un número importante de actuaciones. Esto indica que existen factores adicionales, por ejemplo tipología de las explotaciones agrícolas, variaciones en el manejo, conservación o no de obras de control en vaguadas realizadas como parte de las explotaciones hasta hace pocos años, que no pueden ser incorporados sin un conocimiento detallado y explícito de la explotación. La combinación de las dos aproximaciones, presentada en la Figura 52, supone una estimación robusta acerca de las zonas con mayor problemática de erosión por cárcavas en Andalucía.



**Figura 52.** Mapa de densidad de cárcavas y actuaciones de control de cárcavas (puntos) evaluadas por Castillo et al. (2013). Se observa que hay una gran coincidencia entre las comarcas con un alto valor de densidad de cárcavas a partir del modelo y observaciones (campiñas de Córdoba, Jaén y Granada, especialmente), si bien hay áreas como la zona norte de Huelva y Sevilla con una cantidad moderada de actuaciones que presentan un valor de densidad predicho muy bajo.

## 2.3. CRITERIOS DE ACTUACIONES

### 2.3.1. Diagrama de actuación

La Figura 53 resume conceptualmente los pasos necesarios para el diseño y ejecución de una obra completa de restauración de una cárcava.



**Figura 53.** Diagrama de etapas básicas para el diseño de actuaciones de control de cárcavas.

### 2.3.2. Licencias necesarias

La normativa que puede afectar a una obra de restauración de cárcavas está distribuida en diferentes leyes y reglamentos, y es objeto de interpretación por diferentes administraciones. Por ese motivo es necesario que para cada actuación en particular el responsable evalúe con las administraciones correspondientes las necesidades y requerimientos pertinentes. Lo que viene a continuación es un resumen de la misma que ayude a prevenir errores inadvertidos que pudieran derivar en una sanción o retraso innecesario.

Revisando las afecciones normativas que pueden regular y condicionar las iniciativas de acciones de control de erosión en cárcavas, se puede derivar qué servicios pudieran estar implicados en la tramitación de autorizaciones con el objeto de evitar y prevenir infracciones. Tanto para las zonas definidas como parcelas agrícolas (entiéndase tierra arable, olivar...), como en las zonas para el control y defensa de la erosión en los márgenes de cauces naturales de corrientes continuas o discontinuas en ríos, arroyos, vaguadas, regajos, torrentes..., considerados de dominio público o no, están afectadas por:

### **2.3.2.1. Leyes y reglamentos**

*A) Ley 7/2002, de 17 de diciembre, de Ordenación Urbanística de Andalucía*

Artículo 169. Actos sujetos a licencia urbanística municipal.

1. Están sujetos a previa licencia urbanística municipal, sin perjuicio de las demás autorizaciones o informes que sean procedentes con arreglo a esta Ley o a la legislación sectorial aplicable, los actos de construcción o edificación e instalación y de uso del suelo, incluidos el subsuelo y el vuelo, y, en particular, los siguientes:
  - b) Los movimientos de tierra, la extracción de áridos, la explotación de canteras y el depósito de materiales.
2. Están también sujetos a previa licencia urbanística municipal los actos de construcción, edificación y uso del suelo o del subsuelo que realicen los particulares en terrenos de dominio público, sin perjuicio de las autorizaciones o concesiones que deba otorgar la Administración titular de dicho dominio.

*B) Decreto 60/2010, de 16 de marzo, por el que se aprueba el Reglamento de Disciplina Urbanística de la Comunidad Autónoma de Andalucía*

Artículo 8. Actos sujetos a licencia urbanística municipal

Están sujetos a previa licencia urbanística municipal, sin perjuicio de las demás autorizaciones o informes que sean procedentes de acuerdo con la Ley 7/2002, de 17 de diciembre, o con la legislación sectorial aplicable, todos los actos de construcción o edificación e instalación y de uso del suelo, incluidos el subsuelo y el vuelo, y, en particular, los siguientes:

- b) Los movimientos de tierra, incluidos los desmontes, abancalamientos, las excavaciones y explanaciones así como la desecación de zonas húmedas y el depósito de vertidos, residuos, escombros, y materiales ajenos a las características del terreno o de su explotación natural, salvo el acopio de materiales necesarios



para la realización de obras ya autorizadas por otra licencia, sin perjuicio de las pertinentes autorizaciones para la ocupación del dominio público.

- p) La construcción de obras de infraestructura, tales como: producción de energías renovables, presas, balsas, obras de defensa y corrección de cauces públicos, infraestructuras de regadíos, vías privadas, puertos de abrigo, diques de protección y defensa del litoral, accesos a playas, bahías y radas, y, en general, cualquier tipo de obras o usos que afecten a la configuración del territorio, sin perjuicio de lo dispuesto en artículo 10.

*C) Ley 7/2007, de 9 de julio, de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental de Andalucía*

ANEXO I. CATEGORÍAS DE ACTUACIONES SOMETIDAS A LOS INSTRUMENTOS DE PREVENCIÓN Y CONTROL AMBIENTAL (Modificado por el Decreto 356/2010, de 3 de agosto, por el que se regula la autorización ambiental unificada, se establece el régimen de organización y funcionamiento del registro de autorizaciones de actuaciones sometidas a los instrumentos de prevención y control ambiental, de las actividades potencialmente contaminadoras de la atmósfera y de las instalaciones que emiten compuestos orgánicos volátiles, y se modifica el contenido del Anexo I de la Ley 7/2007, de 9 de julio, de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental).

Las actuaciones incluidas en estos dos epígrafes estarían sometidas al trámite de Autorización Ambiental Unificada:

7.9. Construcción de vías navegables, puertos de navegación interior, obras de encauzamiento y proyectos de defensa y limpieza de cauces y márgenes cuando la longitud total del tramo afectado sea superior a 2 kilómetros. Se exceptúan aquellas actuaciones que se ejecuten para evitar el riesgo en zona urbana.

13.7. Los siguientes proyectos, cuando se desarrollen en zonas especialmente sensibles, designadas en aplicación de la Directiva 79/409/CEE, del Consejo, de 2 de abril, relativa a la conservación de las aves silvestres, de la Directiva 92/43/CEE, del Consejo, de 21 de mayo, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres, y de la Ley 2/1989, de 18 de julio, por la que se aprueba el inventario de Espacios Naturales Protegidos de Andalucía y se establecen medidas adicionales para su protección o en humedales incluidos en la lista del Convenio de Ramsar:

- e) Obras de encauzamiento y proyectos de defensa de cauces naturales y sus márgenes.

*D) Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la ley de aguas.*

### 2.3.2.2. Cuerpos integrados en vigilancia de esa normativa

Por otro lado, cualquiera de los siguientes cuerpos puede ejercer las funciones de vigilancia y control:

- Guardería fluvial (Confederación Hidrográfica)
- Agentes de Medio Ambiente (Junta de Andalucía)
- Servicio de Protección de la Naturaleza de la Guardia Civil – SEPRONA (Ministerio de Interior)
- Policía Autonómica (Junta de Andalucía)
- Policía Local (Municipios)

### 2.3.3.2. Resumen

Además de los ayuntamientos, con quien debe consultarse el tema de la licencia de obras, los servicios que podrían estar implicados en las posibles autorizaciones necesarias para la realización de estas actuaciones serían:

#### 1. Confederación Hidrográfica correspondiente.

A fin de determinar, en caso de duda, si la actuación se considera en terreno considerado de dominio público. La legislación prohíbe hacer actuaciones sin permiso en cauces de corrientes naturales, continuas o discontinuas, de dominio público. Éste se define legalmente como “el terreno cubierto por las aguas en las máximas crecidas ordinarias”. Sin embargo son de dominio privado los “cauces por los que ocasionalmente discurran aguas pluviales, en tanto atraviesen, desde su origen, únicamente fincas de dominio particular.” En ellos se pueden construir obras siempre que no varíen el curso natural de las aguas en perjuicio del interés público o de tercero, o cuya destrucción por la fuerza de las avenidas pueda ocasionar daños a personas o cosas.

#### 2. Junta de Andalucía, Consejería de Medio Ambiente.

Servicio de Gestión del Medio Natural de la Delegación Territorial de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente de la provincia correspondiente si la actuación afecta a flora o fauna silvestre.

Servicio de Protección Ambiental de la Delegación Territorial de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente de la provincia correspondiente si la actuación se encuentra incluida en el Anexo I de la Ley 7/2007, de 9 de julio, de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental de Andalucía.

### **3. DIVERSIFICACIÓN DEL PAISAJE RURAL MEDIANTE LA IMPLANTACIÓN DE VEGETACIÓN**



## **3. DIVERSIFICACIÓN DEL PAISAJE RURAL MEDIANTE LA IMPLANTACIÓN DE VEGETACIÓN**

### **3.1. CONCEPTOS GENERALES**

#### **3.1.1. La valoración del paisaje rural en el contexto europeo actual**

Actualmente, muchos son los instrumentos normativos y acuerdos internacionales que han contribuido a una creciente tendencia hacia la conservación y mejora del paisaje rural. Sin duda, como referencia de avance es el Convenio Europeo del Paisaje (Florenca, 2000), impulsado por el Consejo de Europa como respuesta a la aspiración de incorporar la dimensión paisajística a las políticas públicas mediante el desarrollo de instrumentos de ordenación, gestión y fomento de los valores paisajísticos.

Se considera la importancia del paisaje en la calidad de vida, su relevancia como componente fundamental del patrimonio cultural y natural, así como su valoración favorable a la actividad económica y a la creación de empleo. El principio básico que plantea el documento es la necesidad de que las políticas europeas de conservación y recuperación del paisaje se extiendan a la totalidad del espacio geográfico, no sólo a aquéllos de excepcional valor visual.

En cuanto al paisaje agrario, la UE lo considera como un recurso relevante para el desarrollo del mundo rural y tiene en cuenta el importante papel que desempeñan los agricultores en su ordenación y gestión (Fernández-Ortega 2002). Actualmente, al amparo de esta iniciativa se formulan disposiciones y se desarrollan programas de desarrollo rural que impulsan medidas agroambientales para la mejora del paisaje rural a través de ayudas directas.

### 3.1.2. Problemática ambiental detectada

La industrialización de la agricultura a mediados del siglo XX generó el incremento del rendimiento productivo y competitividad en los mercados de las explotaciones agrícolas. Unido a los evidentes incrementos de productividad de las explotaciones con el desarrollo de nuevas tecnologías, se fue eliminando cualquier enclave forestal que constituyera un estorbo o que no tuviera un carácter funcional para la explotación, iniciándose así los procesos de homogeneización de la textura del paisaje rural andaluz.

Entre las causas que han provocado estos procesos destaca el incremento del número, potencia y versatilidad de la maquinaria agrícola, la quema recurrente de rastrojos para la eliminación de restos de cosechas, la obsesión por conseguir fincas “limpias”, y la inestable Política Agraria Común. Esto ha llevado a la eliminación paulatina de los sotos existentes en pequeños arroyos y zonas más húmedas de las explotaciones, los setos vivos medianeros ubicados en las lindes entre parcelas, los árboles dispersos, la vegetación existente en los padrones y acirates, las plantaciones de alineación de los bordes de caminos rurales, las fuentes y abrevaderos, los bosquetes isla, etc.

Esta banalización del paisaje agrario ha favorecido la intensificación de los procesos erosivos, el incremento de la contaminación difusa, la pérdida de biodiversidad, desequilibrios en las poblaciones de especies cinegéticas y una simplificación de la textura del paisaje, que en algunos casos crea un auténtico “desierto productivo” desconectado ecológicamente de los territorios circundantes, Figura 54.



**Figura 54.** Fotografía aérea de una campiña baja de la Depresión del Guadalquivir.

El objetivo de esta sección es ofrecer posibles soluciones para dotar a los paisajes eminentemente agrarios, a escala de finca, de una mayor diversidad de elementos estructurales como son setos vivos, sotos, alineaciones y bosques isla. Se ha elaborado a partir de la experiencia adquirida durante los últimos años en el desarrollo de proyectos de diversificación de explotaciones agrícolas, Figura 55.

**Año 2009**



**Año 2013**



**Figura 55.** Actuación de diversificación del paisaje de una finca mediante la revegetación de taludes y bordes de un camino rural. Desarrollado en el marco del Programa de Diversificación del Paisaje Rural de la Campiña de Córdoba promovido por el Ayuntamiento de Córdoba.



## 3.2. CARACTERIZACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES DEL PAISAJE AGRARIO

### 3.2.1. Setos vivos

Son uno de los elementos más característicos y conspicuos de los paisajes eminentemente agrarios. De forma natural existen cuando la vegetación ha quedado relegada a una linde de separación entre fincas, debido a que se respetaron en el momento en que se llevaron a cabo la tala y roturación repetida del terreno para la implantación de cultivos (Costa *et al.*, 2002). La franja de vegetación que aparece en las Figuras 56 y 57 es representativa de la estructura lineal que poseen estos espacios intersticiales inmersos en el parcelario agrario.



**Figura 56.** Seto vivo compuesto de vegetación residual autóctona en una linde de separación de fincas.



**Figura 57.** Vista desde el aire del mismo seto de la fotografía anterior

Los setos pueden ser creados en las fincas de forma que, estratégicamente situados, generen barreras vegetales que consigan los siguientes objetivos:

- Alimento, hábitat y corredores para la vida silvestre.
- Delimitar las parcelas agrícolas y definir la propiedad.
- Servir para retener el sedimento y la escorrentía.
- Efecto tampón para la contaminación difusa de los fitosanitarios.
- Mejorar el paisaje.

En función de los objetivos que se persigan, las características de los setos de vegetación variarán ligeramente.

#### 3.2.2. Linderos

En los casos en los que no existe un seto vivo en la separación de dos predios de distinta titularidad, la ocupación espontánea por parte de la vegetación herbácea en los bordes de los cultivos se convierte en el lindero físico de numerosas fincas, Figuras 58 y 59. En muchas ocasiones no existe vegetación en los bordes de los cultivos que separan una finca o parcela de la contigua, y son, solamente, la diferencia en el tamaño, estructura que adopten o la dirección de las labores, los motivos que delimitan donde acaba una finca y empieza la otra.



**Figura 58.** Lindero de separación de fincas formando un pequeño caballón.



**Figura 59.** Lindero de separación de fincas formando un padrón.

Los linderos son zonas potenciales donde pudiera implantarse un seto de separación de fincas o parcelas, o una plantación alineada de árboles.

### 3.2.3. Sotos

De gran importancia para el paisaje agrario, los sotos, generalmente asociados a puntos húmedos, riberas de ríos, arroyos o pequeñas vaguadas, son uno de los elementos del paisaje agrario esenciales a incluir en este listado. Las grandes similitudes estructurales entre la vegetación lineal de ribera y los setos, permiten realizar un paralelismo funcional respecto a su importancia en la agricultura. Un soto, al igual que un seto, es un “mini-bosque”, limitado por dos fronteras cercanas (Sterling, 1996). En este caso, como se puede apreciar en la Figura 60, esas fronteras las van a constituir grandes extensiones dedicadas al cultivo.



**Figura 60.** Soto aislado de olmos asociado a un cauce de aguas temporales.

### 3.2.4. Cauces permanentes

Cuando un río, arroyo o vaguada, discurre por zonas agrarias, con frecuencia, las prácticas agrícolas ocupan los bordes de los cauces o las zonas de cabecera de numerosos arroyos. Este hecho ocasiona frecuentemente la total desaparición de la vegetación adyacente a los cursos de agua y, por consiguiente, la eliminación o fragmentación de los sotos y exposición de los márgenes a la erosión, convirtiendo a estos elementos del paisaje en meras zanjas de drenaje.

Estos elementos claves del paisaje agrario generan una gran matriz con grandes posibilidades de recuperación. Son potenciales generadores de diversificación paisajística (Figura 61), ya que dependiendo de la complejidad hidrológica de una cuenca, la red de drenaje de una finca genera diversificación espacial, conectividad y clara potencialidad de cara a la implantación de vegetación.



**Figura 61.** Vista desde el aire de cauces de aguas temporales, vaguadas, desprovistos de vegetación en sus márgenes en una finca de la campiña cordobesa.

Las características descriptivas de estos elementos, cuando se contemplan a una escala poco detallada, les confieren curvilinearidad (o linealidad) en terrenos pandos, roturas o discontinuidades cuando se cruzan con otros elementos lineales, estrechamientos, nudos y ensanchamientos asociados a las condiciones naturales del terreno (Forman y Gordon, 1986). Son zonas ideales en las que intervenir con plantaciones, que como ya se ha comentado anteriormente deben combinarse con medidas de ingeniería en caso de que se observen (o detecten riesgos) de erosión por cárcavas.

### 3.2.5. Bosques isla

Aunque la mayoría de los retazos de vegetación están constituidos por ecosistemas lineales, con masas de vegetación de anchura generalmente escasa y longitud variable que se localizan en linderos y cursos de agua, otras veces, las menos, son manchas, de extensión y forma diversa denominadas bosques isla (Costa et al., 2003) o islas de vegetación, que aparecen en zonas poco aptas para el cultivo por su pendiente o pedregosidad o bien, en algunos enclaves singulares que se han conservado por el tipo de uso del territorio, como ocurre en ciertas zonas de dehesas que aparecen como islas en medio de la campiña de Huelva, Sur de Sevilla y Cádiz, donde el aprovechamiento de las fincas sigue siendo agropecuario al existir ganadería extensiva.

Estos bosquetes, Figura 62, son el resultado de la fragmentación, y posterior aislamiento, de las formaciones boscosas originales que ocupaban el territorio que hoy contemplamos cultivado.



**Figura 62.** Isla de vegetación autóctona aislada en medio de tierra cultivada.

Dependiendo del estado de conservación de estos bosquetes podemos encontrar manchas de matorral noble, islas de vegetación adehesada o simplemente eriales en los que se desarrollan vegetación herbácea.

En algunos casos, estas islas de vegetación han sido creadas por el hombre a través de la plantación de especies arbóreas autóctonas, Figura 63, o alóctonas, en las zonas menos productivas de las explotaciones, con el fin de proporcionar sombra y ramón para el ganado. En la actualidad estas herrizas están en desuso en las explotaciones agrícolas al desaparecer el ganado de labor durante la modernización agrícola.





**Figura 63.** Espectacular bosque isla formado por vegetación autóctona. La pendiente, la pobreza del suelo o el propio interés del propietario de la finca, ha permitido que se desarrolle de forma residual estas islas de vegetación natural.

#### 3.2.6. Franjas sin cultivar, paredones, padrones o acirates

Por lo general en las explotaciones agrícolas existen zonas no aptas para el cultivo debido a la pendiente del terreno, afloramientos rocosos, pobreza de los suelos o la conjunción de estas características. Son las zonas denominadas coloquialmente como padrones, paerones o acirates, Figura 64.

A estas zonas, el SIGPAC las clasifica como recintos improductivos con tipologías de formaciones vegetales espontáneas.

Suelen ser zonas adecuadas para que se instale la vegetación natural formando la típica isla de vegetación. Por este motivo, independientemente que constituyan elementos del paisaje compuestos por vegetación herbácea ruderal, pueden ser zonas potenciales para instalar en ellas vegetación leñosa.

La intervención sobre estas zonas improductivas puede pasar a formar parte del grupo de bosques isla.





**Figura 64.** Franja sin cultivar por la excesiva pendiente compuesta por vegetación herbácea anual.

### 3.2.7. Plantaciones lineales

Los caminos de acceso a los cultivos y a los cortijos crean tramas interesantes para la diversificación del paisaje agrario. Generalmente son de tierra compactada y en ocasiones están flanqueados por árboles de sombra o fruto, en los accesos a las edificaciones, en donde la alineación se hace más perceptible.

De forma general estas formaciones de vegetación son creadas por los propietarios de las explotaciones con un carácter meramente ornamental para embellecer la entrada de la fincas, Figura 65.



**Figura 65:** Plantación lineal en un camino de acceso.

### 3.2.8. Caminos rurales

Por lo general, los caminos que transcurren las zonas agrarias no presentan plantaciones lineales continuas en sus márgenes. No obstante, el número y la fisonomía de los caminos rurales y sus bordes, hace que se tengan en cuenta como elementos diversificadores del paisaje



**Figura 66.** Camino rural con taludes y bordes anchos.

### 3.2.9. Árboles aislados

De igual forma, aunque a distinta escala, la conservación de árboles dispersos en medio de grandes superficies cultivadas, Figura 67, contribuye a la diversificación del paisaje. Un árbol aislado se convierte en un espacio intersticial más, que debido generalmente a su verticalidad, rompe con la monotonía del paisaje, constituyéndose como un punto de referencia en los paisajes de cultivos monoespecíficos.



**Figura 67.** Árbol aislado.

### 3.2.10. Entorno de edificaciones rurales

En la mayoría de estas edificaciones se mantiene y conserva vegetación con el fin de proporcionar sombra, protección ante las inclemencias meteorológicas, frutos...



**Figura 68.** Vegetación en el entorno de edificaciones rurales.



**Figura 69.** Fuente abrevadero.

Actualmente, estos espacios se encuentran afectados por la reconversión funcional de los cortijos, en los que la eliminación del ganado de labor, el despoblamiento del medio rural, la mecanización de las tareas agrícolas, junto con el empleo de materiales impermeables para su construcción, está dejando sin utilidad estas estructuras tradicionales. La existencia de pozos y manantiales naturales en la mayoría de las fincas agrícolas proporciona una auténtica red de pequeños humedales que, bien gestionados, pueden albergar poblaciones de reptiles y anfibios que de otra forma no podrían desarrollarse. Actualmente, el reducido número de abrevaderos, estanques y norias tradicionales, se ve afectado además por la contaminación debido al incorrecto manejo de los agroquímicos, el aterramiento y el abandono.

### **3.3. BENEFICIOS AMBIENTALES Y ECONÓMICOS DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES DEL PAISAJE AGRARIO**

Estos espacios no son solamente un elemento estético de las zonas agrícolas, sino que existen importantes razones ecológicas y económicas en su favor que, por consiguiente, los hacen compatibles con la productividad agrícola.

En resumen: las hileras de árboles, setos vivos, sotos, linderos, etc., son eficaces colaboradores de agricultores y ganaderos. Dan abrigo, amortiguan las inclemencias meteorológicas, estabilizan el suelo y limitan la erosión por escorrentía, tienen efecto como cortavientos, colaboran en el control de plagas y reducen la contaminación difusa. Además, contribuyen a la existencia de un paisaje rural equilibrado, donde se conserva la fertilidad de la tierra, se favorece el ciclo del agua y suavizan las oscilaciones de la temperatura, factores todos ellos que supone una mejora de la productividad agrícola y ganadera. Son los pocos refugios permanentes con los que cuentan la vegetación y la fauna silvestre de los sistemas agrarios y, generan un paisaje armónico de potencial turístico y cinegético. Por consiguiente, estos elementos deben ser tenidos en cuenta a la hora de llevar a cabo estrategias de gestión en las explotaciones agrícolas y, a escala comarcal agraria, de planificación, gestión y ordenación del paisaje.

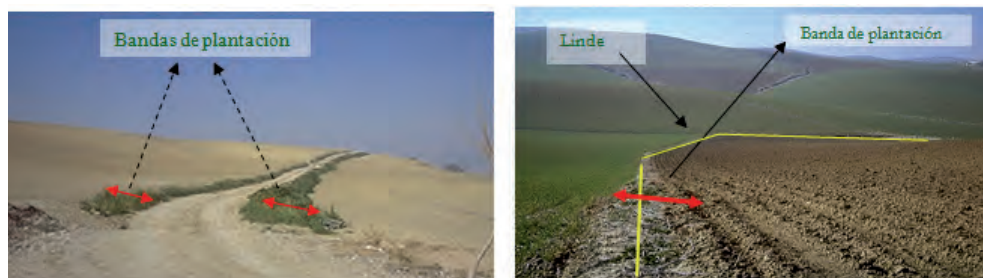
### **3.4. DISEÑO DE LAS PLANTACIONES**

#### **3.4.1. Elección de las zonas potenciales a plantar**

Sobre estructuras lineales en bordes de caminos y lindes

Por norma general en las fincas en las que se ha intervenido, se han elegido aquellas zonas de la finca en las que existe algún espacio inculto susceptible de ser revegetado, ver ejemplos en la Figura 70. Estos espacios suelen coincidir con acirates, padrones

y paredones que por la pendiente o excesiva pedregosidad se encuentran sin cultivar, bordes de los caminos rurales de acceso a las fincas, arroyos con cajas permanentes, así como los entornos de los asientos de los cortijos.



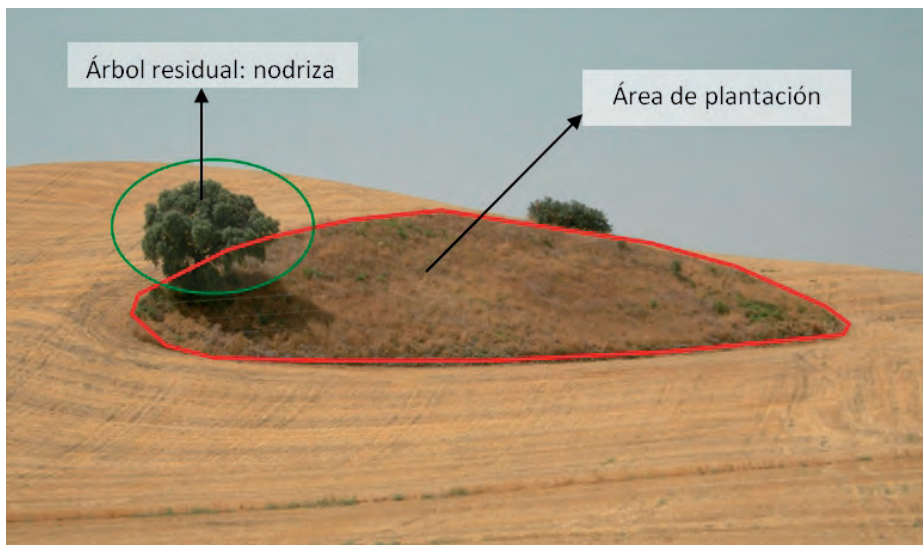
**Figura 70.** Ejemplo de zonas propicias para la instalación de setos vivos para mejorar el hábitat. Borde de camino (izquierda) o linde entre explotaciones (derecha).

Para instalar estos setos se pueden aprovechar estructuras lineales como caminos y lindes, o zonas improductivas de la finca (por ejemplo por su pendiente o pedregosidad, Figuras 71 y 72). Una herramienta muy útil para decidir dónde instalar estos setos en una finca es el SIGPAC. La clasificación que SIGPAC hace de los diferentes recintos nos da información acerca de zonas posibles donde instalarlos (Tabla 6). Así los bordes de los recintos identificados como tierra arable nos indica los linderos, bordes de caminos y ruedos de edificaciones. También nos indican las zonas de pasto arbolado o arbustivo, pastizales y terreno improductivo donde podemos instalar algunos de estos setos.

Zonas potenciales de actuación	Recintos SIGPAC
1. Linderos	1. Bordes con los recintos identificados como tierra arable (TA)
2. Franjas, acilates y paredones	2. Recintos identificados como Pastizal (PS) o Improductivo (IMP).
3. Bordes de caminos	3. Bordes con los recintos identificados como tierra arable (TA)
4. Ruedos de cortijos y edificaciones rurales	4. Bordes con los recintos identificados como tierra arable (TA)

**Tabla 6:** Equivalencia entre zonas potenciales de actuación y recintos SIGPAC.





**Figura 71.** Zona potencial de creación de bosque isla en recinto improductivo de la finca (acirate). Obsérvese el potencial de la encina residual como árbol nodriza para la dispersión planta por la isla.



**Figura 72.** Zona potencial de creación de bosque isla en recinto improductivo de la finca (acirate).



### 3.4.2. Criterios de diseño

De forma general a continuación se establecen unos casos orientativos de diseño de las plantaciones para la ubicación, distancias, espaciamentos, combinación y marco de plantación de las estructuras seleccionadas.

### 3.4.3. Selección de la especie

Los criterios básicos a la hora de elegir las especies deben regirse bajo las siguientes condiciones:

- a) Que estén adaptadas al territorio en cuestión.
- b) Que sean apropiadas para el uso que se les quiere dar.
- c) Que sean adecuadas a las características y situación ecológicas del lugar.
- d) Que sean muy rústicas y de crecimiento relativamente rápido.
- e) Que cuenten con ayudas económicas o subvenciones para su plantación.
- f) Que estén disponibles en el mercado.

Y en general hay que evitar utilizar especies con las siguientes características:

- a) Especies exóticas e invasoras.
- b) Especies que hagan competencia al cultivo colindante.
- c) Especies inadaptadas a las condiciones locales.
- d) En huertos excluir especies con hojas que tarden mucho tiempo en descomponerse.
- e) En frutales limitar las especies que florezcan al mismo tiempo, pues establecería competencia en la polinización.

Con carácter general, siempre que sea posible resulta básico realizar una selección adecuada de especies para cada zona de acuerdo, por una parte, a las características de suelo y pluviometría y, por otra, a la constitución genética de las poblaciones circundantes. Por todo ello, las especies a utilizar deben tener en cuenta el dominio territorial en el que se encuentra la zona de actuación.



**Figura 73.** Material forestal utilizado procedente de viveros comerciales.

En los paisajes agrarios simplificados, la utilización de planta con más de dos savias con cortes superiores al metro crea un efecto paisajístico inmediato de las plantaciones en el entorno. Se ha demostrado el efecto psicológico que ejerce sobre los propietarios de las fincas las plantaciones realizadas con planta grande una vez puestas. La planta grande destaca en el paisaje de una finca de forma inmediata. Al ser fácilmente visible queda protegida de posibles agresiones con la maquinaria agrícola e incentiva el cuidado postplantación (riego, poda) al estar formada y verse constantemente sobre el terreno.



**Figura 74.** Material forestal utilizado procedente de viveros comerciales.

#### 3.4.4. Zonificación de la vegetación del paisaje agrario andaluz

Ver Anejo 10 sobre selección de especies a nivel comarcal.

## 3.5. ESTABLECIMIENTO DE LAS PLANTACIONES

### 3.5.1. Labores previas

La etapa de preparación del terreno es muy importante para minimizar la competencia, mejorar la adaptación de la planta a partir de condiciones del sustrato más favorables y por tanto, asegurar la supervivencia de las plantas. Por ello conviene que preste toda la atención posible a este paso cuando trate de implantar setos o bosques isla.

#### Desbrozado

Se ejecutaría si fuese necesario según el estado en que se encuentre el terreno previo a la plantación debido a la invasión de herbáceas anuales.

- Roza continua con desbrozadora manual cuando la cobertura, generalmente compuesta por herbáceas anuales o perennes, con altura inferior a 1.50 m y cubierta total (100%), respetando siempre los pies arbóreos y arbustivos existentes. Dadas las características de los restos, se pueden quedar extendidos por la superficie a intervenir.
- Roza continua mecanizada con desbrozadora de cadenas o martillos arrastrada por tractor de cadenas o neumáticos. En este tipo de tratamiento es necesario tener en cuenta la fragilidad de la vegetación, por lo que cualquier tractor es suficiente para desbrozar con facilidad las herbáceas anuales que se desarrollan en los recintos incultos.

#### Laboreo

En la preparación previa del terreno, según el caso se podrá emplear:

- Previo a la plantación de un seto, realizar una labor profunda (>30 cm) mediante preparación del suelo subsolando sobre la línea a plantar utilizando un rejón sin orejeras. Se trata de un tipo de actuación que afecta a la capa de suelo entre los 30 y 80 cm de profundidad (dependiendo de la potencia del tractor). Tiene como objetivo la aireación de los horizontes profundos del terreno y, en el caso de las parcelas agrícolas, la rotura de las suelas de labor. Se desaconseja en suelos pesados y muy húmedos. Es necesario hacer dos pasadas, una de ida y otra de vuelta siguiendo la línea de plantación. Los dientes del subsolador deberán situarse a 25-30 cm uno del otro. Esta labor se realizará en los meses de septiembre y octubre, en días en los que el suelo no se encuentre excesivamente húmedo. El chisel puede sustituir al subsolador siempre que se pueda trabajar a suficiente profundidad. Para ello es suficiente con reducir el número de dientes (cada uno necesita 15 CV de potencia aproximadamente).

- En las zonas de pendiente pronunciada (>15%) la línea de subsolado deberá ser interrumpida cada 10 m con el fin de evitar los riesgos de erosión.
- Una opción de mejora de la preparación del terreno es el posterior rotavateado sobre subsolado con doble pasada sobre los surcos abiertos previamente con el subsolado, deja el terreno perfecto para la plantación con azada y pincho de la planta tipo forestal en bandejas, e incluso facilita sobremanera el ahoyado mecánico para otro tipo de planta de más porte.
- Acaballonado lineal del terreno de plantación con apero especial con el resultado de caballón mínimo de 2 m de anchura y altura 40 cm en el punto superior de la cima del caballón. Esta estructura facilitará la implantación de la vegetación.
- En el caso de la implantación de bosques isla en superficies que por la pendiente y pedregosidad no se han cultivado, la mejor opción para la preparación del terreno es la apertura de hoyos de forma manual con azada y, si el terreno lo permite (profundidad de suelo y pendiente) se pueden utilizar ahoyadoras mecánicas manuales.

#### Acolchado

- El acolchado de las líneas de plantación es una opción para minimizar la competencia de las malas hierbas. Para ello, se puede utilizar antes del trasplante el material plástico POLIFIBRIL ® en bandas de 1.05 m, 2 m y 3 m de anchura por línea, negro, poroso al intercambio gaseoso y agua de lluvia y estable frente a rayos UVA durante 5 años.

#### Tratamiento con herbicida

- Como en el caso anterior, antes de la plantación y para minimizar la competencia de las malas hierbas, puede darse un tratamiento con herbicida biodegradable, aplicando un compuesto de glifosato (360 gr/l) en mochila de 15 l por calles de 2-3 m de ancho. El caudal aplicado será de 200 l/ha.
- Si es necesario, puede hacerse otra valoración sobre la aplicación de herbicida desde tractor con cuba y barra de aplicación.

#### Plantación

Una vez establecidas las líneas de plantación se procederá a:

- Plantación con azada y pincho en zona subsolada y/o rotavateada. En el caso de planta forestal con cepellón procedente de bandeja se puede plantar sobre la línea utilizando un pincho de plantación previo a la preparación de la casilla

mínima de 40x40x40 cm en la que encuadrar la planta. El ahoyado debe incluir la preparación de una pequeña poza para admitir riegos de apoyo.

- En el caso de la plantación sobre el caballón, linderos con padrones, taludes de caminos y para la planta a raíz desnuda, utilizar la azada preparando un hoyo de 40x40x40 cm. El ahoyado debe incluir la preparación de una pequeña poza para admitir riegos de apoyo.
- Para la plantación de los árboles tipo 10/12 cm de diámetro 2-2.5 m altura en alineaciones u ornamentales en los ruidos de edificaciones y cortijos, realizar ahoyado mecánico mediante la utilización de retroexcavadora o ahoyadora mecánica tipo barrena. Los hoyos serán de 60x60x60 cm hasta 100x100x100 cm dependiendo del porte de la planta, Figura 75.



**Figura 75.** Ahoyado mecanizado y colocación de planta.



## Abonado

- Abono manual de plantaciones ejecutadas en hoyos de 40x40x40 cm, aportando mediante entrecava superficial 25 g/ud de abono mineral N:P:K triple 15 de lenta liberación, junto a 250 g de estiércol curado y totalmente fermentado, una vez cada año, durante dos años.
- Abono manual de plantaciones ejecutadas en hoyos de 100x100x100 cm, aportando mediante entrecava superficial 40 g/ud de abono mineral N:P:K triple 15 de lenta liberación, junto a 400 g de estiércol curado y totalmente fermentado, una vez cada año, durante tres años.

## Protección de la plantación

- Dependiendo de la fauna existente, toda la plantación irá individualmente protegida de los potenciales daños que pudieran provocar roedores, conejos y liebres, mediante tubos protectores (de 60 cm de altura, de los que hay disponibles varios modelos) y un tutor de caña de bambú sujeto al tubo mediante bridas de sujeción, Figura 76. Con estos tubos también se pueden proteger las bases de los troncos (primeros 60 cm) de los árboles plantados de gran porte.



**Figura 76.** Protector de 60 cm de altura protegiendo especies arbustivas y la base del tronco de un pino piñonero de 1.5 m de altura.

Para el caso de los árboles de porte aprox. 2 – 2.5 m de altura y 10-12 cm de perímetro, es aconsejable la colocación de tutores (de 6 cm de diámetro y 2.5 m de altura) de rollizo de pino o similar torneados con punta, hincados un mínimo de 50 cm, y atados de las cabezas con el tronco por cincha textil o similar no degradable, de 3-4 cm de anchura, para evitar que sean tumbados por el viento, Figura 77.





**Figura 77.** Detalle de árboles de porte alto entutorados con poste de pino tratado 2.5 m y 6 cm diámetro con tutores de madera, atado con cincha y protegidos base del tronco.

- En el caso de las fincas en las que sean tradicionalmente pastoreados los rastrojos estivales, las plantaciones deberán protegerse con una malla tipo cinegética a base de postes de madera de pino tratado de 8-10 cm de diámetro y 2 m de altura, hincados en el suelo unos 50 cm a 5 m de separación entre postes y guarnecidos por una malla de 160/15/15 cm, unida al suelo por dos ganchos cada 5 m.

### Cuidados postplantación: labores de mantenimiento

Las labores de mantenimiento son imprescindibles durante, al menos, los dos primeros años y consistirán en:

- Cuando no exista la posibilidad de instalar riego localizado, el riego de conservación de las plantaciones ejecutadas en hoyos para planta procedente de bandeja forestal (30x30x30 o 40x40x40 cm) y hoyos realizados para la plantación de árboles con un porte considerable (hoyos >60x60x60), se hará con manguera y se procurará que la aplicación sea directamente al hoyo evitando que el chorro de agua descalce la planta o destruya el alcorque. Se aportará un total de 15 l y 50 l respectivamente cada vez que se riegue, y se recomienda que durante el primer y segundo año se proporcionen dos riegos por mes entre los meses de junio y septiembre.
- Si la invasión de herbáceas es considerable para la supervivencia de la plantación se recomienda la siega correspondiente a la totalidad de las superficies que integran las plantaciones. La siega se debe efectuar manualmente mediante motodesbrozadora equipada con hilo o cuchilla, de modo que la totalidad del

estrato herbáceo quede a una altura no superior a los 5 cm. Según necesidades, la siega se realiza generalmente dos veces cada año de mantenimiento.

- Binas y escardas una vez al año los dos primeros años, que incluye la reforma del alcorque mediante azada, el aporcado del tallo de la planta, su pisado, y la escarda y limpieza mediante escardillo tanto del interior del alcorque, como del exterior, en 1 m de radio. Tras la labor se procederá a la retirada de residuos y la limpieza del tajo.

## 3.6. COSTES DE EJECUCIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES UNITARIOS

### 3.6.1. Recursos, precios, coste por unidad plantación

A continuación se va a expresar a modo de resumen los costes totales de la plantación (€/ud) a precios de junio de 2014 para un caso de referencia, Figura 78.

Incluye la preparación del terreno, distribución del material, plantación y material (planta forestal en bandeja, protectores y tutores), labores de mantenimiento el primer año (binas, riegos, reposición de marras).

	Costes por unidad de planta						Coste total
	Preparación del terreno	Distribución material forestal	Plantación	Materiales auxiliares y colocación	Planta	Cuidados post plantación	
Plantación manual en suelo suelto con poca pendiente	0.60	0.02	0.31	1.92	0.45	2.43	5.72
Plantación mecanizada en suelo suelto con poca pendiente	0.07	0.02	0.22	1.92	0.45	2.53	5.21
Plantación manual en suelo pedregoso y compactado con pendiente	3.28	0.21	0.31	1.92	0.45	2.58	8.75
Plantación mecanizada en suelo pedregoso y compactados con mediante	1.27	0.21	1.92	1.92	0.45	2.65	8.41

**Figura 78.** Resumen de los costes por unidad de plantación en diferentes condiciones con precios de junio de 2014 en euros.

# Criterios técnicos para el diseño y evaluación de cárcavas

Costes		Unidad de plantación de setos con preparación del terreno manual					
cCodigo	cNat	cUd	cResumen	mComentario	rCanPres	cPrPres	rImpPres
<b>C01</b>	<b>Capítulo</b>		<b>PREPARACION DEL TERRENO (manual)</b>				
<b>F01029</b>	Partida	Mi	Preparación hoyo 40x40x40 suelo suelto, densidad <700 hoyos/ha, pendiente <= 50% Preparación manual de hoyo de 40 cm de profundidad, de forma troncopiramidal con 40x40 cm en su base superior y 30x30 cm en su base inferior, en suelos sueltos, con pendiente inferior o igual al 50% y densidad inferior a 700 hoyos/ha. Peón régimen especial agrario		58.3330	8.4800	494.66
O02003	Mano de obra Hr						
O02001	Mano de obra Hr		Jefe de cuadrilla régimen especial agrario		8.3330	10.9400	91.16
%1.0CI	Otros	%	Costes indirectos 1.0%		1.0000	940.7400	9.41
<b>PRECIO</b>							<b>595.23</b>
							<b>0.59523 €/Ud</b>
<b>C04</b>	<b>Capítulo</b>		<b>DISTRIBUCIÓN MATERIAL FORESTAL (Planta)</b>				
<b>F01165</b>	Partida	Mi	Distribución planta bandeja <= 250 cm², distancia <= 500 m, pendiente <= 50%(R.E.A.) Reparto dentro del tajo, con distancia menor o igual de 500 m, de planta en bandeja con envase termoformado o rígido con capacidad <= 250 cm² empleada en los distintos métodos de plantación, en terreno con pendiente inferior o igual al 50%.				
O02003	Mano de obra Hr		Peón régimen especial agrario		1.2250	8.4800	10.39
%1.0CI	Mano de obra Hr		Jefe de cuadrilla régimen especial agrario		0.1750	10.9400	1.91
	Otros	%	Costes indirectos 1%		1.0000	12.3000	0.12
<b>PRECIO</b>							<b>12.43</b>
							<b>0.01243 €/Ud</b>
<b>C04</b>	<b>Capítulo</b>		<b>DISTRIBUCIÓN MATERIAL FORESTAL (Protectores)</b>				
<b>F01165</b>	Partida	Mi	Distribución de tubo protector 60 cm, distancia <= 500 m, pendiente <= 50% Reparto dentro del tajo, con distancia menor o igual de 500 m, de tubo protector de 60 cm, en terreno con pendiente inferior o igual al 50%.				
O02003	Mano de obra Hr		Peón régimen especial agrario		1.2250	8.4800	10.39
%1.0CI	Mano de obra Hr		Jefe de cuadrilla régimen especial agrario		0.1750	10.9400	1.91
	Otros	%	Costes indirectos 1%		1.0000	19.7600	0.20
<b>PRECIO</b>							<b>12.50</b>
							<b>0.01250 €/Ud</b>
<b>C04</b>	<b>Capítulo</b>		<b>PLANTACIÓN</b>				
<b>F01165</b>	Partida	Mi	Plantación bandeja <= 250 cm², en hoyos, suelo suelto-tránsito, pendiente <= 50%(R.E.A.) Plantación y tapado manual de un millar de plantas en bandeja con envase rígido o termoformado con capacidad <= 250 cm² en hoyos de 40x40 cm preparados en suelos sueltos o tránsito. No se incluye el precio de la planta, el transporte, ni la distribución de la misma en el tajo. En terreno con pendiente inferior o igual al 50%.				
O02003	Mano de obra Hr		Peón régimen especial agrario		30.4340	8.4800	258.08
%1.0CI	Mano de obra Hr		Jefe de cuadrilla régimen especial agrario		4.3470	10.9400	47.56
	Otros	%	Costes indirectos 1%		1.0000	305.6400	3.06
<b>PRECIO</b>							<b>305.64</b>
							<b>0.30564 €/Ud</b>
<b>C04</b>	<b>Capítulo</b>		<b>PLANTACIÓN</b>				
<b>F01165</b>	Partida	Mi	Colocación tubo protector 60 cm de altura con tutor (R.E.A.) Colocación de tubo protector biodegradable de hasta 60 cm de altura, para la protección de planta de repoblación, incluso tutor de madera de 1 metros de altura y 3x3 cm de sección, con punta, de madera de acacia o tratado contra pudriciones en los primeros 50 cm desde la punta. Este precio incluye el clavado del tutor un mínimo de 50 cm.				
O02003	Mano de obra Hr		Peón régimen especial agrario		60.0000	8.4800	508.80
%1.0CI	Mano de obra Hr		Jefe de cuadrilla régimen especial agrario		18.5700	10.9400	203.16
	Material	ud	Tutor madera 3x3 cm altura <= 1 m (p.o.)		1 000.0000	0.5200	520.00
		jor	Vehículo todoterreno 71-85 CV, sin mano de obra		1.0700	66.0000	70.62
P08049	Material	ud	Tubo protector invernadero 0.6 m (p.o.)		1 000.0000	0.6000	600.00
	Otros	%	Costes indirectos 1%		1.0000	1302.5800	13.03
<b>PRECIO</b>							<b>1 915.60</b>
							<b>1.91560 €/Ud</b>
<b>C04</b>	<b>Capítulo</b>		<b>CUIDADOS CULTURALES POSTPLANTACIÓN</b>				
<b>F01165</b>	Partida	Mi	Comprende una bina y tres riegos estivales de mantenimiento, por unidad de plantación lineal, incluyendo la reposición de marras, estimada para un 15% Bina manual para eliminación de malashierbas. Riego localizado con sistema a pie de planta Reposición de marras en arboleda (<10%). Costes indirectos 1%				
		m²			2.0000	0.4000	0.80
		Ud			3.0000	0.4800	1.44
		ud			1.0000	3.2900	0.16
		%			1.0000	3.2900	0.02
<b>PRECIO</b>							<b>2.43</b>
							<b>2.43000 €/Ud</b>
					<b>Ud/Costes plantación</b>		<b>5.27140</b>
					<b>Ud/Planta forestal (bf)/precio aprox.</b>		<b>0.45</b>
					<b>Coste Ud plantación (No incluye ni Gastos General, ni Beneficio Industrial, ni IVA)</b>		<b>5.72 €/Ud</b>

### 3. DIVERSIFICACIÓN DEL PAISAJE RURAL MEDIANTE LA IMPLANTACIÓN DE VEGETACIÓN

<b>Costes</b>							
<b>cCódigo</b>	<b>cNat</b>	<b>cUd</b>	<b>cResumen</b>	<b>mComentario</b>	<b>rCanPres</b>	<b>cPrPres</b>	<b>rmpPres</b>
<b>Unidad de plantación de setos con preparación del terreno mecanizada</b>							
<b>C03</b>	<b>Capítulo</b>	<b>PREPARACIÓN DEL TERRENO (mecanizada)</b>					
<b>F01170</b>	Partida	Km	<b>Subsolado &gt; 50 cm suelo suelto, pendiente &lt;= 20%</b>				
			Preparación de suelos sueltos mediante subolado por curvas de nivel con ripper de 1 vástago a una profundidad mayor de 50 cm, en pendiente inferior o igual al 20%.				
O02003	Maquinaria	Hr	Tractor orugas 171/190 CV		0.8000	83.8300	67.06
%1.0CI	Otros	%	Costes indirectos 1,0%		1.0000	67.06	0.67
<b>PRECIO</b>							<b>67.73</b>
							<b>0.06773 €/Ud</b>
<b>cCódigo</b>	<b>cNat</b>	<b>cUd</b>	<b>cResumen</b>	<b>mComentario</b>	<b>rCanPres</b>	<b>cPrPres</b>	<b>rmpPres</b>
<b>C04</b>	<b>Capítulo</b>	<b>DISTRIBUCIÓN MATERIAL FORESTAL (Plantas)</b>					
<b>F01165</b>	Partida	MI	<b>Distribución planta bandeja &lt;= 250 cm<sup>3</sup>, distancia &lt;= 500 m, pendiente &lt;= 50% (R.E.A.)</b>				
			Reparto dentro del tajo, con distancia menor o igual de 500 m, de planta en bandeja con envase termoformado o rígido con capacidad <= 250 cm <sup>3</sup> empleada en los distintos métodos de plantación, en terreno con pendiente inferior o igual al 50%.				
O02003	Mano de obra	Hr	Peón régimen especial agrario		1.2250	8.4800	10.39
%1.0CI	Mano de obra	Hr	Jefe de cuadrilla régimen especial agrario		0.1750	10.9400	1.91
	Otros	%	Costes indirectos 1%		1.0000	12.3000	0.12
<b>PRECIO</b>							<b>12.43</b>
							<b>0.01243 €/Ud</b>
<b>cCódigo</b>	<b>cNat</b>	<b>cUd</b>	<b>cResumen</b>	<b>mComentario</b>	<b>rCanPres</b>	<b>cPrPres</b>	<b>rmpPres</b>
<b>C04</b>	<b>Capítulo</b>	<b>DISTRIBUCIÓN MATERIAL FORESTAL (Protectores)</b>					
<b>F01165</b>	Partida	MI	<b>Distribución de tubo protector 60 cm, distancia &lt;= 500 m, pendiente &lt;= 50%</b>				
			Reparto dentro del tajo, con distancia menor o igual de 500 m, de tubo protector de 60 cm, en terreno con pendiente inferior o igual al 50%.				
O02003	Mano de obra	Hr	Peón régimen especial agrario		1.2250	8.4800	10.39
%1.0CI	Mano de obra	Hr	Jefe de cuadrilla régimen especial agrario		0.1750	10.9400	1.91
	Otros	%	Costes indirectos 1%		1.0000	19.7600	0.20
<b>PRECIO</b>							<b>12.50</b>
							<b>0.01250 €/Ud</b>
<b>cCódigo</b>	<b>cNat</b>	<b>cUd</b>	<b>cResumen</b>	<b>mComentario</b>	<b>rCanPres</b>	<b>cPrPres</b>	<b>rmpPres</b>
<b>C04</b>	<b>Capítulo</b>	<b>PLANTACIÓN</b>					
<b>F01165</b>	Partida	MI	<b>Plantación bandeja &lt;= 250 cm<sup>3</sup>, en suelo mecanizado (R.E.A.)</b>				
			Plantación manual de un millar de plantas en bandeja con envase rígido o termoformado con capacidad <= 250 cm <sup>3</sup> en suelos preparados mecánicamente. No se incluye el precio de la planta, el transporte, ni la distribución de la misma en el tajo.				
O02003	Mano de obra	Hr	Peón régimen especial agrario		21.7000	8.4800	184.02
%1.0CI	Mano de obra	Hr	Jefe de cuadrilla régimen especial agrario		3.1000	10.9400	33.91
	Otros	%	Costes indirectos 1%		1.0000	217.9300	2.18
<b>PRECIO</b>							<b>220.11</b>
							<b>0.22011 €/Ud</b>
<b>cCódigo</b>	<b>cNat</b>	<b>cUd</b>	<b>cResumen</b>	<b>mComentario</b>	<b>rCanPres</b>	<b>cPrPres</b>	<b>rmpPres</b>
<b>C04</b>	<b>Capítulo</b>	<b>PLANTACIÓN</b>					
<b>F01165</b>	Partida	MI	<b>Colocación tubo protector 60 cm de altura con tutor (R.E.A.)</b>				
			Colocación de tubo protector biodegradable de hasta 60 cm de altura, para la protección de planta de repoblación, incluso o tutor de madera de 1 metros de altura y 3x3 cm de sección, con punta, de madera de acacia o tratado contra pudriciones en los primeros 50 cm desde la punta. Este precio incluye el clavado del tutor un mínimo de 50 cm.				
O02003	Mano de obra	Hr	Peón régimen especial agrario		60.0000	8.4800	508.80
%1.0CI	Mano de obra	Hr	Jefe de cuadrilla régimen especial agrario		18.5700	10.9400	203.16
	Material	ud	Tutor madera 3x3 cm altura <= 1 m (p.o.)		1.000.0000	0.5200	520.00
M06010		jor	Vehículo todoterreno 71-85 CV, sin mano de obra		1.0700	66.0000	70.62
P08049	Material	ud	Tubo protector invademadero 0,6 m (p.o.)		1.000.0000	0.6000	600.00
	Otros	%	Costes indirectos 1%		1.0000	1302.5800	13.03
<b>PRECIO</b>							<b>1.915.60</b>
							<b>1.9156 €/Ud</b>
<b>cCódigo</b>	<b>cNat</b>	<b>cUd</b>	<b>cResumen</b>	<b>mComentario</b>	<b>rCanPres</b>	<b>cPrPres</b>	<b>rmpPres</b>
<b>C04</b>	<b>Capítulo</b>	<b>CUIDADOS CULTURALES POSTPLANTACIÓN</b>					
<b>F01165</b>	Partida	MI	<b>Comprende una bina y tres riegos estivales de mantenimiento, por unidad de plantación lineal, incluyendo la reposición de marras, estimada para un 15%</b>				
		m <sup>2</sup>	Bina manual para eliminación de malas hierbas.				
		Ud	Riego localizado con sistema a pie de planta		3.0000	0.4800	1.44
		ud	Reposición de marras en arboleada (<10%).		1.0000	2.6800	0.27
		%	Costes indirectos 1%		1.0000	2.6800	0.03
<b>PRECIO</b>							<b>2.53</b>
							<b>2.53000 €/Ud</b>

Ud/Coste plantación	<b>4.75837</b>
Ud/Planta forestal (bf)/precio aprox.	<b>0.45</b>
<b>Coste Ud plantación (No incluye ni Gastos General, ni Beneficio Industrial, ni IVA)</b>	<b>5.21 €/Ud</b>

**Figura 79.** Descomposición de los precios unitarios de plantación (en euros) en diferentes condiciones con precios de junio de 2014.

Se puede consultar un caso de estudio detallado de diversificación del paisaje agrario en el Anejo 9.

### **3.7. REQUISITOS ADMINISTRATIVOS: LICENCIAS NECESARIAS**

En general son muy similares a los requisitos y administraciones comentados en el apartado 2.3.2. referido a cárcavas. Por ello nos referimos a esa sección en el manual. Conviene prestar atención a los problemas derivados de plantaciones en zonas que pudieran ser consideradas de dominio público hidráulico, o zonas colindantes con otras fincas en las que el deslinde pudiera crear un conflicto.

## **4. MUROS DE CONTENCIÓN**



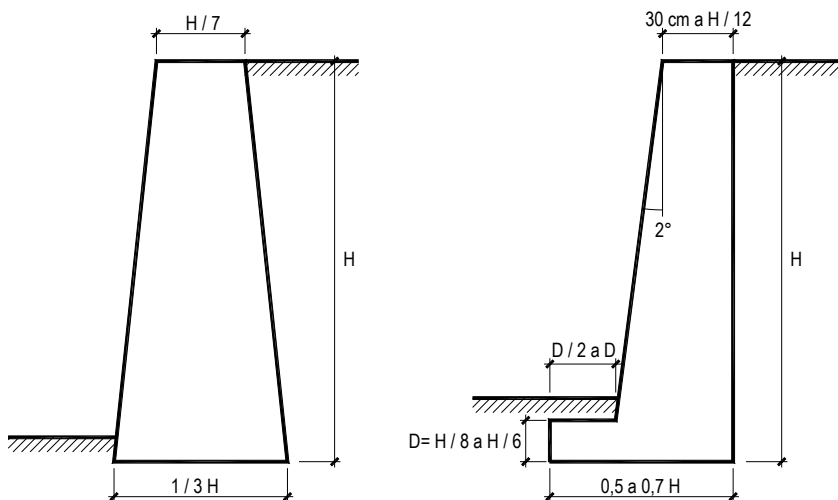


## 4. MUROS DE CONTENCIÓN

### 4.1. INTRODUCCIÓN

Esta sección contiene un resumen del capítulo VII del libro de Ayuso et al. (2009) "Cimentaciones y estructuras de contención de tierras", donde todos los detalles técnicos y comprobaciones constructivas son desarrolladas.

Los muros de gravedad (Figura 80) son aquellos que consiguen su estabilidad a través del peso propio y se diseñan generalmente para que no trabajen a tracción. Pueden usarse distintos materiales como fábrica de ladrillo, bloques de hormigón, mampostería, hormigón en masa y gaviones.



**Figura 80.** Predimensionamiento de un muro de gravedad. Fuente: Ayuso et al. (2009)

Los muros de gravedad se usan para alturas menores de 1.5 m, ya que para alturas superiores resulta más económico el muro en ménsula (Figura 81). Los muros en ménsula se realizan de hormigón armado hasta alturas de unos 8 metros y constan de una pantalla y una zapata.

## 4.2. DISEÑO DE MUROS DE GRAVEDAD

El diseño de este tipo de muros se puede dividir en un 1) predimensionamiento; 2) cálculo de las acciones y 3) comprobación de la estabilidad estructural (DB-SE-Cimientos).

Para el predimensionamiento pueden tomarse los valores reflejados en la Figura 80. En relación al cálculo de las acciones habría que considerar el peso propio (pantalla y zapata, expresado por unidad de longitud), la resistencia pasiva del terreno, fuerzas externas aplicadas sobre el muro y empuje activo del terreno sobre la pantalla.

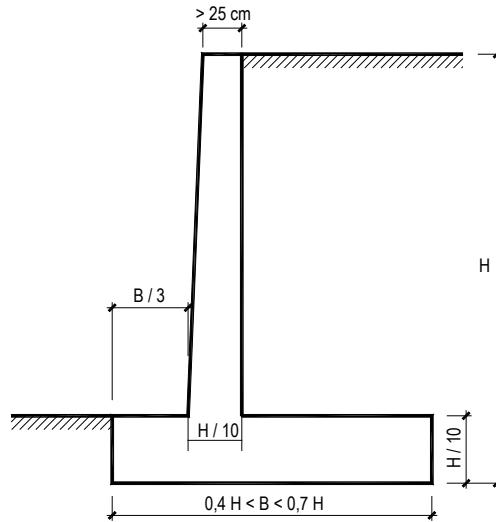
Como norma general deberían llevarse a cabo las siguientes comprobaciones (ver detalles, Ayuso et al. 2009):

- Estabilidad al vuelco.
- Estabilidad al deslizamiento.
- Estabilidad frente al hundimiento.
- Comprobación de la estabilidad global.

Finalmente el drenaje es esencial en el diseño de estos muros ya que una acumulación elevada de agua en el relleno del muro produce un considerable incremento del empuje de tierras que puede afectar a la inestabilidad del mismo. El sistema más usual y sencillo es la utilización de mechinales que son tubos de PVC o de polietileno de menos de 10 cm de diámetro que se disponen en hileras paralelas inclinadas en la dirección de la pendiente. A la entrada de los mismos deberían disponerse gravas que actúen como filtro. Este relleno no se suele compactar, sino sólo verter y extender para no aumentar los empujes sobre el muro.

## 4.3. DISEÑO DE MUROS DE HORMIGÓN EN MÉNSULA

En la Figura 81 se muestra el predimensionamiento de un muro de hormigón en ménsula. Como puede observarse, la pared de la pantalla se dispone generalmente vertical pero en muros muy altos se le da un ángulo de 1 o 2 grados para incrementar el grosor de la base. Como regla general la altura de la zapata debería ser superior a 0.8 m.



**Figura 81.** Predimensionamiento de un muro de hormigón en ménsula. Fuente: Ayuso et al. (2009)

En este caso se deberían llevar a cabo los mismos pasos que en el epígrafe anterior: cálculo de acciones y comprobaciones. Adicionalmente, en las acciones se consideran los posibles empujes hidroestáticos en la base de la zapata y acciones sísmicas. Además el cálculo de la armadura en zapatas y pantallas exige nuevas comprobaciones como la resistencia al esfuerzo cortante y a la fisuración.

Las Tablas 7 y 8 ofrecen valores orientativos para la construcción de muros de acuerdo a las Figuras 80 y 81.

Muros de gravedad de perfil trapezoidal		
Altura (m)	Anchura superior (m)	Anchura inferior (m)
1.50	0.21	0.50
1.40	0.20	0.47
1.30	0.19	0.43
1.20	0.17	0.40
1.10	0.16	0.37
1.00	0.14	0.33
0.90	0.13	0.30
0.80	0.11	0.27
0.70	0.10	0.23
0.60	0.09	0.20

**Tabla 7.** Valores orientativos para el predimensionamiento de muros de gravedad (ver Figura 80).

Muro en ménsula					
Altura (m)	Base zapata (m)	Profundidad zapata (m)	Longitud talón (m)	Anchura inferior pantalla (m)	Anchura superior pantalla (m)
2.00	1.40	0.40	0.47	0.40	0.25
1.90	1.33	0.39	0.44	0.39	0.25
1.80	1.26	0.38	0.42	0.38	0.25
1.70	1.19	0.37	0.40	0.37	0.25
1.60	1.12	0.36	0.37	0.36	0.25
1.50	1.05	0.35	0.35	0.35	0.25

**Tabla 8.** Valores orientativos para el predimensionamiento de muros de gravedad (ver Figura 81).

## **5. MEJORA AMBIENTAL DE FUENTES Y ABREVADEROS**





## 5. MEJORA AMBIENTAL DE FUENTES Y ABREVADEROS

### 5.1. CONCEPTOS GENERALES

Tradicionalmente, el ganado extensivo y el pastoreo utilizaban los abrevaderos, fuentes y charcas como puntos de abastecimiento de agua de una manera sostenible. Sin embargo, el cambio hacia una ganadería más intensiva ha provocado su deterioro, bien por una falta de mantenimiento por su desuso, o bien por un manejo inadecuado en explotaciones intensivas con una alta carga ganadera.

Estas estructuras son muy importantes para la conservación de diversidad animal y vegetal, y concretamente para la reproducción de los anfibios, por lo que su conservación y mejora debería de realizarse para fomentar la biodiversidad dentro de estos micro-ecosistemas. Cabe destacar que los anfibios son el grupo faunístico más amenazado del planeta, estando un tercio de las especies de anfibios catalogadas con algún grado de amenazada en la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), lo que pone en evidencia la necesidad de ejecutar acciones para incrementar sus poblaciones. Además, debido a que los anfibios se alimentan de una gran cantidad de insectos (como larvas de mosquitos), estos juegan una función muy importante como controladores de plagas, lo que resulta de gran utilidad para los sectores agrícola y forestal.



**Figura 82.** Los anfibios dependen del medio acuático para su reproducción y supervivencia. Rana común (*Pelophylax perezi*). Foto cortesía de José Guerrero-Casado.

## 5.2. CRITERIOS GENERALES

En numerosas ocasiones, las paredes verticales de estos puntos de agua constituyen una barrera que imposibilitan a los anfibios entrar y salir, actuando como trampas mortales. Por lo tanto, las medidas deberían ir básicamente encaminadas a adaptar las fuentes y abrevaderos mediante la construcción de rampas para facilitar el acceso y la salida de estos animales.

En el caso de que el caudal haya desaparecido, el primer paso es identificar los agentes causantes (sobreeplotación, colmatación, canalización del aporte de agua, o colapso de las conducciones) para poder proceder a la recuperación de un caudal mínimo que garantice el correcto funcionamiento.

Siempre que sea posible, el agua debería de circular, con entrada y salida constante de agua, lo cual facilitará la oxigenación de las aguas y evitará la eutrofización.

Es altamente recomendable conservar la vegetación que crece en torno a las fuentes y abrevaderos, ya que se suelen formar comunidades de herbáceas que están catalogadas como el hábitat 6420 en la Directiva 92/43/CEE relativa a la Conservación de los Hábitats Naturales y de la Fauna y Flora Silvestres, denominándose *Prados húmedos mediterráneos de hierbas altas*. Estos herbazales formados básicamente por juncos son un hábitat óptimo para la alimentación y refugio de los anfibios, siendo auténticas islas de humedad y verdor en un ambiente seco, lo que se traduce en un alto valor para la fauna salvaje y doméstica.

La restauración y mejora deberían de efectuarse en épocas que no interfieran con la reproducción de los anfibios. De este modo, si el abrevadero todavía presenta agua, su reconstrucción debería de hacerse al final del verano-principios de otoño, fuera de la época de reproducción, pero si por el contrario este se encuentra seco o en desuso, su restauración debería finalizar antes de la época de reproducción a principios de la primavera.

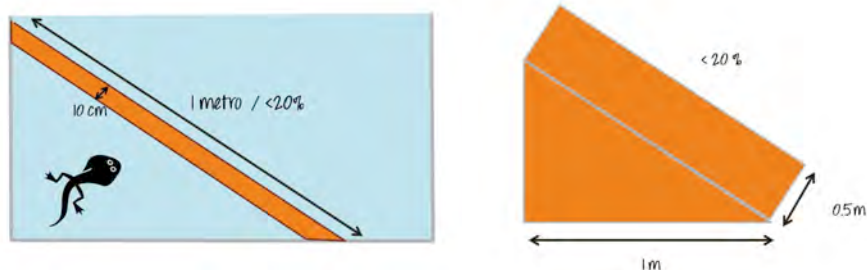
## 5.3. ESTRUCTURAS DE ENTRADA Y SALIDA

Las paredes verticales y lisas de la mayoría de los abrevaderos constituyen una trampa mortal para los anfibios, motivo por el cual la construcción de rampas de acceso y salida aumenta la efectividad de estas estructuras como puntos de reproducción de anfibios, Figura 83.

En el interior de los abrevaderos solo es necesario colocar una viga de un metro de longitud y 10 cm de ancho fijada en el fondo y en parte superior, la cual deberá formar una rampa con una pendiente inferior al 20 %. Si el abrevadero tiene más de 10 metros de

longitud, se debería colocar una rampa en cada extremo. En todo caso, la viga debería de ser revestida con hormigón rugoso u otro material que facilite trepar a los anfibios.

En el exterior también debe de colocarse una rampa de acceso. Esta debe de tener unas dimensiones de 1 metro de longitud por 50 cm de ancho, y también deberá de estar formada por material rugoso (hormigón y piedras del entorno preferentemente) y con pendientes inferiores al 20 %. Si el abrevadero tiene más de 10 metros de longitud, se debería colocar una rampa en cada extremo.



**Figura 83.** Diseño de la rampa interior de escape (izquierda) y diseño de la rampa exterior de acceso (derecha)

## 5.4. ADECUACIÓN DE LAS SALIDAS DE AGUA

Las salidas de agua deben de tener una malla metálica (3 mm de luz de malla) que actúe como un filtro para evitar que las larvas de anfibios sean expulsadas fuera del agua, lo que implicaría su muerte, ya que estas necesitan habitar en un medio acuático para su desarrollo.

## 5.5. REFUGIO EN EL INTERIOR

Un elemento fundamental es la disponibilidad de refugio en el interior de los abrevaderos, pilones y fuentes, ya que normalmente estas estructuras son totalmente lisas y carecen de cualquier tipo de refugio ante los depredadores. Por ello, es aconsejable colocar grupos de piedras de tamaño medio a modo de refugio acuático, dejando el mayor número de huecos posibles entre piedras. Con estas medidas sin grandes costes y fáciles de ejecutar conseguiremos que la supervivencia de los anfibios sea mucho mayor.

## 5.6. COSTES UNITARIOS

A continuación, Tablas 9 y 10, se indican los precios aproximados por unidad de los materiales y mano de obra necesarios para la construcción y/o adaptación de un abrevadero en euros con precios de baremo Tragsa de 2011. El cálculo final de los costes dependerá de la ubicación del abrevadero, su tamaño, la toma de agua y las peculiaridades del terreno. Además el precio puede reducirse sustancialmente si se utilizan piedras de la zona, maquinaria y/o personal propio.

Desglose de precios para la construcción de un abrevadero		
Concepto	Unidad	*Precio unitario (€)
Cemento	m <sup>2</sup>	50.66
Piedras calizas en cantera	m <sup>3</sup>	12.2
Peón régimen general	hora	15.7
Oficial 1 <sup>a</sup>	hora	18.38
Miniexcavadora	hora	30.5
Transporte de materiales	km	1.25
Viga	m	9.5

**Tabla 9.** Precios unitarios medios para la construcción de un abrevadero en euros según el baremo de Tragsa 2011.

Desglose de precios para la construcción de un abrevadero tipo de 5 m <sup>2</sup>				
Concepto	Unidad	Precio unitario (€)	Cantidad	Subtotal
Cemento	m <sup>2</sup>	50.66	7	354.62
Piedras calizas en cantera	m <sup>3</sup>	12.2	3	36.6
Peón régimen general	hora	15.7	2.5	39.25
Oficial 1 <sup>a</sup>	hora	18.38	2.5	45.95
Miniexcavadora	hora	30.5	1	30.5
Transporte de materiales	km	1.25	20	25
Viga	m	9.5	1	9.5
<b>Total (€)</b>				<b>541.42</b>

**Tabla 10.** Desglose de cálculo de costes para para la construcción de un abrevadero tipo de 5 m<sup>2</sup>. En euros según el baremo de Tragsa 2011.

## 5.7. ERRORES COMUNES Y PREGUNTAS FRECUENTES

**¿Es bueno tener vegetación acuática?** Sí, esta vegetación mejora la calidad del agua al fijar los sólidos en suspensión y retirar nutrientes, aumentando la transparencia y oxigenando el agua. Si hay un exceso de vegetación, ésta debería retirarse para evitar fenómenos de eutrofización, los cuales provocan la muerte de numerosos organismos acuáticos por un descenso brusco de los niveles de oxígeno.

**¿Debo usar productos químicos para mejorar el agua?** Para mejorar la transparencia de las aguas, se suelen emplear productos químicos como cloro y plaguicidas, e incluso algunos ganaderos y gestores añaden pequeñas dosis de lejía. Sin embargo, los anfibios son muy vulnerables a las sustancias tóxicas, ya que su piel es muy permeable y absorbe con facilidad estas sustancias que resultan ser letales para ellos. Por ello, es totalmente desaconsejable utilizar cualquier tipo de producto químico, que además supone un coste adicional y una baja eficacia a corto plazo. Es más recomendable realizar un buen mantenimiento, retirando la vegetación excedente y los materiales en suspensión para evitar los procesos de eutrofización mencionados anteriormente y no tener que recurrir a los biocidas.

**¿Debo recuperar/adaptar un abrevadero que se seca en verano?** Un error muy común es restar importancia a las charcas y cursos de agua que se secan en la época estival, asumiendo que las aguas permanentes son de mayor importancia para la fauna. Sin embargo, los anfibios prefieren aguas temporales de charcas, fuentes, cunetas e incluso en arroyos con poca corriente para hacer sus puestas y el posterior desarrollo de las larvas, por lo que la adaptación de fuentes o abrevaderos de aguas temporales resulta muy beneficioso para estos animales.





## **6. CONSTRUCCIÓN CHARCAS ARTIFICIALES**



## 6. CONSTRUCCIÓN CHARCAS ARTIFICIALES

### 6.1. CONCEPTOS GENERALES

Las charcas y balsas agrícolas, Figura 84, constituyen un ecosistema de gran importancia en las zonas de clima mediterráneo, donde se concentran numerosas especies vegetales y animales, constituyendo auténticas “islas de vida” en una matriz más árida. De hecho, estudios realizados por la Universidad de Sevilla han mostrado que la biodiversidad que albergan las balsas agrícolas andaluzas es similar a la que se puede encontrar en los humedales naturales. Sin embargo una excesiva concentración de ganado puede alterar estos pequeños ecosistemas, ya que eliminan el cinturón de vegetación palustre, compactan el suelo, aumentando la turbidez del agua y contaminando las aguas por el aporte de excrementos. De hecho, el 92 % de las balsas agrícolas mayores de 600 m<sup>2</sup> existentes en Andalucía carecen de vegetación en sus orillas, lo que pone de manifiesto su deterioro y la baja calidad ambiental. Por lo tanto, es necesaria la adopción de ciertas medidas para la adaptación de estas charcas para hacer compatible su uso ganadero o agrícola con la conservación de la biodiversidad animal y vegetal en general, y de los anfibios en particular.



**Figura 84.** Balsa de uso cinegético con un alto grado de deterioro. El pisoteo de los animales junto con las grandes pendientes dificulta el crecimiento de la vegetación en el perímetro de la charca. Foto cortesía de José Guerrero-Casado.

## 6.2. DISEÑO DE LAS CHARCAS

### 6.2.1. Criterios para elección del punto de la charca

Para la creación de nuevas charcas, es de vital importancia seleccionar el punto adecuado para su correcto funcionamiento. Los criterios básicos son:

- Elegir un lugar donde se pueda establecer una charca de al menos 100 m<sup>2</sup>.
- Buscar un lugar próximo a una fuente natural de agua (manantial) o ubicar la charca cerca de algún abrevadero o fuente para utilizar el agua sobrante.
- En el caso de ubicación alejada de fuentes naturales, se debe de colocar en lugares que se encharquen con facilidad y se aproveche el agua de escorrentía.
- Elegir zonas de vaguada donde no sea necesario grandes movimientos de tierra.
- Evitar las zonas con pendientes muy acusadas que puedan arrastrar muchos sedimentos y provocar problemas de colmatación.
- Preferiblemente se deben ubicar en zonas próximas a otras charcas o cursos fluviales que favorezcan la colonización por las especies animales y vegetales de los medios acuáticos.

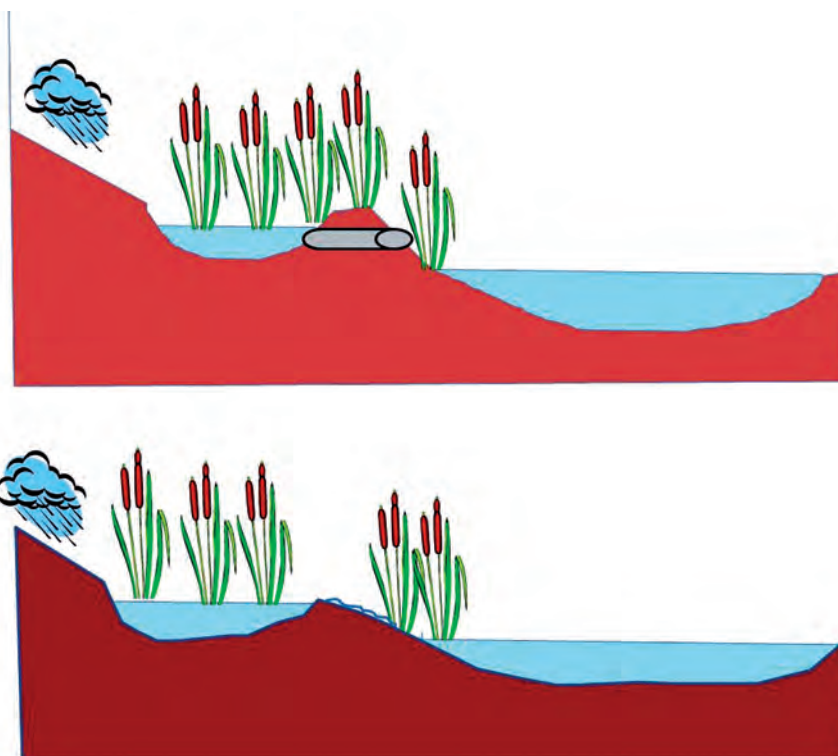


**Figura 85.** Las aguas poco profundas y temporales son muy importantes para el desarrollo de las larvas de varias especies de anfibios. Foto cortesía de José Guerrero-Casado.

## 6.2.2. Criterios de diseño

Para alcanzar una mayor versatilidad desde el punto de visto biológico es recomendable aplicar los siguientes criterios:

- **Contornos irregulares.** En la interfase entre el medio acuático y terrestre se producen muchas interacciones biológicas, por lo que aumentar la longitud de orillas favorecerá la diversidad de la charca. Las entrantes, bancos de tierra, isletas y todas las estructuras similares aumentaran la heterogeneidad y por lo tanto la biodiversidad.
- **Pendientes suaves.** Este punto es importante por dos aspectos: por un lado favorecer la entrada y salida de fauna doméstica y silvestre, y por otro establecer un rango hídrico que favorezca el establecimiento de un mayor número de especies vegetales con distinto requerimiento hídrico. Cuanto más suave sea la pendiente, mayor será el número de nichos ecológicos disponibles para las distintas especies vegetales.
- **Fondo natural.** Siempre que sea posible, es preferible que la charca tenga un fondo natural irregular en lugar de un fondo constituido por materiales artificiales, ya que un fondo natural con vegetación posee un mayor valor medioambiental. En el caso de que se utilicen materiales para impermeabilizar el suelo, este debería de cubrirse con tierra y piedras para su naturalización.
- **Refugios.** Al igual que en los abrevaderos, la colocación de piedras en el interior de las charcas aumentará las probabilidades de supervivencia de los anfibios.
- **Vallado.** Para evitar los problemas asociados a una concentración de reses en los puntos de agua, el perímetro de la charca debe ser vallado, a excepción de 2 metros por donde el ganado pueda acceder (para más detalle ver sección 6.4).
- **Vegetación perimetral.** Una premisa para asegurar que la charca tenga un alto valor medioambiental es el establecimiento de vegetación palustre alrededor de la charca (ver sección 6.3). Además la ubicación de árboles en las proximidades puede proporcionar sombra, lo cual es esencial para favorecer el bienestar animal.
- **Prebalsa:** consiste en una pequeña balsa con un lecho de arena y grava por donde pasa el agua antes de su vertido en la charca principal. Sus funciones son capturar los sedimentos y nutrientes, evitando así la eutrofización y la colmatación, mejorando en general la calidad del agua y las condiciones ambientales de la charca. Se construye haciendo una pequeña excavación en los lugares de acceso del agua, y dotándolos con un rebosadero que desembogue en la charca.



**Figura 86.** Esquema para el desagüe de la pre-balsa mediante un tubo (arriba) o mediante un aliviadero o rebosadero (abajo).

### 6.3. SELECCIÓN DE LAS ESPECIES VEGETALES PARA EL PERÍMETRO DE LA CHARCA

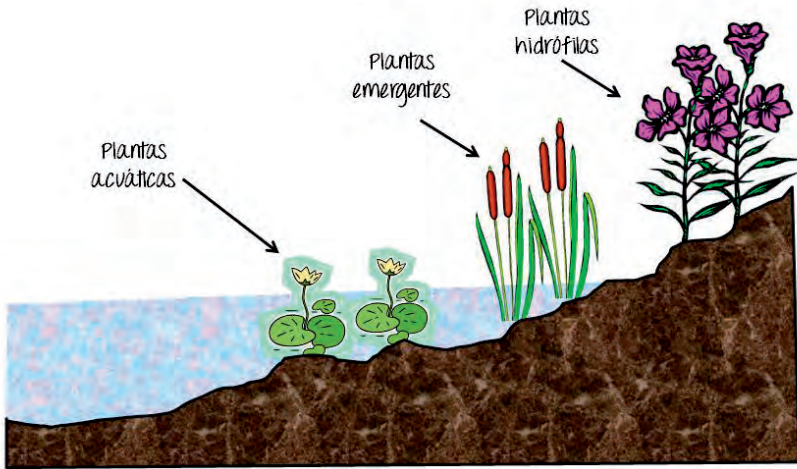
El establecimiento de un cinturón de vegetación alrededor de la charca, Figura 87, tiene una serie de ventajas: reduce la erosión, favorece la estabilidad de las orillas, aumenta la diversidad, proporciona refugio y alimento, absorbe nutrientes y aporta oxígeno. Siempre se deben usar especies autóctonas, evitando siempre las especies exóticas, las cuales pueden ocasionar problemas ambientales impredecibles. Dependiendo de la distancia a la orilla, podemos establecer dos tipos de plantas.

- **Helófitos o plantas emergentes:** plantas acuáticas de lugares encharcados con la mayor parte de su aparato vegetativo (hojas, tallos y flores) emergente. Se localizan en los bordes de las lagunas, charcas y zonas inundables no muy



profundas. Las especies más representativas son la espadaña o enea (*Thypha latifolia*), el carrizo (*Phragmites australis*), o el junco de laguna (*Schoenoplectus lacustris*).

- **Hidrófitos o plantas hidrófilas:** plantas que se sitúan en suelos húmedos, que ocasionalmente pueden estar encharcados. La especies más comunes son el junco (*Scirpus holoschoenus*), el taraje (*Tamarix gallica*) y la adelfa (*Nerium oleander*)



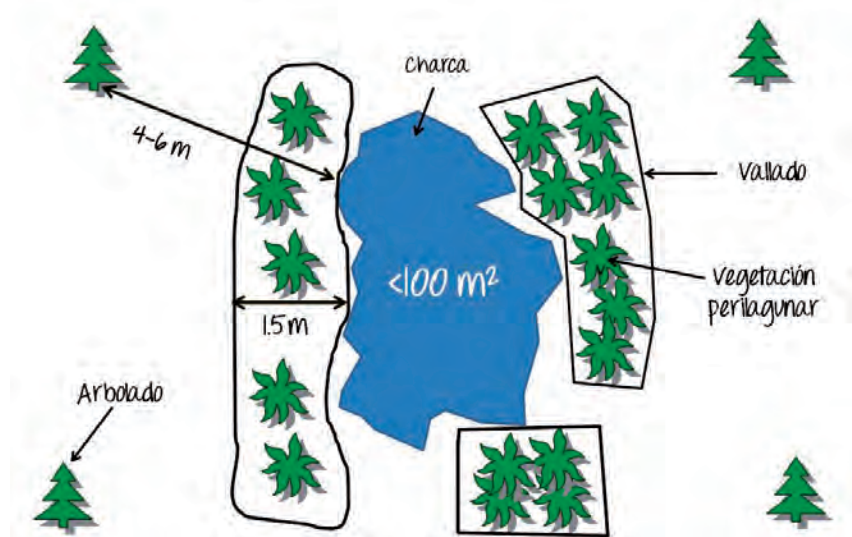
**Figura 87.** Las pendientes más suaves permitirán el desarrollo de una mayor variedad vegetal como consecuencia de un mayor gradiente hídrico. En el esquema se representan tres tipos de plantas en función de su relación con el medio acuático: plantas acuáticas como los nenúfares, plantas emergentes o helófitos como la enea o el carrizo, y plantas hidrófilas como la adelfa, los juncos o el taraje.

En una charca es aconsejable que existan zonas de luz para favorecer la fotosíntesis de las plantas acuáticas y zonas de sombra para evitar el excesivo crecimiento de las algas y reducir la evaporación. Por ello, la utilización de árboles puede satisfacer ambos objetivos, a la vez que se proporciona sombra para el ganado. Las especies de hoja caduca son a priori las más adecuadas, ya que son las plantas mejor adaptadas a los suelos con mayor disponibilidad hídrica, sin embargo pueden provocar problemas de eutrofización por un aporte excesivo de materiales al caer sus hojas a la charca. Por ello se deben de colocar a una distancia adecuada para que la charca no se sitúe debajo de la proyección de la copa pero no muy alejada para que las raíces puedan aprovechar el agua del suelo de las proximidades de la charca.

## 6.4. DISEÑO DEL CONJUNTO (CHARCA + CERCADO + PERÍMETRO VEGETAL)

El conjunto de la charca más el perímetro de vegetación y el vallado, Figura 88, deberán de cumplir las siguientes condiciones, además de satisfacer las recomendaciones mencionadas en los apartados anteriores:

- **Charca.** Esta deber de tener al menos  $100 \text{ m}^2$  de superficie y una pendiente suave de menos del 20 % en al menos el 25% de su perímetro.
- **Vegetación:** alrededor de la charca debe favorecerse el establecimiento de un cinturón de vegetación palustre de al menos 1.5 metros de ancho. Por los motivos expuestos anteriormente, también se deben de plantar 4 árboles de hoja caduca en los extremos de la charca a una distancia entre 4 y 6 metros entre el tronco y el perímetro (orilla) de la charca, evitando siempre que la proyección de la copa solape con la charca. Estos árboles deberán de estar protegidos por alguna estructura para evitar que sea consumida por el ganado.
- **Vallado:** para limitar el acceso del ganado, debe vallarse al menos el 50 % del perímetro de la charca con un vallado de al menos 1 metro de altura, y una anchura mínima desde la orilla de 1.5 metros. En las explotaciones de ganado porcino, ovino y caprino deberá usarse malla ganadera, mientras que en el caso del ganado vacuno también podrá usarse algún vallado de madera. La revegetación se puede hacer en bosquetes alrededor de la charca, dejando siempre anchura suficiente para el acceso del ganado al agua.



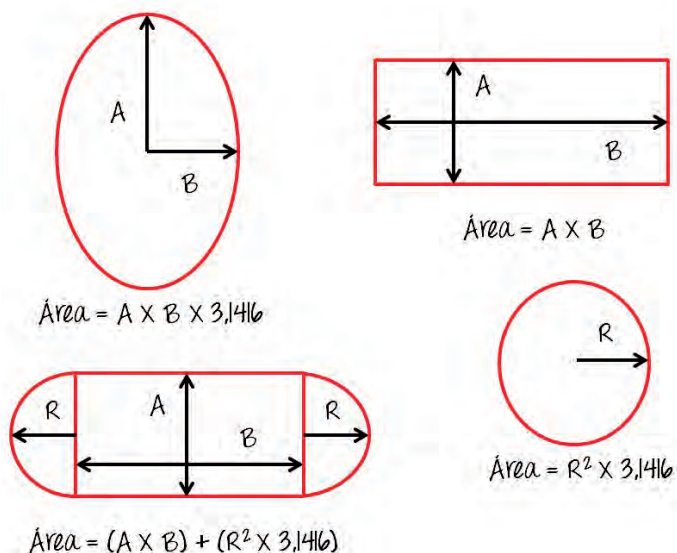
**Figura 88.** Diseño del conjunto charca-vegetación-vallado en el que se observa como la vegetación puede ser protegida en bloques (revegetación en bosquete).

## 6.5. PASOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA CHARCA

Para la construcción de la charca se debe seguir el cronograma propuesto a continuación, en el cual se explica cómo construir la charca en 5 pasos. Esto nos facilitará calcular con mayor facilidad el presupuesto y ejecutar la obra de una manera adecuada.

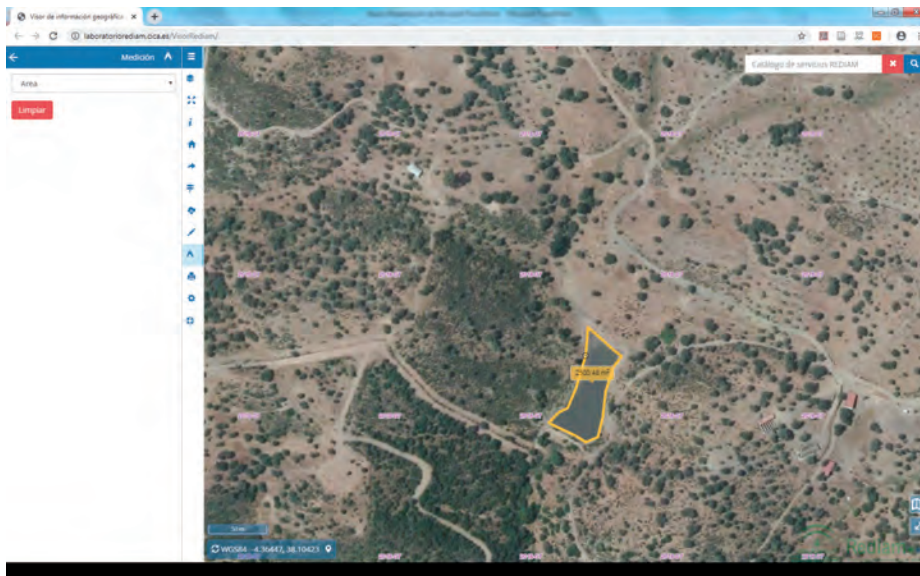
**Paso 1: Elegir el lugar idóneo.** Esta elección la haremos atendiendo a los criterios del apartado 6.2.1.

**Paso 2: Diseño de charca.** Atendiendo a los criterios del apartado 6.2.2. “Criterios de diseño” haremos el diseño de la charca in situ, marcando el perímetro de ésta con estacas o con cal. En este paso es cuando el diseño se plasma sobre el terreno, por lo que previamente deberemos de tener claro cómo será la morfología de la charca en cuanto a extensión, pendientes, forma de la orilla, profundidad, y si vamos a construir una prebalsa. El cálculo de la superficie de la charca podemos realizarlo de varios métodos. En el caso de que la charca tenga una forma básica, la superficie se calculará en base a una de las formas tal y como se muestra en la siguiente figura:



**Figura 89.** Fórmulas para calcular la superficie de elipse, cuadrado, círculo y formas ovaladas.

Para calcular superficies irregulares resulta de gran utilidad el visor geográfico REDIAM (<https://laboratoriorediam.cica.es/VisorGenerico/>) el cual nos permitirá calcular áreas con perímetros irregulares sobre fotos aéreas del terreno, Figura 90. Fuera de Andalucía se puede usar el visor Iberpix del Instituto Geográfico Nacional (<http://www.ign.es/iberpix2/visor/>)

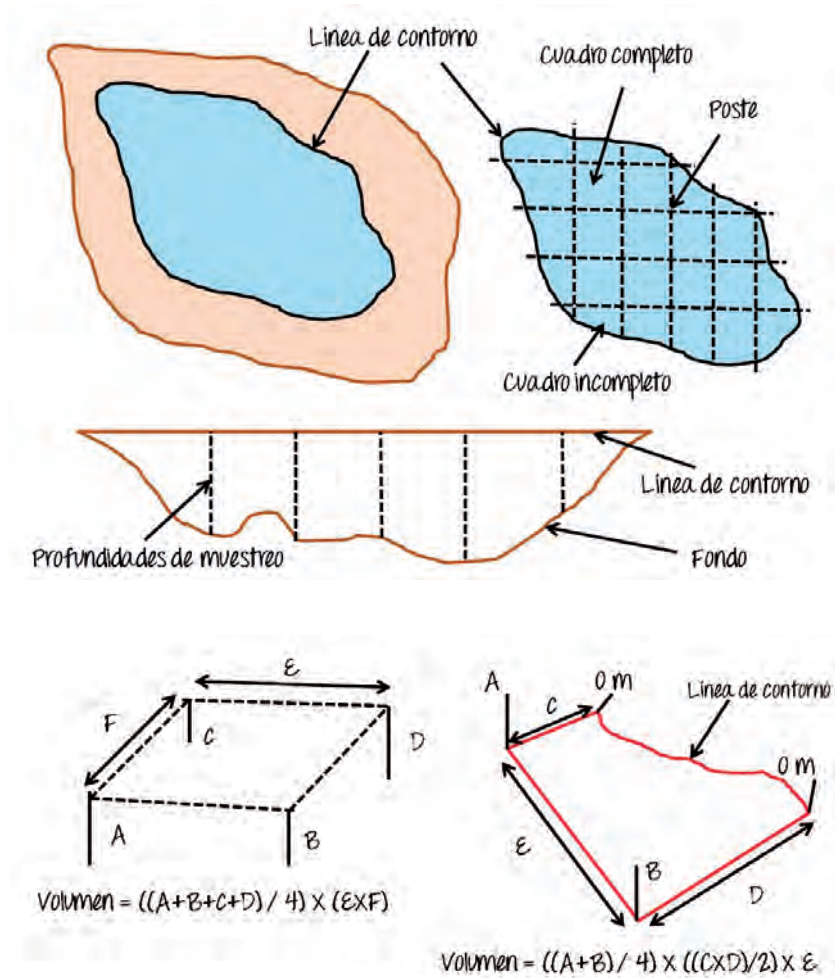


**Figura 90.** Ejemplo del cálculo de una superficie de contorno irregular utilizando el visor de REDIAM.

El cálculo del volumen a almacenar es algo más complejo. Si conocemos la superficie de la lámina de agua, el procedimiento consiste en calcular la profundidad media de la charca, la cual multiplicaremos por la superficie (Volumen = Superficie x Profundidad media). Si el perfil es irregular lo más aconsejable es seguir los siguientes pasos para obtener con mayor precisión el volumen de la charca, Figura 91:

1. Calcular la altura máxima del agua.
2. Determinar y marcar la línea de contorno con respecto a este nivel del agua máximo. El contorno, una vez marcado, indicará la extensión de la charca.
3. Dividir la superficie del embalse proyectado en cuadrados (por ejemplo 2x2 m), colocando un poste en cada vértice del cuadrado. En el centro del área habrá cuadrados completos, pero en los bordes irregulares del embalse tendrá cuadrados parciales.
4. Calcular el nivel que alcanzaría el agua en cada poste teniendo en cuenta la profundidad máxima del embalse previamente estimada. En cada cuadrícula calcular la profundidad media de los postes (Altura media = suma de los 4 postes / 4).
5. Para obtener el volumen solo hay que multiplicar la superficie del cuadro a muestrear por la profundidad media (Volumen = Superficie x Profundidad media).

6. En el caso de las cuadrículas parciales se calcula la profundidad de los dos postes que estén sumergidos, y posteriormente la media longitud de los lados desiguales (Superficie = longitud regular x longitud media de los lados desiguales). Al igual que los cuadros completos el volumen se obtendrá al multiplicar la profundidad media por la superficie.
7. La suma del volumen de todos los cuadros nos dará un valor bastante aproximado del volumen real de la charca.

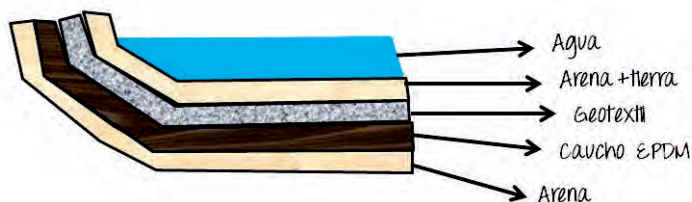


**Figura 91.** Esquema de la metodología para calcular la profundidad de la charca.



**Paso 3: Excavación.** Este es el paso principal en la fase de construcción, donde la tierra será removida para crear la charca. Dependiendo de las condiciones de accesibilidad y las propias condiciones del terreno se usará un tipo u otro de maquinaria, aunque como norma general será necesario el uso de una retroexcavadora o una mini-excavadora, evitando el uso de maquinaria muy pesada siempre que sea posible. Es aconsejable excavar desde centro de la charca hacia el perímetro, pudiéndose usar la tierra extraída para crear el fondo (paso 4) y perfilar las orillas. Además la capa más superficial puede tener una carga de semillas que podrían germinar al tener mayor disponibilidad de agua, por lo que esta tierra es muy útil para recubrir las orillas. En esta fase es importante perfilar las pendientes y orillas adecuadamente, eliminando el exceso de irregularidades o grandes bloques de tierra. También es interesante que las piedras extraídas durante el proceso de excavación se utilicen tanto en las orillas como en el interior de las charcas para proporcionar refugio y estabilizar los márgenes.

**Paso 4: Impermeabilización.** Aunque son preferibles los sustratos naturales, en aquellos suelos muy permeables se debe de colocar algún tipo de material impermeable que impida la filtración del agua, Figura 92. La impermeabilización de la cubeta se realiza de dos maneras principalmente, mediante hormigón o materiales arcillosos, o bien mediante el empleo de plásticos impermeabilizantes. En este último caso, como paso previo a su instalación es imprescindible eliminar todos los materiales que pueden ocasionar pinchazos o roturas a la lámina impermeable, además de colocar una capa de arena de 5-10 cm para dar uniformidad al terreno. Encima de esta capa de arena se colocará una lámina impermeable de caucho sintético EPDM (caucho de etileno), un material idóneo para estas charcas ya que es atóxico y de gran durabilidad. A continuación se coloca una lámina de geo-textil, un material con una gran resistencia mecánica a la perforación y tracción, lo que protegerá a la capa impermeable de caucho. Tanto la capa de geo-textil como la capa de caucho no solo debe de cubrir todo el fondo, sino también los márgenes para evitar la pérdida de agua. Y por último, para conseguir un grado mayor de naturalización del fondo y de los márgenes, se añadirá una capa de arena y tierra de unos 5-10 cm para facilitar la colonización de las plantas acuáticas.



**Figura 92.** Superposición de capas para la correcta impermeabilización de la charca.

**Paso 5: Revegetación de los márgenes y vallado.** En los márgenes de la charca se deberán crear bosquetes de repoblación donde se plantarán las especies más adecuadas a estos medios caracterizados por una mayor disponibilidad hídrica. En este manual proponemos un cerramiento a base de postes de hierro angular de 40x40x4 mm y 1.70 m de altura, a 7 m de separación, empotrados y anclados en el terreno 30 cm, y guarnecido con una malla anudada de 100x8x15 cm y dos hiladas superiores de alambre, doble hilo de 13x15 con poste de 60x60x6 m de 2 m en tramos de 50 m, y con dos riostras cada 100 m. Dentro de estos bosquetes, en las zonas más próximas a la orilla se plantarán eneas y carrizos, mientras que en la zona más distante al agua es más recomendable sembrar adelfas y tarajes.

## 6.6. COSTES UNITARIOS

A continuación, Tablas 11 y 12, se indican los precios aproximados en euros según las tarifas Tragsa 2011 por unidad de los materiales y mano de obra necesarios para la construcción de una charca. El cálculo final de los costes dependerá de la ubicación del abrevadero, su tamaño, la toma de agua y las peculiaridades del terreno. Además el precio puede reducirse sustancialmente si se utilizan piedras de la zona, maquinaria y/o personal propio.

Desglose de precios para la construcción de la charca		
Concepto	Unidad	Precio unitario (€)
Peón régimen general	hora	15.7
Oficial 1ª	hora	18.38
Miniexcavadora	hora	30.5
Motoniveladora	hora	77.9
Transporte de materiales	km	1.25
Geotextil de propileno, gramajes 126-155 g/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	0.81
Lámina de EDPM lisa espesor 1.5 mm	m <sup>2</sup>	7.46
Piedras calizas en cantera	m <sup>3</sup>	12.2
Arena	m <sup>3</sup>	14.83

**Tabla 11.** Desglose de los precios unitarios (en euros según el baremo Tragsa 2011) de los materiales, maquinaria y mano de obra para la construcción de una charca.



Desglose de precios para la construcción del vallado de protección				
Concepto	Unidad	Precio unitario (€)	Rendimiento	Precio (€)
Peón especializado régimen general	h	15.92	0.095	1.51
Perfil laminado PNL 40x40x4	kg	0.90	0.685	0.62
Perfil laminado PNL 60x60x6	kg	0.96	0.216	0.21
Alambre doble hilo 13x15	m	0.16	0.16	0.32
Malla anudada galvanizada 100x8x15	m	1.12	1.0	1.12
Tensor de alambre	Ud	0.48	0.2	0.10
Hormigón en masa HM-20/sp/40	m <sup>3</sup>	112.67	0.008	0.90
Costes indirectos 2,5 %	%	3.88	2.5	0.10
Gastos Generales 4 %	%	3.98	4	0.16
<b>Total</b>	<b>m</b>			<b>5.04</b>

**Tabla 12:** Cálculo del precio por metro de cerramiento poste “L” con malla 100x8x15, de cada material en euros según el baremo Tragsa 2011.

Desglose de precios para la construcción de una charca tipo de 100 m <sup>2</sup>				
Concepto	Unidad	Precio unitario (€)	Cantidad	Subtotal
Peón régimen general	hora	15.7	150	2355
Oficial 1 <sup>a</sup>	hora	18.38	150	2757
Miniexcavadora	hora	30.5	1	30.5
Motoniveladora	hora	77.9	1	77.9
Transporte de materiales*	km	1.25	20	25
Geotextil de propileno, gramajes 126-155 g/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	0.81	100	81
Lámina de EDPM lisa espesor 1.5 mm	m <sup>2</sup>	7.46	100	746
Piedras calizas en cantera**	m <sup>3</sup>	12.2	5	61
Arena	m <sup>3</sup>	14.83	20	296.6
Valla protectora***	m	5.04	50	252
Plantón de adelfa	ud	0.6	50	30
Plantón de taraje	ud	0.75	50	37.5
Semillas de junco	gr	0.19	200	38
Plantón de carrizo	ud	1.5	50	75
Plantón de enea	ud	0.64	50	32
Fresno (130/150 cm)	ud	6	4	24
<b>Total</b>				<b>6894.5</b>

**Tabla 13:** Presupuesto para la construcción de la charca. \*Precio en base a un transporte de 20 km. \*\* Puede variar en función de la disponibilidad de piedras al remover la tierra para crear la cubeta. \*\*\*El precio de la valla protectora ha sido calculado de acuerdo a la tabla anterior, por lo que en este precio ya está incluido el material y la mano de obra. En euros según el baremo Tragsa 2011.

## 6.7. CUIDADOS Y MANTENIMIENTO

Las laborales básicas de mantenimiento de la charca consistirán en la eliminación de la vegetación en exceso, extraer los sedimentos para evitar la colmatación y retirar los sólidos en suspensión para evitar la eutrofización. También es muy recomendable eliminar las especies exóticas que aparezcan en la charca. Por último, el vallado perimetral deberá revisarse de forma periódica para arreglar los desperfectos.

## 6.8. ERRORES COMUNES Y PREGUNTAS FRECUENTES

**¿Es bueno tener vegetación acuática?** Sí, esta vegetación mejora la calidad del agua al fijar los sólidos en suspensión y retirar nutrientes, aumentando la transparencia y oxigenando el agua. Si hay un exceso de vegetación, esta debería de retirarse para evitar fenómenos de eutrofización, los cuales provocan la muerte de numerosos organismos acuáticos por un descenso brusco de los niveles de oxígeno.

**¿Debo usar productos químicos para mejorar el agua?** Como se menciona en el apartado anterior, para mejorar la transparencia de las aguas, se suelen emplear productos químicos como cloro y alguicidas. Sin embargo, los anfibios son muy vulnerables a las sustancias tóxicas, ya que su piel es muy permeable y absorbe con facilidad estas sustancias que resultan ser letales para ellos. Por ello, es totalmente desaconsejable utilizar cualquier tipo de producto químico, que además supone un coste adicional y una eficacia a corto plazo. Es más recomendable realizar un buen mantenimiento, retirando la vegetación excedente y los materiales en suspensión para evitar los procesos de eutrofización mencionados anteriormente y no tener que recurrir a los biocidas.

**¿Es un gran problema que la charca se seque en verano?** Un error muy común es restar importancia a las charcas y cursos de agua que se secan en la época estival, asumiendo que las aguas permanentes son de mayor importancia para la fauna. Sin embargo, los anfibios prefieren aguas temporales de charcas, fuentes, cunetas e incluso en arroyos con poca corriente para poner sus puestas y el posterior desarrollo de las larvas, por lo que desde el punto de vista ecológico no tiene mucha importancia. Idealmente lo más adecuado sería un sistema de charcas donde existan masas de agua permanentes y otras estacionales con distinta morfología (tamaño, profundidad, forma...) para ampliar la oferta de nichos ecológicos.

**¿Qué hacemos si detectamos malos olores?** Los malos olores suelen provenir de la putrefacción del exceso de materia orgánica de la charca, y por lo tanto para evitarlos, se debe de retirar toda la materia orgánica excedente (hojas, sedimentos, ramas, algas...).

**¿Cuál es la mejor época para realizar las actuaciones?** Lo ideal es realizar las labores de construcción y/o adaptación durante el otoño e invierno, para no incidir sobre el ciclo reproductor de los anfibios y que dichas labores estén finalizadas antes del inicio de la reproducción en primavera.

## **7. REFERENCIAS**



## 7. REFERENCIAS

### Control de cárcavas

Blanco, H., Lal, R. 2008. Principles of Soil Conservation and Management. Springer.

Castillo, C., Taguas, E.V., Mora, J., Gómez, J.A. 2013. Cost analysis of gully restoration in agricultural areas in Andalusia (Spain). Geophysical Research Abstracts Vol. 15, EGU2013-6358.

Castillo, C., Pérez, R., Gómez, J. A. 2014. A conceptual model of check dam hydraulics for gully control: efficiency, optimal spacing and relation with step-pools, Hydrol. Earth Syst. Sci., 18, 1705-1721, doi:10.5194/hess-18-1705-2014, 2014.

Gómez, J.A., Taguas E.V., Vanwalleghem T., Giráldez J.V., Sánchez F., Ayuso J.L., Lora A., Mora J. 2011. Criterios técnicos para el control de cárcavas, diseño de muros de retención, y revegetación de paisajes agrarios. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía. Depósito Legal SE-6046-2011.

Gray, D.H., Leiser, A.T. 1989. Biotechnical Slope Protection & Control. Robert E. Krieger Publishing. Florida.

Heede, B.H. 1960. Early gully-control structures in the Colorado Front Range. Station Paper nº 55. Forest Service, USDA.

Heede, B. 1976. Gully development and control: the status of our knowledge. USDA Forest Service, Research Paper RM-169, pp.43.

Ministerio de Fomento, 1999. Máximas lluvias diarias en la España Peninsular. Dirección de Carreteras del Ministerio de Fomento, Madrid. Con MAXPLUWIN descargable en <http://epsh.unizar.es/~serreta/programa.htm>

National Resources Conservation Service. 2003. Vegetative Barrier. Conservation Standard Code 601.

Secretaría de Estado de los EEUU. Servicio de Lenguas Extranjeras. 1950. Manual de Conservación de Suelos. Washington D.C.

Shultz, R.C., Isenhardt, T.M., Colletti, J.P., Simpkins, W.W., Udawatta, R.P., Schultz, P.L. 2009. Riparian and Upland Buffer Practices. En: H.E. "Gene" Garret (editor). North American Agroforestry. An Integrated Science and Practice. 2nd Ed. American Society of Agronomy. Madison. Wisconsin.

Weinhold, M. 2004. The Alkali Creek Story: 40 Years of Gully Control. En: M Furniss, C Clifton, and K Ronnenberg, (editores), 2007. Advancing the Fundamental Sciences: Proceedings of the Forest Service National Earth Sciences Conference., pp: 271-278. , San Diego, CA, 18-22 October 2004.

## Diversificación del paisaje

Boix-Fayos, C., Barberá, G.G., López-Bermúdez, F., Castillo, V.M., 2007. Effects of check-dams, reforestation and land use changes on river channel morphology: study case of the Rogativa catchment (Murcia, Spain). *Geomorphology* 91: 103-123

Consejo de Europa. 2000. Convenio Europeo del Paisaje

Costa, J.C. (Coordinador). 2003. Manual de diversificación del paisaje agrario. Consejería de Medio Ambiente (Junta de Andalucía) y Comité Andaluz de Agricultura Ecológica. 143 pp. Sevilla.

De Andrés Camacho, C., Cosano Porras, I., Pereda López, N. 2003. *Manual para la diversificación del Paisaje Agrario*. Serie Manuales de Restauración Forestal, nº 4. 2ª edición. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Sevilla.

Fernández-Ortega, M. (coord.). 2002. Metodología para la puesta en valor del paisaje agrario: Aplicación a varias zonas de la provincia de Córdoba. Ed. Analistas Económicos de Andalucía. Málaga.

Fornman, R.T.T., Gordon, M. 1986. Landscape Ecology. John Wiley & Sons.

Junta de Andalucía, Consejería de Presidencia; 2012. Estrategia Andaluza del Paisaje. BOJA nº 62, de 29 de marzo. pp 114-196. Sevilla.

Navarro, R., Martínez, A., Guzmán, R., Porras, C.J. 1998. El uso de tubos invernadero en trabajos de forestación en tierras agrarias: análisis de algunos ensayos. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía. 50 pp. Sevilla.



Oliet, J., Artero, F., 1993. Estudio del desarrollo y supervivencia en zonas áridas del repoblado protegido mediante tubos protectores. I Congreso Forestal Español. Ponencias y Comunicaciones. Pp 415-420. Lourizán, Pontevedra.

Sterling, A., 1996. Los sotos, refugio de vida silvestre. Ed. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.

### **Muros de contención**

Ayuso Muñoz, J. et al., 2010. Cimentaciones y Estructuras de Contención de Tierras. Ed. Bellisco. Madrid.

### **Mejora ambiental de fuentes y abrevaderos y construcción de charcas artificiales**

Camacho Martínez-Vara, J., Sánchez Gullón, E., Aguilar Silva, F., Gómez Jaén, A., Lozano García, A. 2011. Manual práctico de balsas agrícolas manual práctico de balsas agrícolas. *Diseño y gestión para su mejora ambiental*. Consejería de medio ambiente. Junta de Andalucía.

Moreno, L., Rodríguez, G. 2013. Guía de iniciativas locales para los anfibios. Pequeños proyectos para un gran beneficio. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Fundación Biodiversidad.

San Miguel, A. 2009. Comunidades herbáceas higrófilas mediterráneas. En VV.AA., Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. Madrid. 54 p.

Sancho, V. y Lacomba, I. 2010. Conservación y restauración de puntos de agua para la biodiversidad. Colección de Manuales Técnicos de Biodiversidad, 2. Generalitat. Conselleria de Medi Ambient, Aigua, Urbanisme i Habitatge. 168 pp.



## 8. ANEJOS



## 8. ANEJOS

### 8.1. ANEJO 1: CÁLCULO DE LOS CAUDALES DE DISEÑO

Se recomienda calcular el caudal de diseño a partir de la tormenta con un periodo de retorno de 25 años usando la fórmula del método racional (aplicable a cuencas de menos de 250 ha):

$$Q = \frac{C i A}{3.6}$$

Donde  $Q$  es el caudal de diseño ( $m^3/s$ ),  $C$  es el coeficiente de escorrentía, (ver Tabla 1.1),  $i$  es la intensidad de lluvia del evento de diseño ( $mm/h$ ) correspondiente a ese periodo de retorno y por una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca aportadora y  $A$  es el área aportadora ( $km^2$ ).

#### **A) Coeficiente de escorrentía:**

Para usar la Tabla 1.1 se debe clasificar el suelo de acuerdo a una de las cuatro categorías que establece el Servicio de Conservación de Suelos americano:

Grupo A: Suelos con alta velocidad de infiltración cuando están saturados. Son generalmente suelos profundos, bien drenados y de textura arenosa o franco-arenosa.

Grupo B: Suelos con velocidad de infiltración moderada en saturación. Son generalmente suelos de profundidad media, bien drenados y de textura franca o franco-limosa.

Grupo C: Suelos con baja velocidad de infiltración en saturación. Son generalmente suelos con una capa que limita el flujo de agua y de texturas finas.

Grupo D: Suelos muy baja velocidad de infiltración. Son generalmente suelos arcillosos de carácter expansible, suelos con una limitación a la infiltración muy cercana a la superficie o muy poco profundos y sobre un material parental muy poco permeable. Son normalmente suelos de texturas finas.

Uso de suelo	A	B	C	D
Cultivo	0.22	0.28	0.34	0.41
Pastos	0.37	0.45	0.52	0.62
Bosque	0.14	0.18	0.2	0.25
Zona industrial	0.86	0.86	0.87	0.88
Aparcamientos	0.97	0.97	0.97	0.97

**Tabla 1.1.** Coeficientes de escorrentía para el método racional en función del uso del suelo, clase hidrológica de suelo y pendiente para período de retorno de 25 años. Adaptado de Schawb (1981).

Los valores del coeficiente de escorrentía de esta tabla son orientativos. Si se cuenta con información fiable sobre las condiciones de infiltración particulares de un determinado tipo de suelo, puede utilizar un valor adecuado a esas condiciones. En general, en cultivos no se recomienda utilizar valores inferiores a los incluidos en la tabla ni superiores a 0.7, valor posible en suelos agrícolas con condiciones excepcionales de muy baja infiltración.

### **B) Intensidad de la lluvia del evento de diseño**

El método racional se basa en la definición de un evento de lluvia de diseño con una intensidad constante (correspondiente al período de retorno de diseño, en nuestro caso, 25 años) y con una duración igual al tiempo de concentración en el punto de salida de la cuenca de estudio.

Los pasos para determinar la intensidad de diseño son los siguientes:

- a) Cálculo del tiempo de concentración de la cuenca

El tiempo de concentración,  $T_c$  se puede calcular a partir de diferentes fórmulas, siendo una de las más populares la de Kirpich.

$$T_c = 0.0195 L^{0.77} S^{-0.385}$$

Donde  $T_c$  es el tiempo de concentración (minutos),  $L$  es la máxima longitud recorrida por la escorrentía (m), y  $S$  es la pendiente (en tanto por uno) media del área aportadora.

- b) Estimar el valor medio  $P$  de la máxima precipitación diaria anual y del coeficiente de variación  $C_v$  mediante las isolíneas representadas, en el punto geográfico de ubicación de la estructura. Los valores de  $P$  y  $C_v$ , se obtendrán por interpolación entre curvas en caso necesario, véase la Figura 1.1.
- c) Obtener el cuantil regional  $Y_T$  mediante la Tabla 1.2. A partir del valor  $C_v$  y para el periodo de retorno especificado ( $T$ ) se obtiene el cuantil adimensional regional usando la Tabla 1.2.
- d) Determinar el cuantil local  $X_T$ , en el punto de localización de la estructura, una vez conocidos los valores del cuantil regional  $Y_T$  y el valor medio, mediante la expresión.

$$X_T = Y_T \cdot \bar{P}$$

- e) Cálculo de la intensidad media diaria.

La intensidad media diaria equivale a:

$$i_d = \frac{X_T}{24}$$

- f) Cálculo de la intensidad media para una duración del evento igual a  $T_c$ .

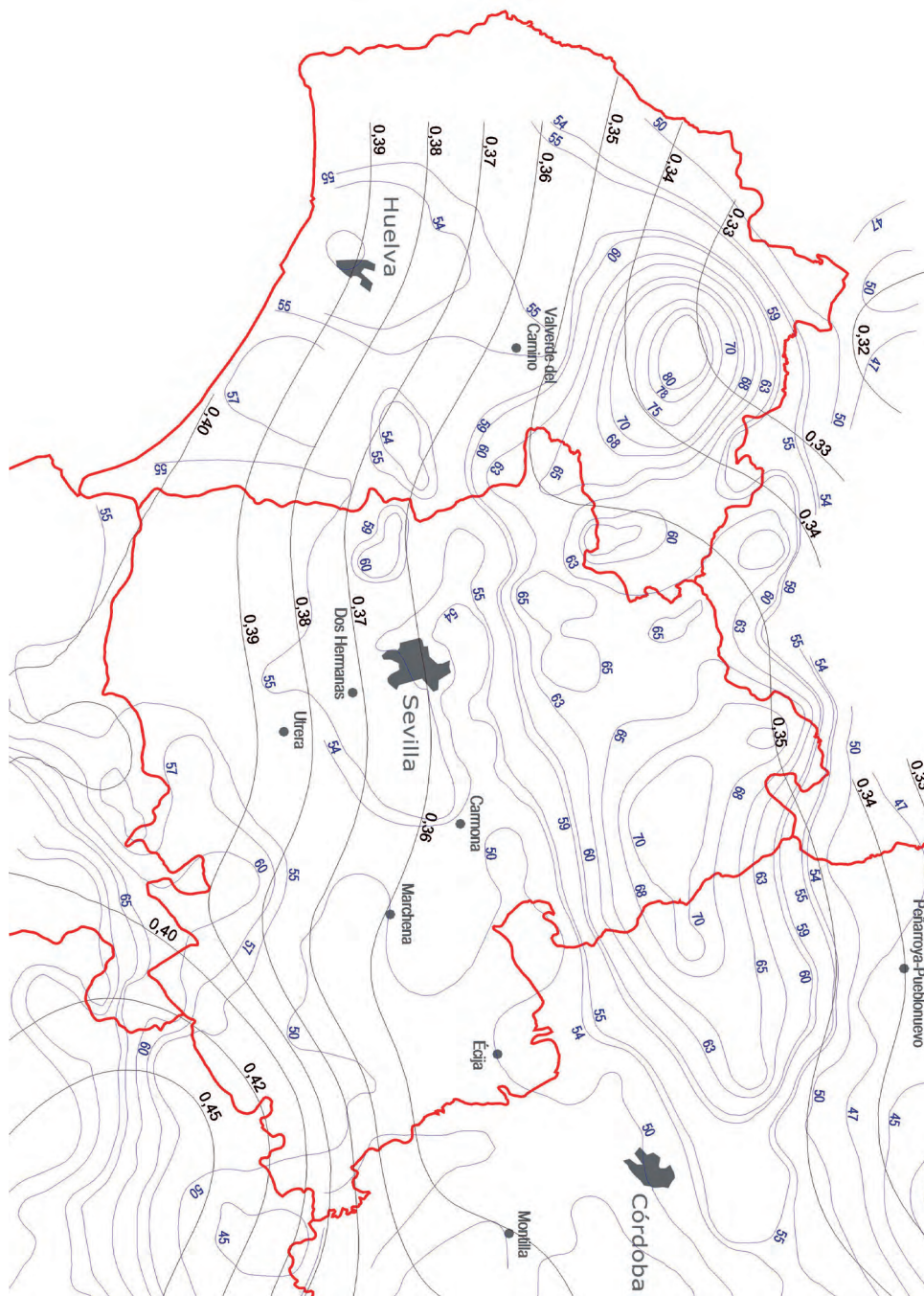
$$i_t = i_d \left( \frac{i_1}{i_d} \right) \cdot \frac{28^{0.1} - t^{0.1}}{28^{0.1} - 1}$$

Siendo  $i_t$  (mm/h) = intensidad media correspondiente al tiempo de concentración,  $i_d$  (mm/h) = intensidad media diaria de la precipitación para el periodo de retorno considerado,  $i_1/i_d$  = cociente entre la intensidad horaria y la diaria, independiente del periodo de retorno y que puede obtenerse del mapa de la Figura 1.2.

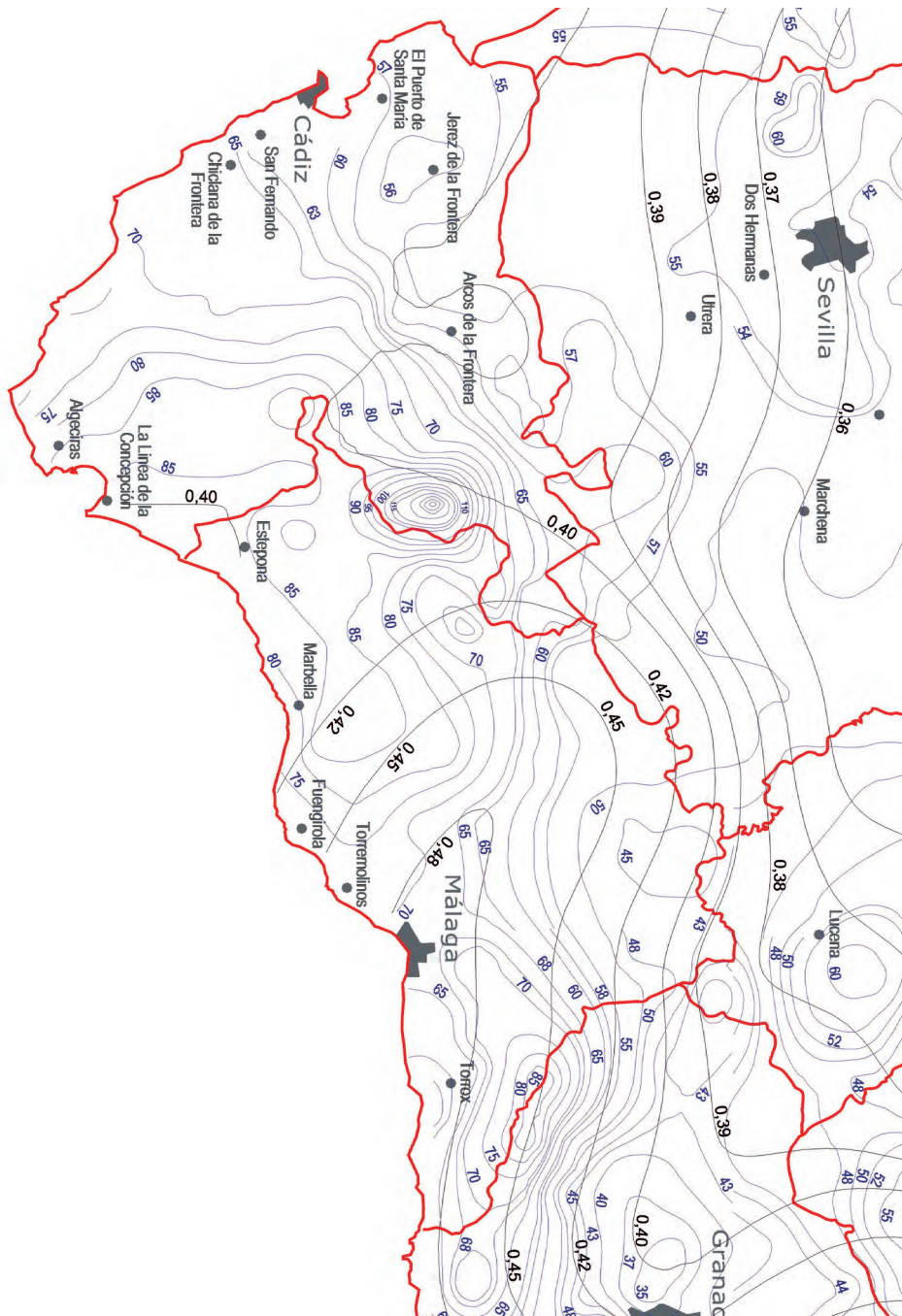


C <sub>v</sub>	PERIODO DE RETORNO EN AÑOS (T)							
	2	5	10	25	50	100	200	500
0.30	0.935	1.194	1.377	1.625	1.823	2.022	2.251	2.541
0.31	0.932	1.198	1.385	1.640	1.854	2.068	2.296	2.602
0.32	0.929	1.202	1.400	1.671	1.884	2.098	2.342	2.663
0.33	0.927	1.209	1.415	1.686	1.915	2.144	2.388	2.724
0.34	0.924	1.213	1.423	1.717	1.930	2.174	2.434	2.785
0.35	0.921	1.217	1.438	1.732	1.961	2.220	2.480	2.831
0.36	0.919	1.225	1.446	1.747	1.991	2.251	2.525	2.892
0.37	0.917	1.232	1.461	1.778	2.022	2.281	2.571	2.953
0.38	0.914	1.240	1.469	1.793	2.052	2.327	2.617	3.014
0.39	0.912	1.243	1.484	1.808	2.083	2.357	2.663	3.067
0.40	0.909	1.247	1.492	1.839	2.113	2.403	2.708	3.128
0.41	0.906	1.255	1.507	1.854	2.144	2.434	2.754	3.189
0.42	0.904	1.259	1.514	1.884	2.174	2.480	2.800	3.250
0.43	0.901	1.263	1.534	1.900	2.205	2.510	2.846	3.311
0.44	0.898	1.270	1.541	1.915	2.220	2.556	2.892	3.372
0.45	0.896	1.274	1.549	1.945	2.251	2.586	2.937	3.433
0.46	0.894	1.278	1.564	1.961	2.281	2.632	2.983	3.494
0.47	0.892	1.286	1.579	1.991	2.312	2.663	3.044	3.555
0.48	0.890	1.289	1.595	2.007	2.342	2.708	3.098	3.616
0.49	0.887	1.293	1.603	2.022	2.373	2.739	3.128	3.677
0.50	0.885	1.297	1.610	2.052	2.403	2.785	3.189	3.738
0.51	0.883	1.301	1.625	2.068	2.434	2.815	3.220	3.799
0.52	0.881	1.308	1.640	2.098	2.464	2.861	3.281	3.860

**Tabla 1.2.** Cuantiles  $Y_T$ , de la Ley SQRT-ET max, (Fuente: Máximas precipitaciones diarias de la España Peninsular, Ministerio de Fomento, 1999).

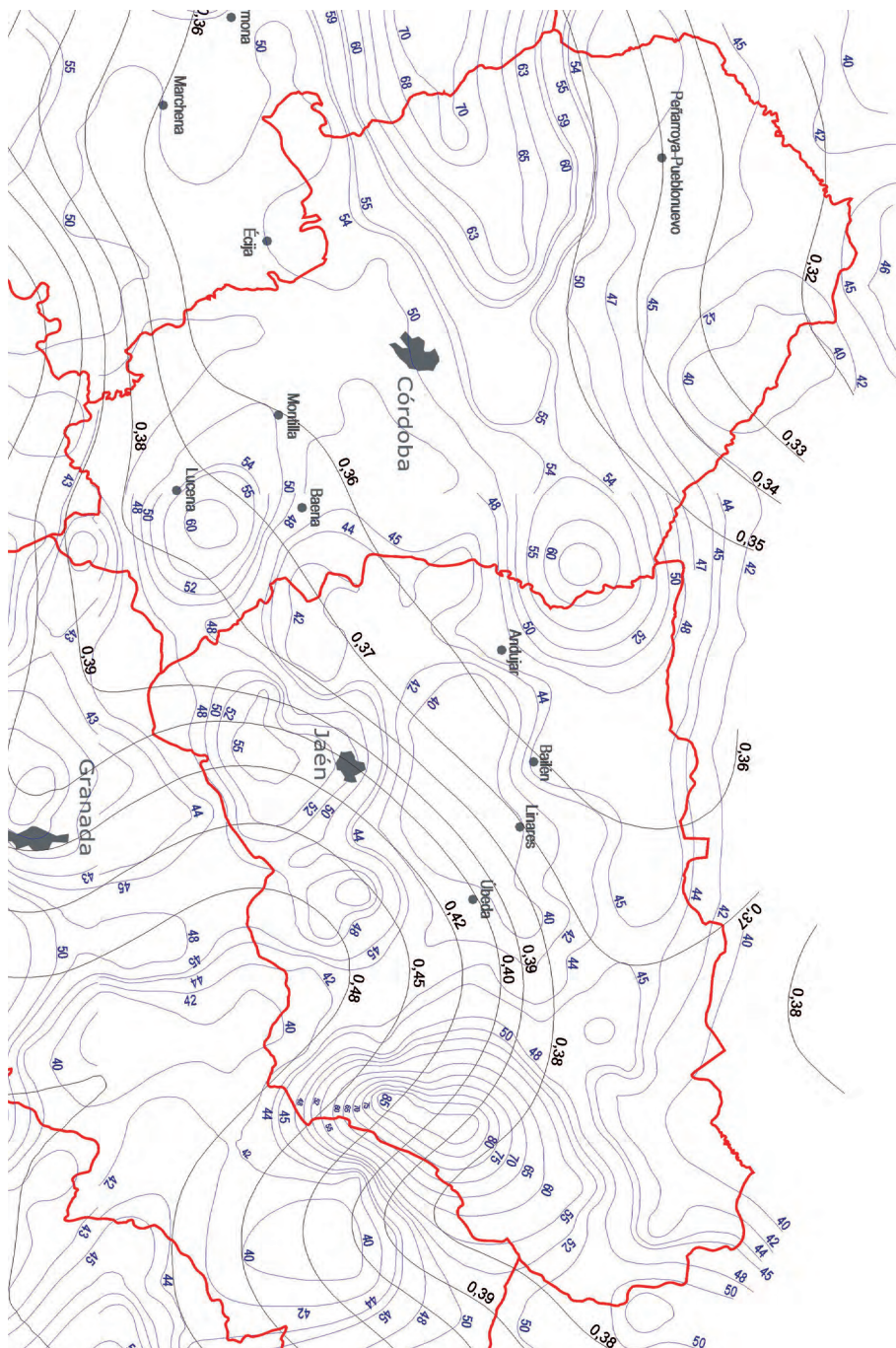


**Figura 1.1a.** Mapa de isótopas de los valores medios de los máximos anuales de la precipitación diaria, P y de su coeficiente de variación, Cv. (Provincias de Huelva y Sevilla, Ministerio de Fomento, 1999).



**Figura 1.1b.** Mapa de isótopas de los valores medios de los máximos anuales de la precipitación diaria, P y de su coeficiente de variación,  $C_v$ . (Provincias de Cádiz y Málaga, Ministerio de Fomento, 1999).





**Figura 1.1c.** Mapa de isóneas de los valores medios de los máximos anuales de la precipitación diaria,  $P$  y de su coeficiente de variación,  $C_v$ . (Provincias de Córdoba y Jaén, Ministerio de Fomento, 1999).

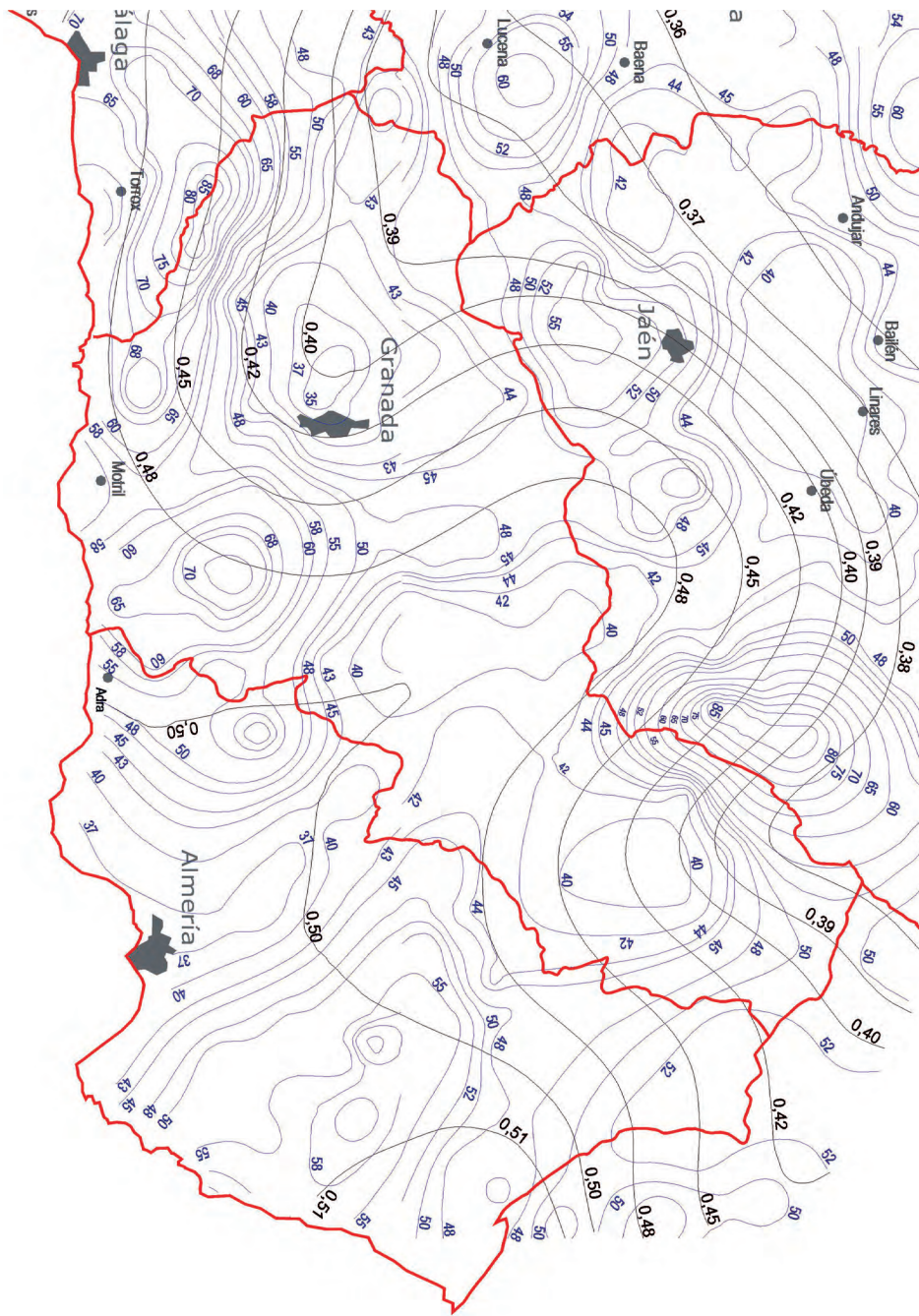


Figura 1.1d. Mapa de isolíneas de los valores medios de los máximos anuales de la precipitación diaria, P y de su coeficiente de variación,  $C_v$ . (Provincias de Granada y Almería, Ministerio de Fomento, 1999).

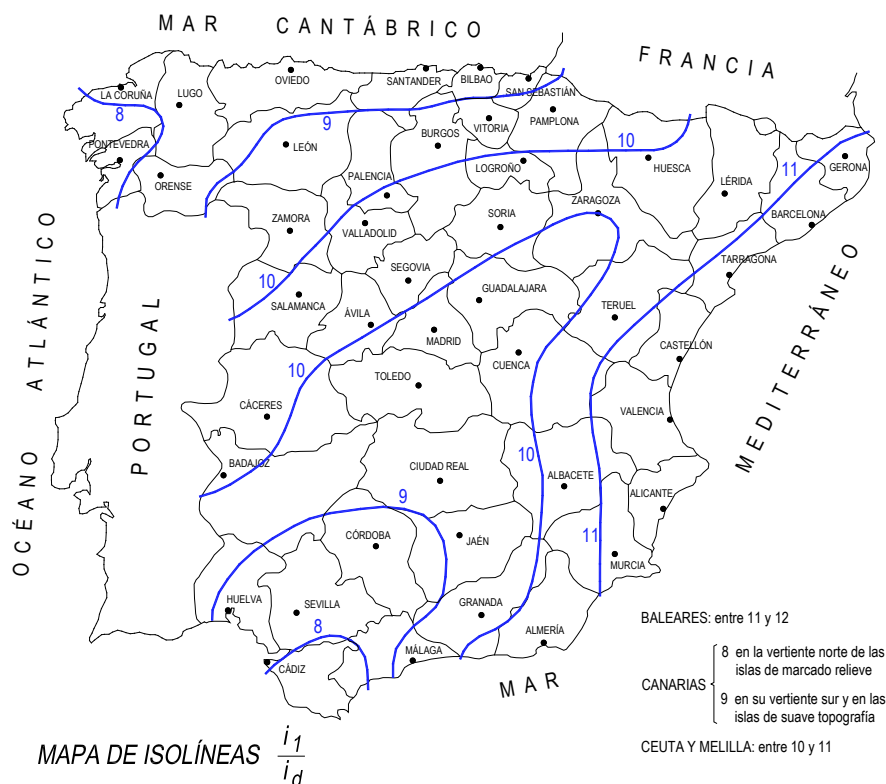


Figura 1.2. Mapa de isolíneas adaptada por José A. Cobacho a partir de Ministerio de Fomento (1999).

### C) Área de drenaje

La determinación del área contributiva puede realizarse siguiendo la metodología establecida en el Anejo 2 mediante algún Sistema de Información Geográfica.

## **8.2. ANEJO 2. DETERMINACIÓN DE LOS ATRIBUTOS GEOMORFOLÓGICOS DE UNA CUENCA VERTIENTE PARA EL CÁLCULO DEL HIDROGRAMAS DE DISEÑO**

### **INTRODUCCIÓN**

En este apartado se explica y desarrolla un ejercicio práctico para la obtención de atributos topográficos imprescindibles en los cálculos hidrológicos para el dimensionamiento de estructuras de control de la erosión como el área de desagüe a un punto, la pendiente de un cauce y finalmente, el tiempo de concentración. Los datos y programas utilizados son el Modelo Digital del Terreno de Andalucía disponibles en la Red de Información Ambiental del Andalucía (REDIAM, 2019) o el centro nacional de descargas (Instituto Geográfico Nacional, 2019), ARCGIS 9 (ESRI, 2006) ó QGIS (QGIS, 2019) y ACCESS 2003 (Microsoft Office, 2003), aunque se detallan las etapas y procedimientos de manera que se aborden con cualquier tipo de software libre.

Se ha incluido un apéndice al final con un procedimiento abreviado que permite cargar directamente en ARCGIS modelo de elevación más reciente y de mejor resolución 5 m obtenido a partir de LIDAR y disponible en la web del Instituto Geográfico Nacional.

### **1. ETAPAS DE TRABAJO**

#### **1.1. Procesamiento rápido de información topográfica y elaboración del modelo de elevación del terreno.**

La determinación del área de desagüe y otros atributos topográficos como la pendiente y la orientación requieren la disponibilidad de los datos primarios de localización y altitud tales como las coordenadas geográficas o las coordenadas UTM y la cota o bien, el propio trazado de curvas de nivel. El Modelo Digital del Terreno de Andalucía (REDIAM, 2019 Figura 2.1) proporciona las coordenadas UTM (X,Y,Z) de los puntos en una malla de distinto tamaño, por ejemplo de 10 x 10 m como en la Figura 2.1, los cuales pueden ser integrados en un sistema de información geográficas como por ejemplo ARCGIS 9 (ESRI, 2006) o QGIS (QGIS, 2019) sin necesidad de digitalizar curvas nivel u otros elementos como redes de triángulos.

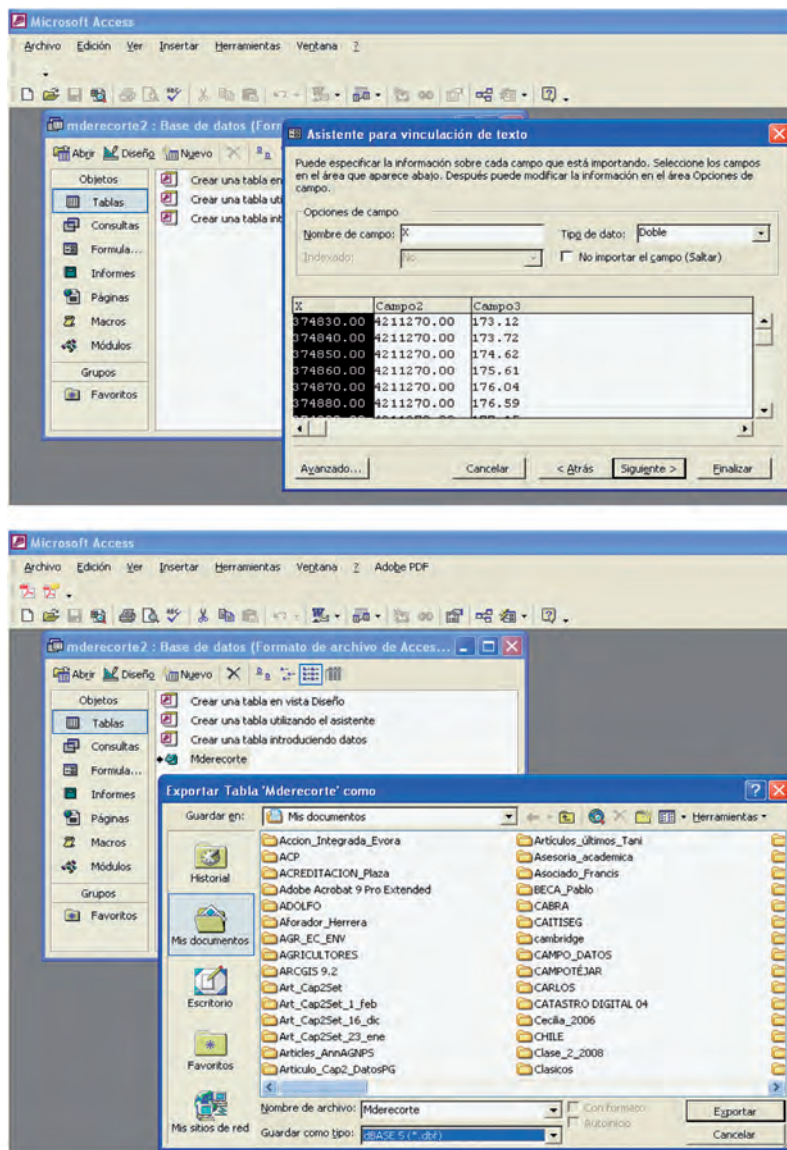




**Figura 2.1.** Ventana de la página de REDIAM desde la que acceder a las ortofotos y al Modelo Digital del Terreno de Andalucía.

El Modelo Digital del Terreno de Andalucía (MDT, REDIAM, 2019) permite realizar en su interfaz diversas aplicaciones como la obtención de perfiles longitudinales, pendientes, orientaciones e interpolación de curvas de nivel. En el ejemplo propuesto, el primer paso consiste en marcar la ventana correspondiente a la zona de estudio para exportar el fichero de texto (ASCII, extensión .ASC) con la información topográfica en coordenadas UTM (X,Y,Z). A partir de ese servicio se ha procedido a seleccionar un área del E de la provincia de Córdoba y se ha exportado como fichero C:\Manual\mderecorte.asc.

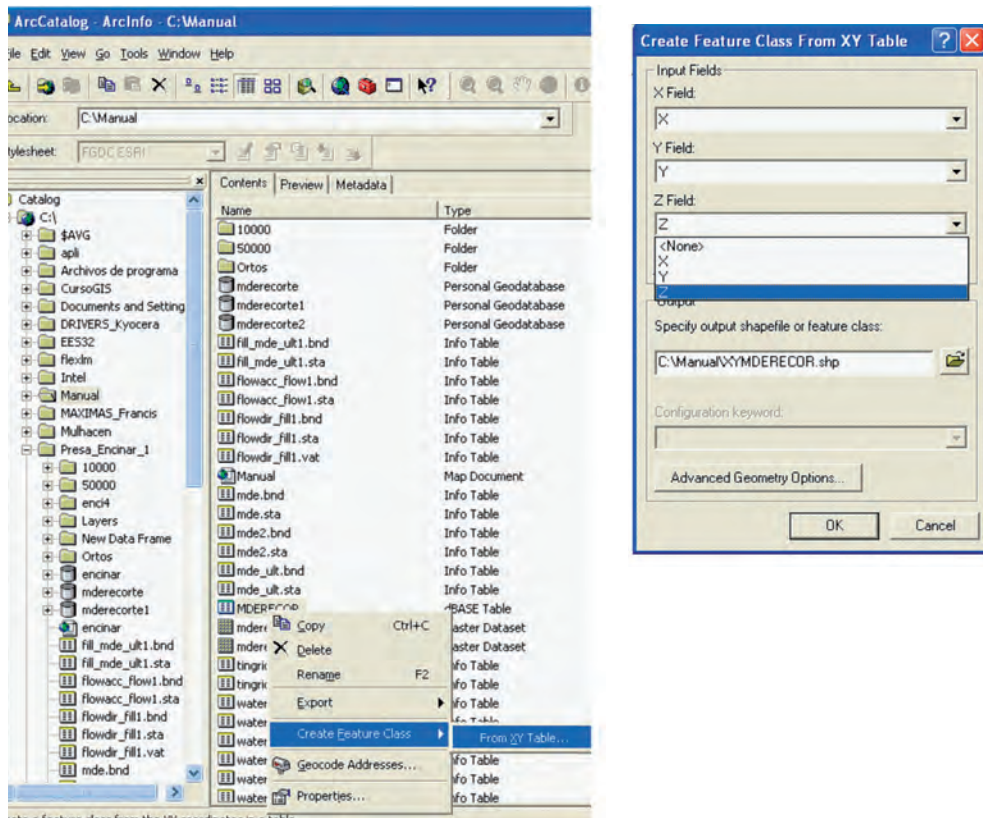
A continuación, es necesario transformar este tipo de fichero de texto en uno de tipo “base de datos” (.dbf). Esto puede realizarse con el programa de Microsoft Office, ACCESS, o bien con el software libre de Open Office, BASE. Para ello, se identifican las columnas con los campos X, Y y Z, respectivamente y se exportan tal y como se muestra en la Figura 2.2.



**Figura 2.2.** Identificación de la primera columna con el Campo "X" (arriba). Operación de exportar el fichero con extensión de base de datos .dbf (abajo).

A continuación, es conveniente crear un directorio de trabajo donde incluir toda la información y ficheros de trabajo con el sistema de información geográfica. En este caso, se ha creado C:\Manual y a él se dirigido el fichero Mderecorte.dbf.

Finalmente, se ha de ejecutar ARC Catalog (Figura. 2.3) y crear desde la tabla "Mderecorte.dbf." un fichero de puntos de extensión .shp. Para ello, se pincha con el botón derecho y se selecciona en el menú contextual la orden *CREATE FEATURE CLASS> FROM XY TABLE* (Fig. 3, izquierda), relacionándose a continuación los campo X Field, Y Field, Z Field, con las columnas X, Y, Z del fichero .dbf (Fig. 3, derecha).



**Figura 2.3.** Incorporación del fichero de base de datos a fichero de formas (puntos) de ARCGIS. (Izquierda) selección de la orden correspondiente; (derecha) identificación de los campos geográficos.

A continuación, se ejecuta ARCMAP y se añade la capa de puntos creada (Figura 2.4). A través de la aplicación del conjunto de herramientas *Spatial Analyst* puede convertirse el fichero de puntos a un formato de matriz continua de tipo "grid", donde cada celda contiene el valor de la cota. El tamaño de la malla coincide con el paso de separación de los puntos (10 m, Fig. 4). Para ello se han de seleccionar las pestañas *Convert> Features to Raster* del menú de *Spatial Analyst*.

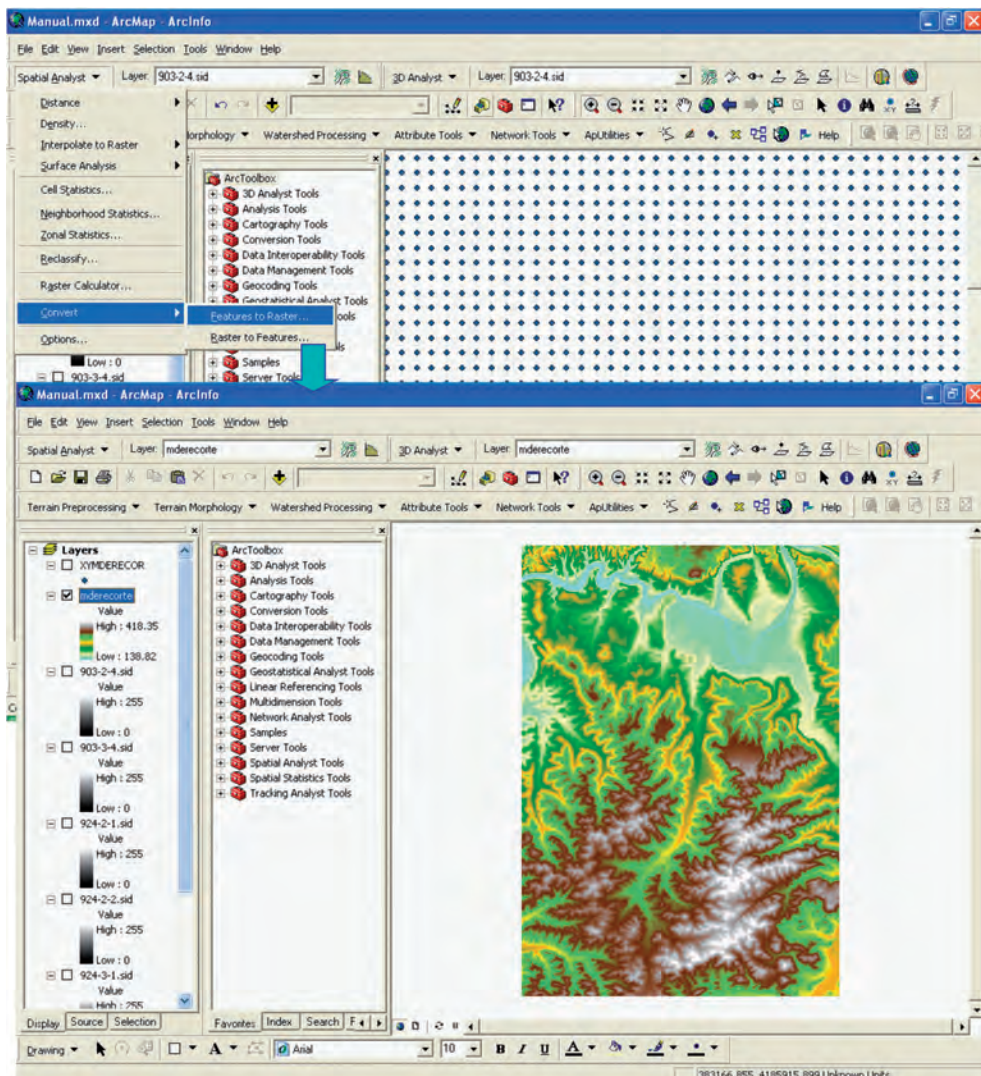
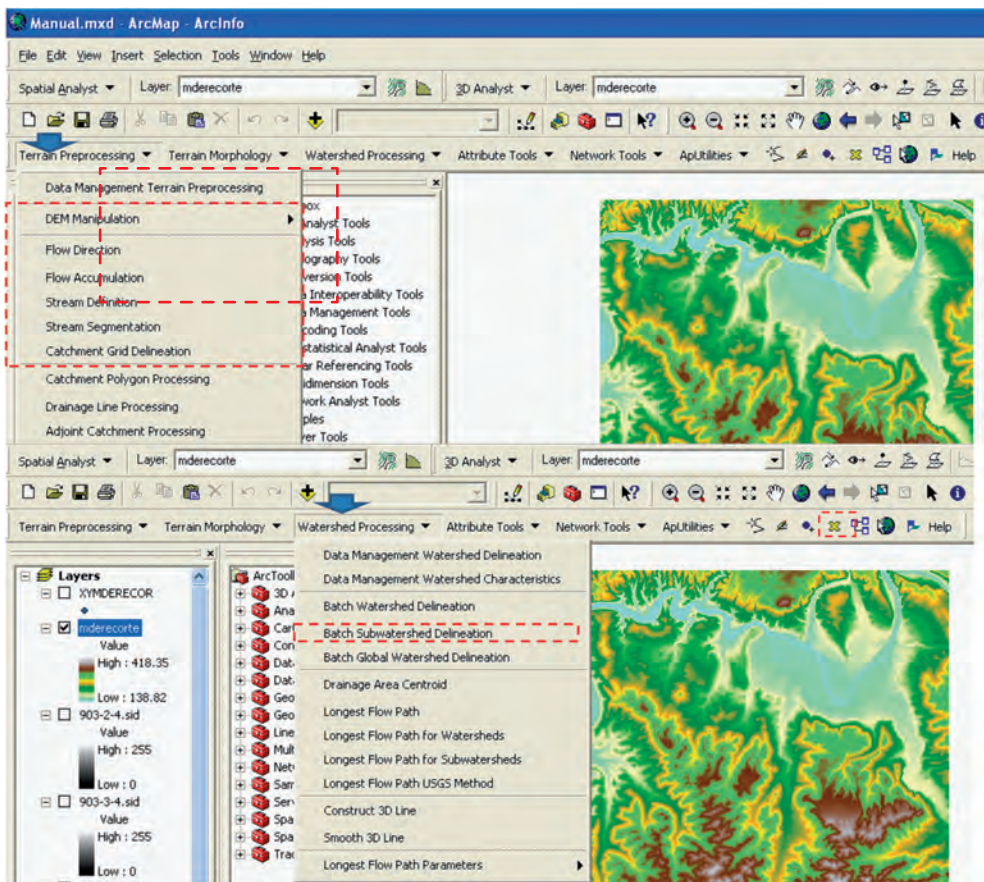


Figura 2.4. Ventana que muestra la conversión del fichero de puntos con la información de cota a la matriz del modelo de elevación del terreno.



## 1.2. Delimitación del área de desagüe en un punto a partir de Arc Hydro

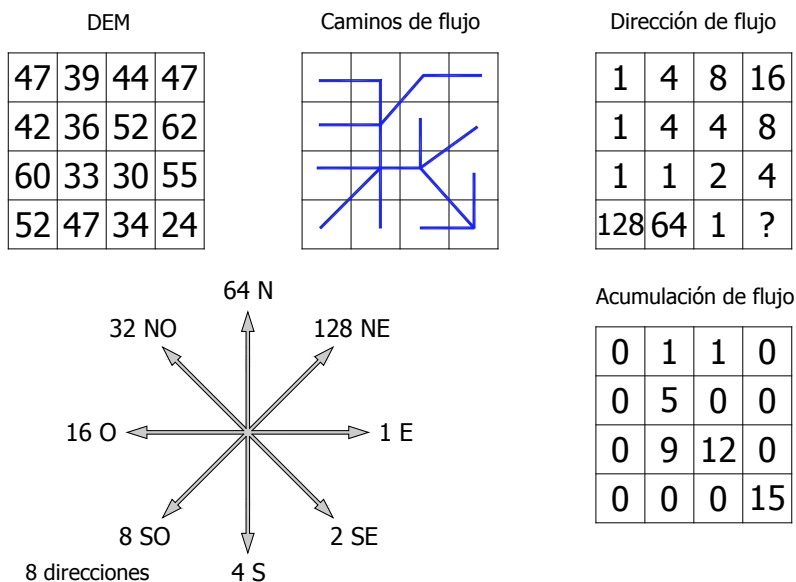
A partir del modelo de elevación, se van a aplicar la herramienta *Arc Hydro* para delimitar el área de desagüe que envía sus aguas a un punto, que podríamos identificar con la localización de una actuación (dique, una fajina, un colector, etc). En primer lugar, habría que activar la aplicación, haciendo click con el botón derecho sobre la barra de herramientas y seleccionando “*Arc Hydro Tools*” en el menú contextual que se despliega. En la Figura 2.5, aparecen marcadas todas las pestañas que intervienen en las operaciones de delimitación de la cuenca.



**Figura 2.5.** Ventanas con las pestañas desplegadas y órdenes marcadas para la delimitación de una cuenca con ArcHydro.

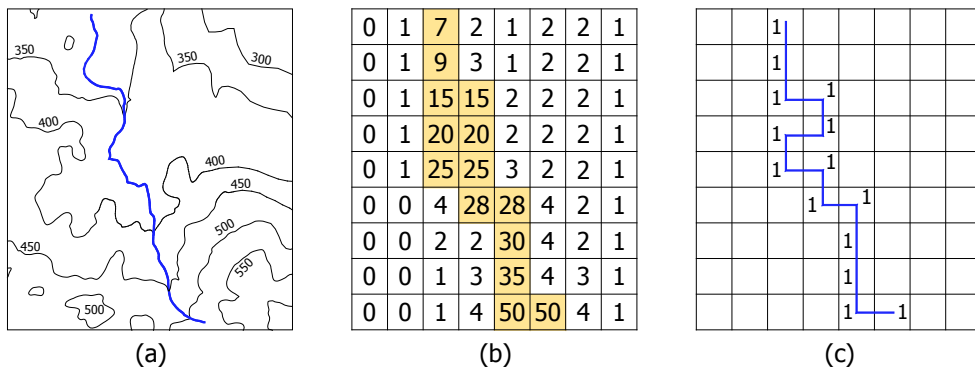
A continuación y siguiendo el orden de numeración se citan los pasos necesarios:

1. *Corrección de sumideros – Fill links (MENÚ TERRAIN PREPROCESSING)*. Los sumideros o celdas aisladas de menor altura que sus circundantes generan figuras del terreno “artificiales” donde la circulación de flujo es *indeterminada*. Si el agua llega como consecuencia de la pendiente a un sumidero no tendrá como desaguar ladera abajo. Arc Hydro corrige de forma iterativa este tipo de problema asignándole la altura menor de las celdas que rodean a la celda-sumidero o hueco. El fichero generado por esta orden tiene como nombre por defecto *Fil* y contiene el nuevo modelo de elevación sin sumideros aislados con los campos *Value* y *Count*.
2. *Obtención de las direcciones de flujo –Flow Direction (MENÚ TERRAIN PREPROCESSING)*. En este caso, se calcula primero celda a celda, una matriz intermedia con el valor y la dirección de la máxima pendiente. Para indicar la dirección de vertido se asigna un código (1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 y 128) que indica la dirección de vertido desde una celda tal y como muestra la Figura 6. El resultado es una matriz *Fdr* donde se identifican *Value* como los valores de dirección y *Count* como el número de celdillas asociadas a cada dirección.



**Figura 2.6.** Obtención de la matriz de direcciones de flujo y de superficies acumuladas. A partir del MDT, se crea un matriz de pendientes donde se delinean los caminos de flujo y finalmente se le asigna a cada celda una dirección según el código de direcciones de la figura. Una vez conocidas las direcciones se contabilizan el número de celdas que vierten a una dada y se obtiene la matriz de superficies acumuladas.

3. *Obtención de la matriz de superficies acumuladas – Flow Accumulation (MENÚ TERRAIN PREPROCESSING)*. La matriz de superficies acumuladas computa el número de celdas aguas arriba que vierten a una dada. En la Figura 2.6, puede observarse una pequeña muestra en la que destacan las celdas con valor 0 (sin celdas agua arriba) que formarían parte de la divisoria. Arc Hydro nombra por defecto a esta matriz *Fac* donde *Value* sería el número de celdas que vierten aguas arriba a una dada y *Count*, el número de celdas con el mismo intervalo de *Value*.
4. *Definición de la matriz de canales –Stream Definition (MENÚ TERRAIN PREPROCESSING)*. A continuación, es necesario asignar sobre la matriz de superficies acumuladas un umbral de celdas que indica el número crítico de celdas donde se concentra el agua y el volumen es suficiente para la formación de un cauce o curso de agua. El criterio normal para definir este límite se establece tanteando distintos valores hasta encontrar aquél que forma un canal de longitud aproximada a la que aparece en el mapa topográfico o en la fotografía aérea. El valor por defecto es aproximadamente un 10% del número máximo de celdas acumuladas. El resultado será la matriz *Str* donde el valor 1 corresponde a las celdas que forman parte del canal y *NoData* al resto. También la Figura 2.7, puede ilustrar el problema para un ejemplo donde el umbral es 7 celdas.

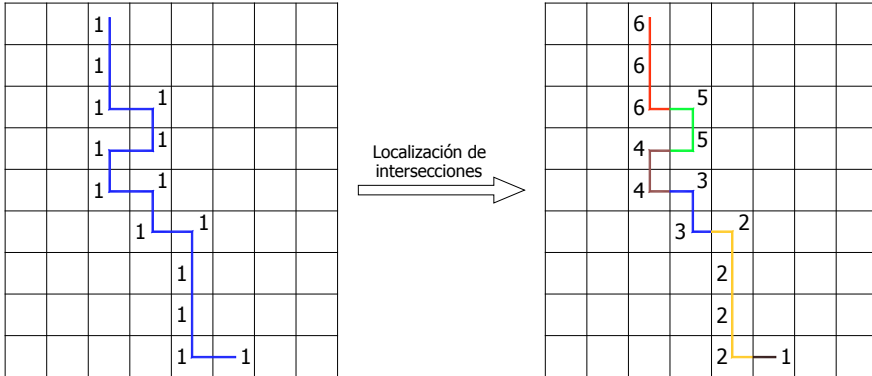


**Figura 2.7.** a) Mapa topográfico mostrando el río b) Matriz de superficies acumuladas señalando las celdas a las que vierten más de 7, y c) representación de la red de desagüe (Str) donde los blancos representan NoData (zonas que no forman parte de la red de canales)

5. *Asignación de identificadores a la red de canales - Stream Segmentation (MENÚ TERRAIN PREPROCESSING)*. Una matriz de segmentos de canales con una única identificación es creada. Así, las celdas de un segmento particular tienen el mismo código “grid” específico del segmento (Figura 2.8). En el proceso se localizan las intersecciones de dos o más canales y se va nombrando en

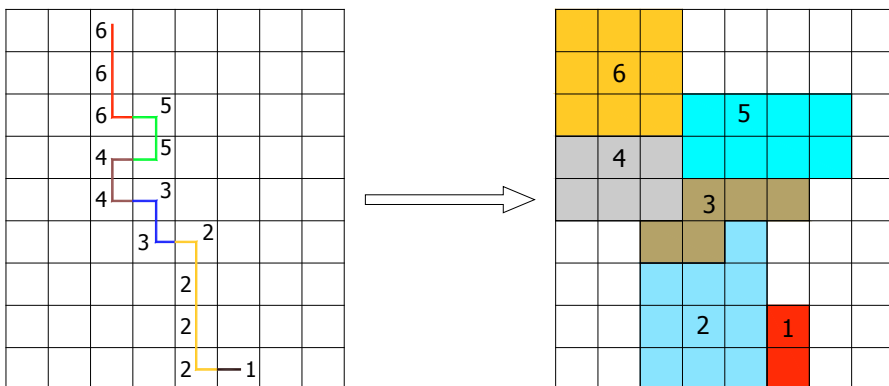


dirección aguas arriba el código numérico correspondiente. El resultado es la matriz *Lnk* donde *Value* representa la numeración del canal y *Count* el número de celdas asociadas al mismo. En esta matriz lo que no es red se representa como *NoData*.



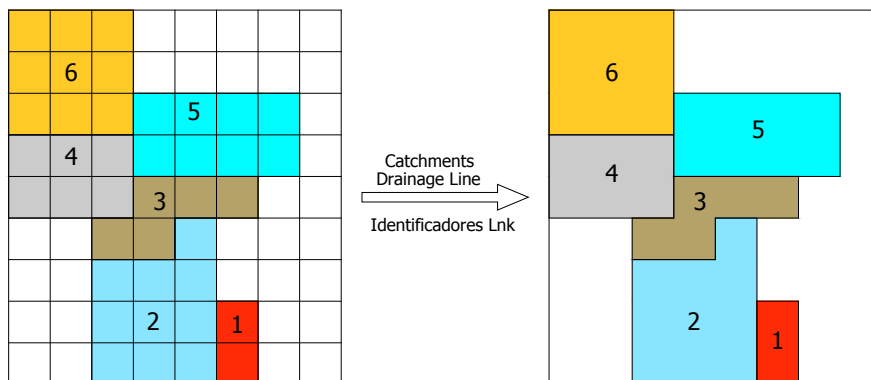
**Figura 2.8.** A la derecha aparece la matriz con los identificadores de canal (*Lnk*) obtenida a partir de la matriz de canales (*Str*).

6. *Delimitación del área de vertido de cada canal – Catchment Grid Delineation (MENÚ TERRAIN PREPROCESSING)*. Aunque este paso es optativo, permite delimitar las celdas que envían sus aguas a la red de canales establecidas para un umbral determinado (Figura 2.9).



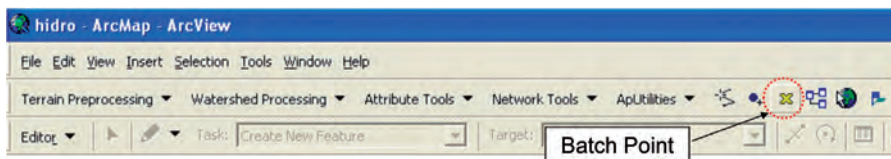
**Figura 2.9.** Elaboración de la matriz de cuencas vertientes a los canales (derecha, *Cat*) a partir de la matriz de canales (*Lnk*)

7. Paso de las matrices de canales/cuencas a ficheros de líneas/polígonos -Drainage Line Processing/ Catchment Polygon Processing (MENÚ TERRAIN PREPROCESSING). Los canales se pueden convertir en polilíneas (de naturaleza vectorial), de manera que cada línea adquiere el identificador de la matriz de identificadores (*Lnk*) y atributos tales como la longitud. En el caso de las cuencas, se obtiene un fichero de polígono que también toma el identificador derivado de la matriz *Lnk* (Figura 2.10).

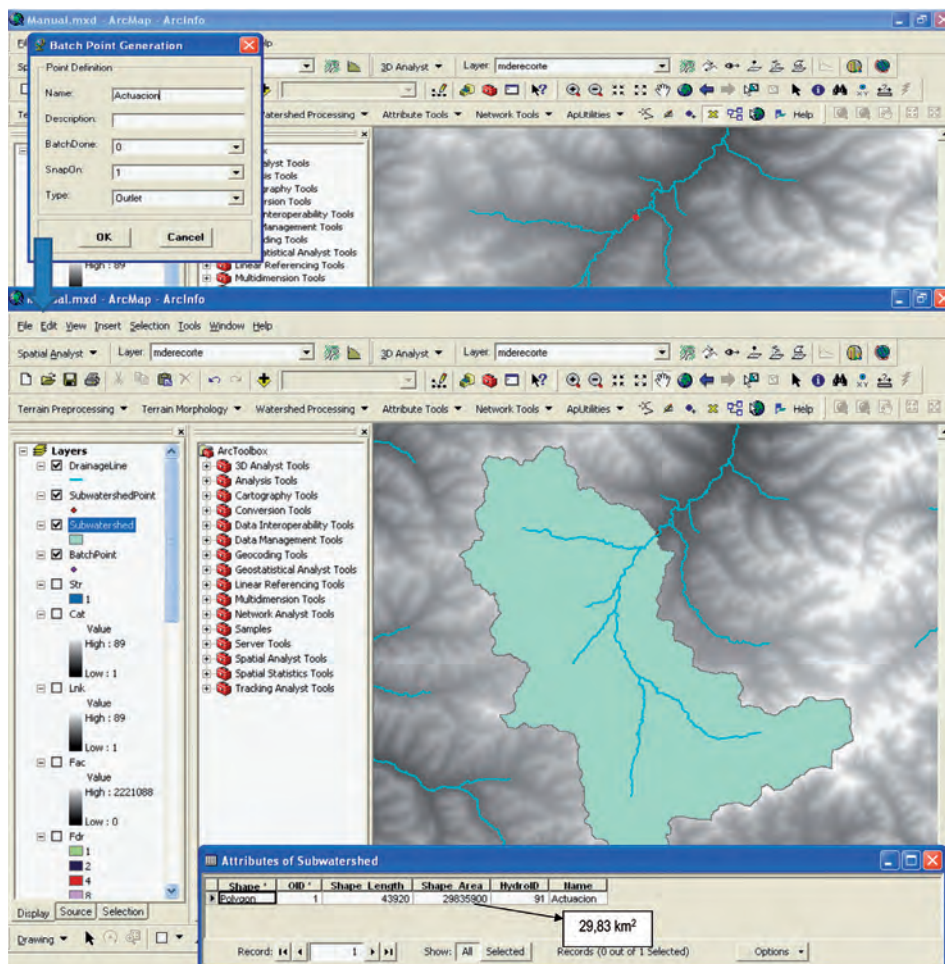


**Figura 2.10.** Paso de la matriz de celdas (*Cat*) que vierten a un canal al fichero vectorial con los polígonos de cuencas (*Catchment*).

8. *Identificación del punto de desagüe o actuación - Batch Point*. Es necesario identificar el punto de desagüe donde vierte la subcuenca de estudio. En primer lugar se selecciona el botón que aparece en la Figura 2.11 y se marca el punto de interés teniendo en cuenta la situación de la matriz de canales. A continuación, se han de completar los campos para identificar en su tabla de atributos las características de este punto (Figura 2.12). El resultado es la capa *Batch Point* que contiene el punto de desagüe.



**Figura 2.11.** Creación del fichero de puntos que va a indicar el punto de salida de la subcuenca de estudio.

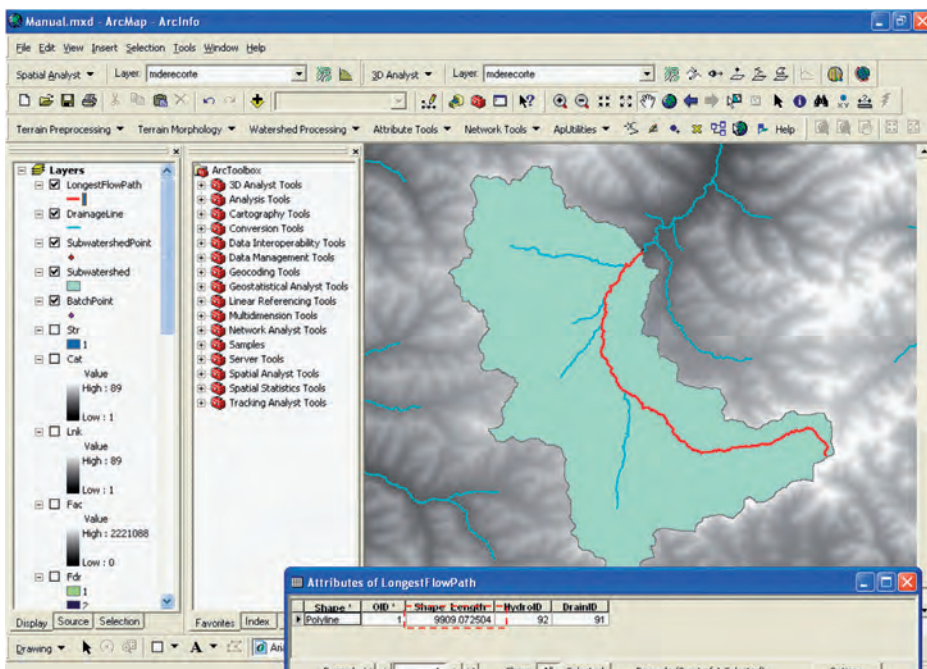


**Figura 2.12.** Ventana donde se marca el punto de desagüe o actuación y se incluyen los datos descriptivos necesarios (arriba). Ventana donde aparece el fichero que representa la subcuenca que vierte al punto de desagüe (Subwatershed), mostrando la tabla de atributos (entre ellos, el área de desagüe, abajo).

9. *Generación de la subcuenca de estudio- Batch Subwatershed Delineation (MENÚ WATERSHED PROCESSING).* Finalmente, se incluyen las capas necesarias o inputs *Fdr*, *Str* y *Batch Point* en la ventana correspondiente a esta pestaña y se genera la subcuenca correspondiente asignándole el nombre por defecto *Subwatershed*. En la tabla de atributos puede identificarse el área de desagüe en metros cuadrados que son las unidades de entrada de las coordenadas UTM (Fig. 2.12).

### 1.3. Cálculo de otras características como la longitud hidrológicamente más alejada, la pendiente y el centro de gravedad de la cuenca.

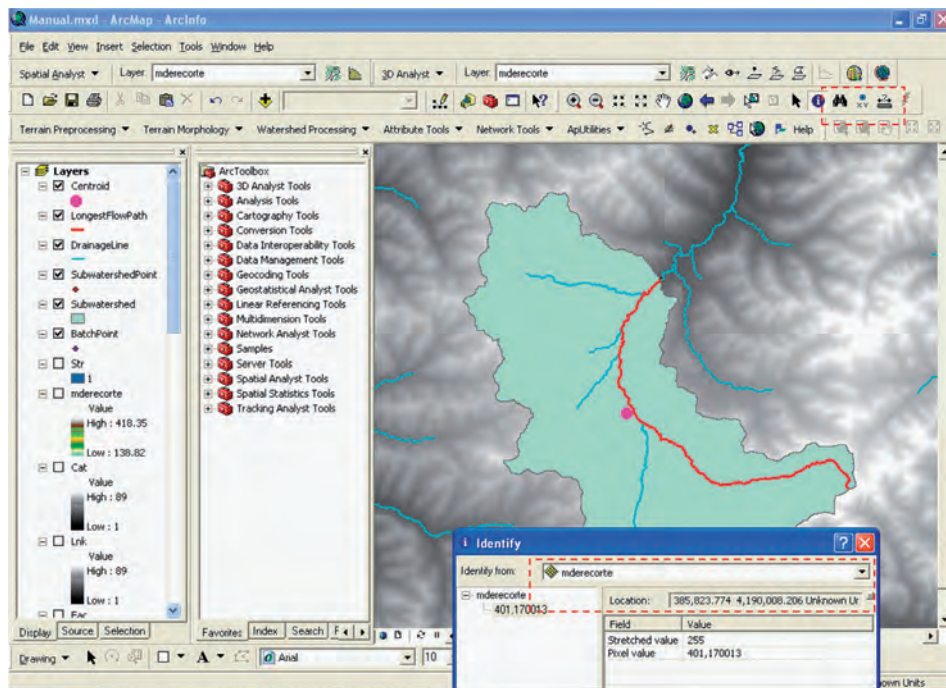
En el cálculo de la *longitud hidrológicamente más alejada* que interviene en los cálculos del tiempo de concentración de una cuenca, se ha de seleccionar la orden *LongestFlowPath* del menú *WATERSHED PROCESSING*. En la Figura 2.13, puede observarse como el campo longitud de la tabla de atributos correspondiente al tema creado, aparece calculada en metros (9909,1 m).



**Figura 2.13.** Ventana donde se muestra la delimitación de la longitud hidrológicamente más alejada así como su tabla de atributos.

El *centro de gravedad* de un polígono puede resultar útil en cálculos hidrometeorológicos; la pestaña para su cálculo aparece en el menú *WATERSHED PROCESSING* con el nombre de *Centroid*. En la Figura 2.13, puede localizarse su situación.

Finalmente, para el cálculo de valores de pendiente, el icono de *información* (i, Fig. 14) permite identificar -si se selecciona como tema de consulta el modelo de elevación (mderecorte)-, los valores de cota en cualquier lugar, mientras que la *regla* (Figura 2.14) proporciona los valores de longitud siempre y cuando se hayan especificado correctamente las unidades planimétricas de trabajo.



**Figura 2.14.** Ventana donde se muestra el centro de gravedad de la cuenca (*Centroid*) y la consulta de los valores de cota que intervienen en la evaluación de los valores de pendiente. También aparecen marcadas en los menús de la barra superior las herramientas *información* y la *regla para medir distancias*.

## 2. FUENTE DE MODELO DE ELEVACIÓN DEL TERRENO

El objetivo de este apartado es facilitar la confección del modelo de elevación del terreno para la determinación del área de desagüe usando información actualizada y puesta a disposición de forma gratuita en la web del Ministerio de Fomento. Por otro lado se muestra una herramienta para el tratamiento de ficheros ASCII en Excel aprovechando la mayor capacidad para el manejo de registros de la versión 2007. El resto de apartados para procesar el modelo de elevación así como la determinación de sus atributos utilizando ARCGIS en su versión 9 o 10 son iguales a los descritos en el apartado 2.

En la Figura 2.15, puede observarse el acceso al Centro de Descargas (Ministerio de Fomento, 2019) que es otro repositorio al que podríamos recurrir, en especial si trabajamos fuera de Andalucía. En este repositorio hay que darse de alta como usuario. A la información con la se va a trabajar se accede desde la opción “Descarga gratuita u obtención de información geográfica digital para uso no comercial, con aceptación de licencia de uso”.





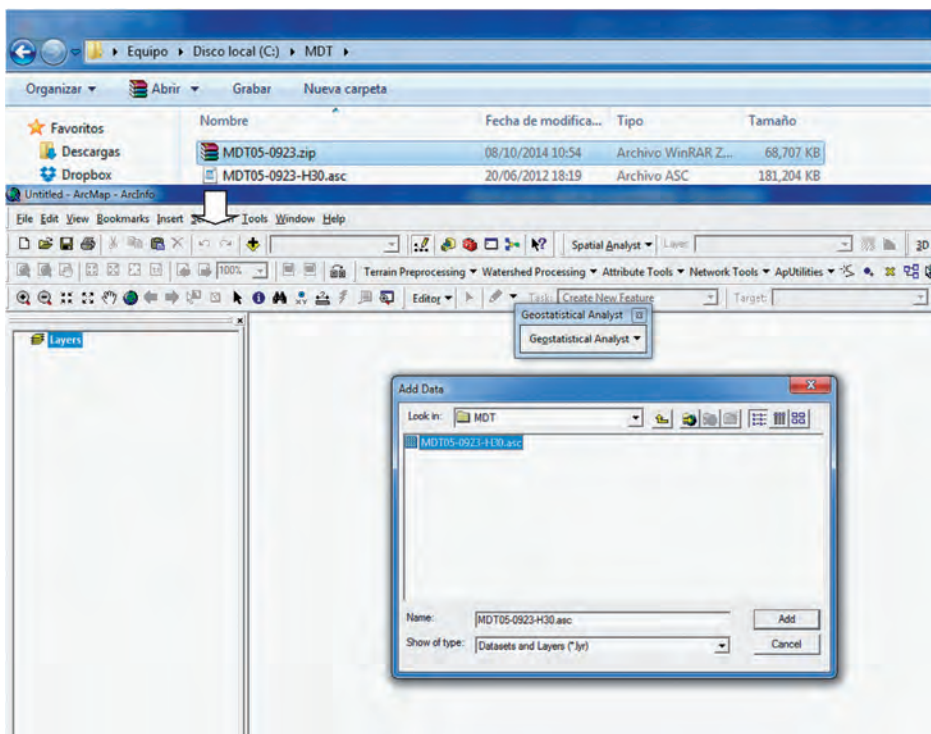
Figura 2.15. Ventana de Presentación del Centro Nacional de Descargas.

## 1.1. Descarga del modelo de elevación para su procesamiento

En la Figura 2.16 puede observarse que una vez registrado y justificado su uso no comercial, se tiene acceso a distintos recursos incluido el modelo de elevación de 5 m. En el ejemplo propuesto se ha procedido a buscar por hojas del mapa 1:50.000, por ejemplo la hoja 923 en la que se localiza la ciudad de Córdoba. En el ejemplo propuesto, se ha creado una carpeta para guardar los ficheros descargados C:\MDT (Figura 2.17). A continuación, se ha cargado en ARCGIS directamente el fichero ASCII.



Figura 2.16. Ventana de acceso a los recursos cartográficos cedidos por el PNOA.



**Figura 2.17.** Carga directa en ARCGIS del fichero ASCII del modelo de elevación correspondiente a la hoja 923 cedido por el PNOA.

Como puede observarse en la Figura 2.18, todavía el modelo de elevación no puede visualizarse. Para ello hay que exportar el fichero a formato GRID. Esto se consigue pinchando con el botón derecho del ratón sobre el nombre se despliega un menú contextual donde hay que seleccionar las opciones *Data>Export Data*. En la Figura 2.18 se muestra el menú indicando el tipo de fichero, la ruta y el nuevo nombre “mdt923”. El resultado puede observarse en la Figura 2.19 donde se despliega el modelo de elevación.

Finalmente en la Figura 2.20, se muestra una herramienta para trabajar con ficheros de EXCEL, con el formato X,Y,Z. Se trata de *Add X,Y* desde el menú *Tools* de Arc Map. Abriendo el fichero y señalando qué coordenadas corresponden a la componente X y qué coordenadas corresponden a la Y permiten generar tema de puntos en sobre las localizaciones correspondientes. El aumento del número de registros en Excel 2007 permite trabajar con ficheros con un gran volumen de datos sin necesidad de utilizar ACCESS.



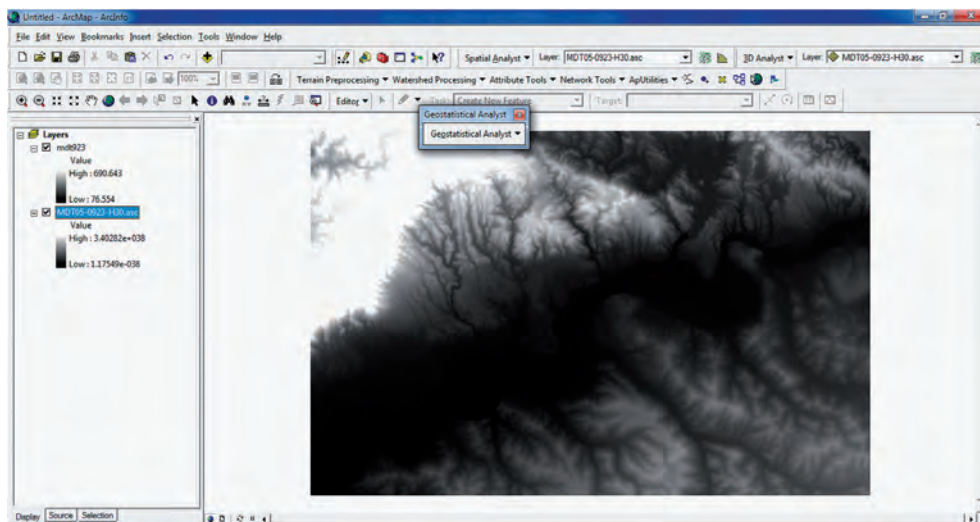


Figura 2.18. Ventana donde se despliega el modelo de elevación obtenido “mdt923”.

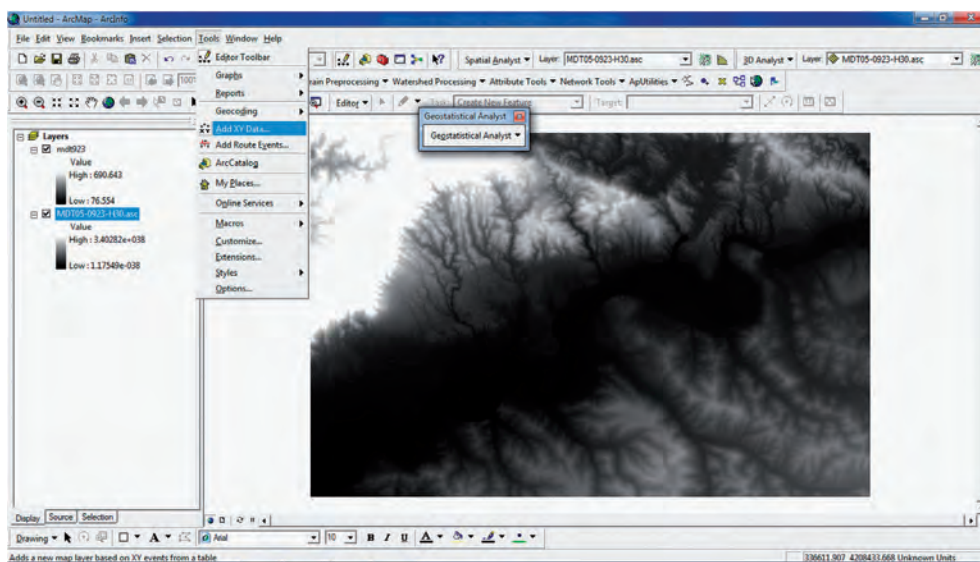


Figura 2.19. Ventana donde se despliega la herramienta para generar ficheros de puntos a partir de sus coordenadas X,Y, en el menú Tools.

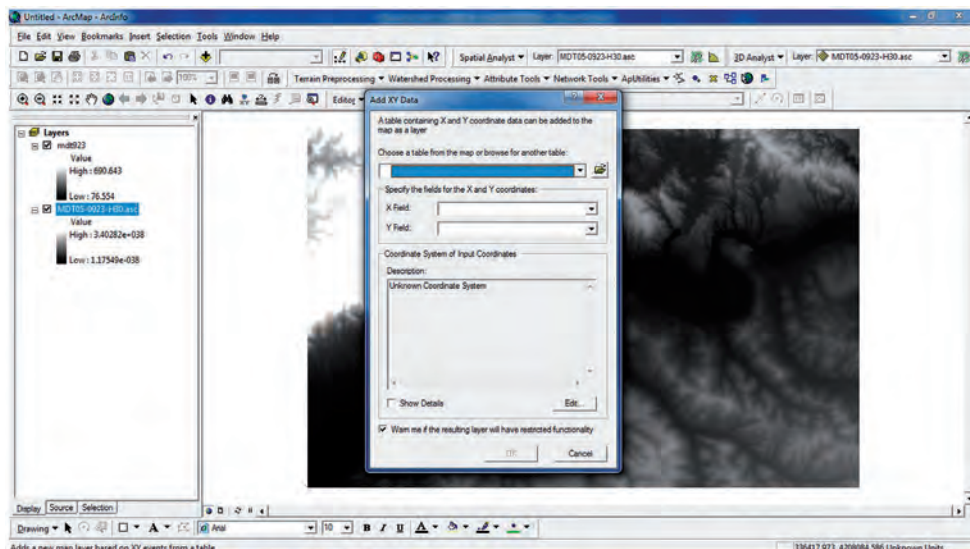


Figura 2.20. Menú de la aplicación Add X,Y para cargar ficheros de hoja de cálculo.

La herramienta Add X,Y permitiría generar un modelo de elevación de forma equivalente al procedimiento descrito en las Figuras 2.3 y 2.4.

## BIBLIOGRAFÍA

ESRI. 2007. Arc Hydro Tools v. 1.2. Redlands, New York (USA).

Aguilar M.C., Ayuso J.L., García A.P., Nofuentes M., Polo M.J., Peña A., Taguas E.V. 2009. Aplicaciones Hidrológicas de los Sistemas de Información Geográfica. Universidad de Córdoba, Córdoba.

Ministerio de Fomento, Instituto Geográfico Nacional. 2019. Centro Nacional de Descargas. <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp> QGIS. 2019. Sistema de información geográfica libre y de código abierto. <https://www.qgis.org/es/site/>

REDIAM. Red de Información Ambiental de Andalucía. 2019. Descargas de Ortofotografías y Datos del Territorio. [http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/rediam/menuitem.aedc2250f6db83cf8ca78ca731525ea0/?vgnnextoid=0863d61d8470f-210VgnVCM2000000624e50aRCRD&lr=lang\\_es](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/rediam/menuitem.aedc2250f6db83cf8ca78ca731525ea0/?vgnnextoid=0863d61d8470f-210VgnVCM2000000624e50aRCRD&lr=lang_es)

### 8.3. ANEJO 3: MATERIALES Y PROCESO CONSTRUCTIVO DE LAS DIFERENTES TIPOLOGÍAS DE DIQUES DE RETENCIÓN

#### A) Características de los diques de piedra mallada:

- **Altura efectiva aproximada:** 0.4 m sin armadura. Más altura si se arma.
- **Movimiento de tierras:** Sí. Zanja somera (30 cm).
- **Piedra:** Sí. Bolo o piedra angular > 10 cm (superior a paso de malla).
- **Acero:** Barras corrugadas cuando se arma. Mínimo diámetros de barra de 16 mm, más grueso cuanto mayor altura. Se recomienda un espaciamiento entre barras de 0.5 m para evitar bolsas en la malla. Barras y malla deben ir unidas mediante alambre galvanizado a diferentes alturas.
- **Malla:** Sí. Malla tipo gavión: triple torsión, 2.7 mm diámetro. Alambre galvanizado para cierre de malla 1.8 mm.
- **Observaciones:** los diques de piedra mallada son diques de muy baja altura. Para conseguir altura superiores a 0.4 m es necesario crear una doble línea de armadura (mín. corrugados de 16 mm, ver Figura).

#### Proceso constructivo de piedra mallada sin armadura:



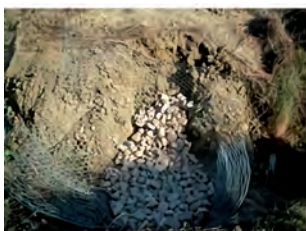
Excavación



Extendido malla doble



Moldado



Vertido bolo



Plegado malla



Cierre



**Resultado final piedra mallada sin armadura:**



**Proceso constructivo de piedra mallada con armadura:**



**Apertura caja y colocación escollera en cuenco**



**Clavado de barras, colocación de malla y unión mediante alambre**



**Malla preparada para vertido de bolo**



**Llenado de dique mediante bolo**

### Resultado final piedra mallada con armadura:



#### b) Características de los diques de placa de hormigón prefabricado

- **Altura efectiva aproximada:** 1 m.
- **Movimiento de tierras:** Sí. Zanja profunda (70 cm), anclaje lateral en taludes (0.75 m). La base de la zanja y las esquinas deben quedar bien terminadas para el correcto apoyo de la placa y su nivelación.
- **Piedra:** No en el muro, sí en el cuenco de disipación.
- **Acero:** Sí. 2 pernos 30 mm de diámetro en argollas (4 en total, preparadas en fábrica).
- **Malla:** No.
- **Otros:** Placa de hormigón armado prefabricado 16 cm de espesor con vertedero de fábrica. 5 m de anchura, 2 m de altura. Altura enterrada (~0.65 m), Altura efectiva hasta base vertedero (1 m), Altura vertedero (0.35 m, según caudal). 3 tubos de drenaje > 8 cm de diámetro.
- **Observaciones:** Las placas de hormigón prefabricado tienen como principal limitación su anchura total. Dado que el tamaño comercial habitual es de 5 m de largo y deben ir ancladas lateralmente al menos 0.75 m, sólo quedan libres unos 3.5 m. Para cárcavas de mayor anchura no podrían ser utilizados. El diseño del vertedero debe indicarse al fabricante y debe ser más grande cuanto más aguas abajo se encuentre el dique. Por lo tanto, debe conocer en qué sección

exactamente se debe colocar cada placa. Las placas no son porosas por lo que ofrecen mayor riesgo de desbordamiento del vertedero que las estructuras con piedra en caso de que sobrevenga un caudal superior al de diseño.

### Proceso constructivo:



Apertura de zanja



Colocación de placa mediante camión pluma



Apoyo de la placa en la cara aguas abajo



Preparación e hincado de pernos de refuerzo

### Resultado final:





### C) Características de los diques de empalizada

- **Altura efectiva aproximada:** 1 m.
- **Movimiento de tierras:** Sí. Zanja de profundidad media (50 cm), anclaje lateral en taludes (0.75 m).
- **Piedra:** Sí. Bolo o piedra angular > 10 cm (superior a paso de malla).
- **Acero:** Sí. Perfiles de 2.5 m de largo, tipo L 50 mm, separados a 0.6 m, clavados 1 m en el terreno. Pernos de 16 mm de diámetro, dispuestos horizontalmente para arriostramiento de perfiles verticales. Se recomienda corte en punta para facilitar el anclado.
- **Malla:** Sí. Malla tipo gavión: triple torsión, 2.7 mm diámetro. Alambre galvanizado para cierre de malla 1.7 mm.
- **Observaciones:** El aspecto crítico de este diseño es el hincado de los postes en profundidad., para el que suele ser necesario que colabore una máquina. En caso de encontrar material subsuperficial resistente, es necesario cortar la parte superior de los postes para dar forma al aliviadero.



Corte en punta para hincado



Hincado con cazo e hincapostes



Extendido malla previa relleno



Llenado con bolo



**Resultado final:**



Dique de empalizada simple con piedra angular



Dique de empalizada doble con bolo y piedra angular en el cuenco.

## D) Cuencos de disipación en diques de retención

### - Cuenco de disipación con piedra mallada:

Bolo o piedra de tamaño medio encerrada en malla de gavión de 2.7 mm. Espesor mínimo: 0.3 m. Alambre galvanizado de 1.8 m para cierre de malla.



**Extendido de malla**



**Llenado de malla 1**



**Llenado de malla 2**



**Cierre de malla**

Proceso de ejecución de cuenco de disipación con piedra mallada.

- **Cuenco de disipación con escollera:**

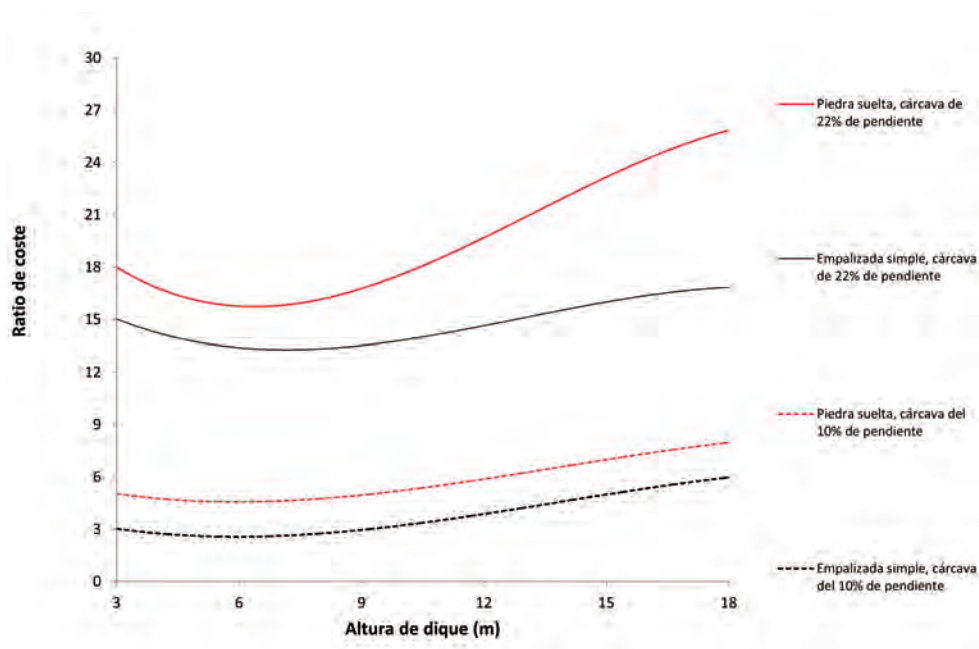
Escollera mínimo de 500 kg de peso. Profundidad de la caja 0.5 m.



Colocación de escollera en cuenco de disipación.

## 8.4. ANEJO 4: ALTURA ÓPTIMA DE DIQUES DE RETENCIÓN

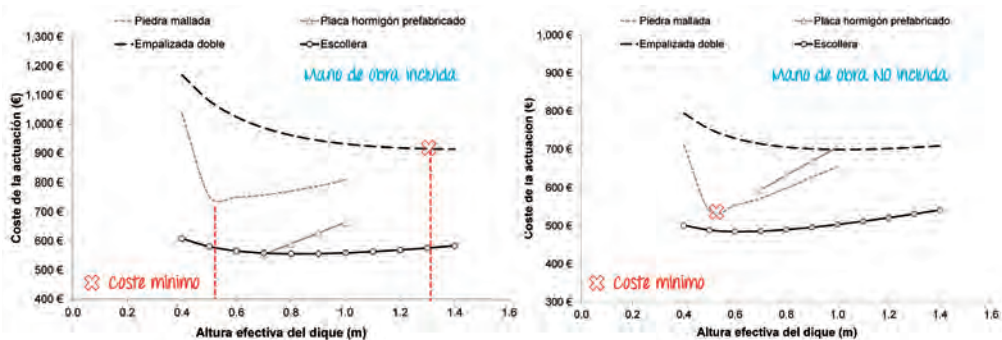
Heede (1976) propuso un índice de coste relativo para las diferentes tipologías de dique en restauración de cárcavas en zonas agrícolas. En las curvas, Figura 4.1. se aprecia que existe un mínimo coste para una cierta altura de dique. Esta altura óptima es aproximadamente la misma para diferentes pendientes medias en la cárcava.



**Figura. 4.1.** Coste relativo de una actuación para diferentes tipologías de dique y pendiente. Figura adaptada de Heede (1976). Obsérvese el punto mínimo en las curvas de coste correspondiente a la altura efectiva óptima.

Siguiendo una metodología similar y con objeto de estimar las alturas óptimas para las diferentes tipologías en nuestras condiciones, se ha obtenido el coste total de la actuación en un tramo de cárcava de 100 m de 1 m de anchura y una pendiente media del 5% para las diferentes tipologías de dique utilizando los resultados obtenidos en el apartado anterior. Se han considerado dos casos, Figura 4.2.: incluyendo el coste de la mano de obra (el propietario debe pagar a mano de obra externa) y no incluyéndolos (el propietario ejecuta la obra con su personal). En ambos casos se incluye el coste de la maquinaria, dado que normalmente es necesario recurrir a maquinaria de medio gran tamaño no disponibles en la mayor parte de las explotaciones agrícolas.





**Figura 4.2.** Evolución de los costes de una actuación de ejemplo (cárcava de longitud 100 m, pendiente media del 5% y anchura media de 1 m) para las diferentes tipologías de dique para diferentes alturas efectivas de dique. En la gráfica de la izquierda se consideran los costes de mano de obra (personal externo a la explotación) mientras que en la derecha no se consideraron (medios humanos propios).

Se observa que existe un óptimo económico para las diferentes tipologías de dique, de forma similar a los resultados de Heede (1976). En la piedra mallada se alcanza a alturas próximas a 0.5 m, en escollera a 0.7 m, en doble empalizada alrededor de 1.2 m mientras que en la placa de hormigón prefabricada el coste es menor para alturas inferiores. En general se observa que el intervalo de alturas más económico globalmente es de 0.5 a 1 m de altura. Alturas de dique mayores no sólo conducen a obras de mayor complejidad y probabilidad de fallo sino también a obras más caras.

Cuando no se consideran los costes de mano de obra, el coste de la actuación disminuye especialmente en las tipologías de dique más intensivas en mano de obra (piedra mallada y doble empalizada). Las curvas de coste para casos particulares (diferentes diseños, rendimientos o precios unitarios a los considerados en este manual) diferirán del ejemplo expuesto, aunque pueden servir como orientación.

## 8.5. ANEJO 5: METODOLOGÍA DE MEDIDA EN CÁRCAVAS

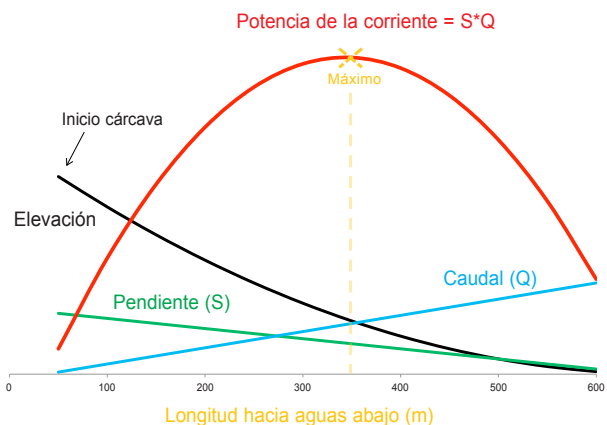
Las cárcavas son redes de drenaje con evidentes procesos erosivos normalmente situadas en la cabecera de las cuencas de drenaje. Su morfología suele ser compleja, con diferentes canales (principal y secundarios) y variaciones de sus dimensiones en su longitud. Habitualmente, presentan forma ahusada con dimensiones mayores en las zonas intermedias y menores en el extremo superior e inferior, Figura 5.1.



**Figura 5.1.** Ortofoto (julio 2007) de una cárcava en la provincia de Córdoba. Se observa que las dimensiones mayores se encuentran en la zona media, decreciendo hacia la cabecera de los tributarios y hacia la salida de la cárcava.

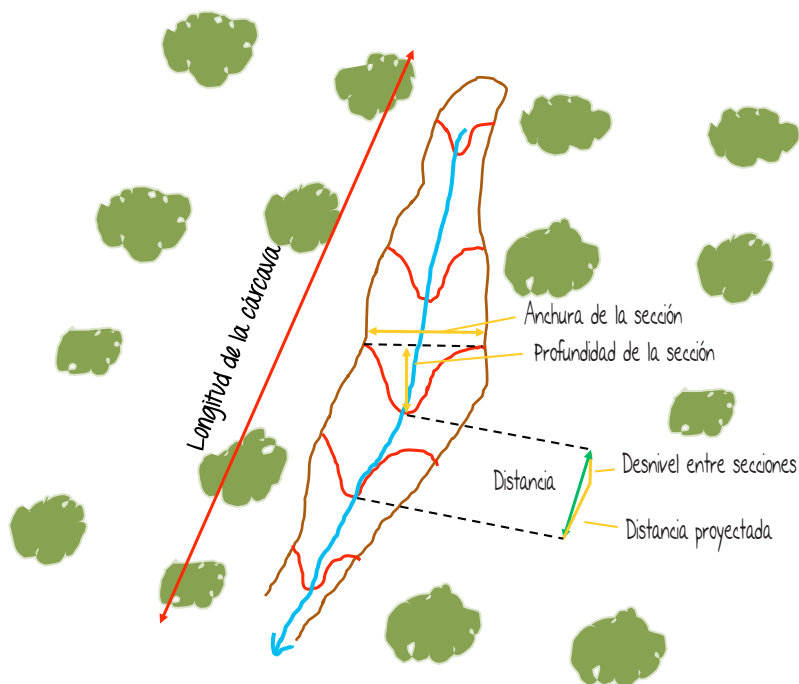
Esto se suele justificar analizando la potencia del agua de escorrentía. La evolución de la potencia de la corriente a lo largo de una cárcava es una función de la cantidad de agua que pasa (caudal) y de la velocidad del flujo. A medida que nos movemos aguas abajo en una cárcava, el área de drenaje aumenta (y por consiguiente el caudal) pero la pendiente suele disminuir, y con ella la velocidad. Por lo tanto, la potencia de corriente (y su capacidad erosiva) suele ser máxima en una zona media de la cárcava (valores medios de caudal y pendiente).

**Figura 5.2.** Evolución teórica de la pendiente, caudal y potencia de la corriente a lo largo del perfil longitudinal de una cárcava. Obsérvese como el máximo de la potencia de la corriente tiene lugar en una zona media, zona en la que las cárcavas suelen presentar mayores dimensiones.





Por lo tanto, para caracterizar las dimensiones de una cárcava es necesario su estudio a lo largo de su longitud. Para ello se definen secciones a lo largo de la misma, midiendo la distancia entre las mismas y el desnivel existente, lo que permite el cálculo de la pendiente en ese tramo. En cada sección se suele medir la anchura y profundidad de la cárcava. En el caso que se prevea realizar una actuación con diques de retención, la medida de la cárcava puede realizarse al mismo tiempo que el replanteo de la obra.



**Figura 5.3.** Esquema de cárcava con sus dimensiones principales. En rojo, secciones seleccionadas.

Las principales dimensiones y su metodología de medida son las siguientes:

- Longitud entre secciones: se suele utilizar una cinta métrica (hasta 50 m de longitud).
- Desnivel entre secciones: se puede medir con un nivel de burbuja, cuerda de albañil y nivel o nivel óptico manual. Se pueden utilizar asimismo dispositivos más sofisticados como estación total o GPS.
- Anchura y profundidad de la sección: se puede utilizar una cinta métrica manual (hasta 50 m) o una vara graduada para dimensiones reducidas.

Para el replanteo de diques de retención se suele utilizar el criterio de nivelación (solapamiento del 100%). Para ello se puede utilizar cualquiera de los métodos para el cálculo del desnivel. La posición de cada dique se puede marcar con estacas.



Nivelación mediante nivel de agua. Los meniscos de la columna de agua están a la misma elevación. El operador aguas abajo controla la altura del dique y el operador aguas arriba que la burbuja esté en el terreno.



Nivelación mediante cuerda y nivel de burbuja. El operador aguas abajo define la altura del dique y el operador aguas arriba la posición del siguiente dique.



Nivelación mediante nivel óptico portátil. La diferencia entre la altura fija de la vara de apoyo del nivel óptico (1.5 m) y la marca vista en la mira debe coincidir con la altura del dique buscada.



Medida de la distancia entre diques con cinta métrica. Las estacas definen la posición de los mismos.



Medida de la altura total de la sección mediante regla graduada.



Medida de la anchura a la altura del dique mediante cinta métrica flexible

**Figura 5.4.** Métodos sencillos para la medida de cárcavas y replanteo de acciones de control.

## 8.6. ANEJO 6: COSTES DEL CONTROL MEDIANTE DIFERENTES TIPOLOGÍAS DE DIQUES DE RETENCIÓN

Recursos, precios, coste en euros a junio de 2014 por metro y porcentaje del coste por conceptos en diques de piedra mallada.

### Piedra mallada

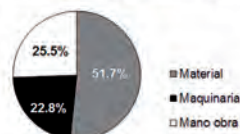
Altura efectiva dique (m)	Materiales por m de anchura de dique			Recursos horarios por m de anchura de dique	
	Peso piedra (T)	Peso acero (kg)	Superficie malla (m <sup>2</sup> )	Máquina (h)	Mano de obra (h)
0.4	1.1	0.0	4.6	0.40	1.79
0.5	1.6	3.4	4.2	0.35	1.40
0.6	1.3	6.1	4.8	0.40	1.59
0.7	1.8	11.2	5.4	0.45	1.79
0.8	2.0	14.9	6.1	0.50	2.00
0.9	2.4	19.0	6.7	0.55	2.22
1.0	2.8	23.6	7.3	0.61	2.45

Precios considerados en euros por ud				
Piedra (T)	Acero (kg)	Malla (m <sup>2</sup> )	Máquina (h)	Mano de obra (h)
18.0 €	0.9 €	2.8 €	55.0 €	12.0 €



Altura efectiva dique (m)	Coste por m de anchura de dique					Coste total
	Piedra	Acero	Malla	Máquina	Mano de obra	
0.4	17.2 €	0.0 €	13.0 €	24.6 €	21.5 €	76.3 €
0.5	14.6 €	4.8 €	11.5 €	19.3 €	16.8 €	67.0 €
0.6	18.0 €	7.3 €	12.5 €	21.8 €	18.1 €	80.7 €
0.7	24.0 €	10.1 €	15.3 €	24.6 €	21.4 €	95.5 €
0.8	29.5 €	13.4 €	17.0 €	27.4 €	33.9 €	111.3 €
0.9	35.5 €	17.1 €	18.7 €	30.5 €	26.6 €	128.5 €
1.0	42.1 €	21.3 €	20.9 €	33.7 €	29.4 €	148.5 €

Porcentaje de coste por conceptos



Recursos, precios, coste en euros a junio de 2014 por metro y porcentaje del coste por conceptos en diques de placa de hormigón prefabricado.

### Placa de hormigón prefabricado

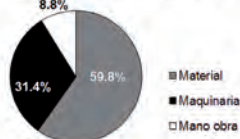
Altura efectiva dique (m)	Materiales por m de anchura de dique			Recursos horarios por m de anchura de dique	
	Peso piedra (T)	Peso acero (kg)	Volumen hormigón (m <sup>3</sup> )	Máquina (h)	Mano de obra (h)
0.7	0.5	18.8	0.2	0.48	0.48
0.8	0.5	21.4	0.3	0.54	0.54
0.9	0.5	28.7	0.4	0.61	0.61
1.0	0.7	32.5	0.4	0.68	0.68

Precios considerados en euros por ud				
Piedra (T)	Acero (kg)	Hormigón(m <sup>3</sup> )	Máquina (h)	Mano de obra (h)
17.8 €	1.1 €	70.0 €	55.0 €	12.0 €



Altura efectiva dique (m)	Coste por m de anchura de dique					Coste total
	Piedra	Acero	Hormigón	Máquina	Mano de obra	
0.7	8.0 €	18.4 €	16.3 €	26.0 €	5.7 €	75.6 €
0.8	10.2 €	23.6 €	20.0 €	29.9 €	6.5 €	90.9 €
0.9	11.5 €	28.3 €	25.2 €	33.7 €	7.3 €	107.0 €
1.0	12.8 €	39.7 €	30.3 €	37.4 €	8.2 €	124.4 €

Porcentaje de coste por conceptos



## Recursos, precios, coste en euros a junio de 2014 por metro y porcentaje del coste por conceptos en diques de doble empalizada.

### Doble empalizada

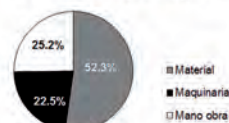
Altura efectiva dique (m)	Materiales por m de anchura de dique			Recursos horarios por m de	
	Peso piedra (T)	Peso acero (kg)	Superficie malla (m <sup>2</sup> )	Máquina (h)	Mano de obra (h)
0.4	1.0	17.1	3.7	0.43	1.74
0.5	1.2	20.4	4.1	0.49	1.97
0.6	1.4	23.9	4.5	0.55	2.20
0.7	1.6	27.7	4.9	0.61	2.43
0.8	1.9	31.8	5.3	0.66	2.65
0.9	2.1	36.2	5.7	0.72	2.88
1.0	2.3	40.8	6.1	0.78	3.11
1.1	2.6	45.7	6.5	0.84	3.34
1.2	2.9	50.9	7.0	0.89	3.57
1.3	3.1	56.4	7.4	0.95	3.80
1.4	3.4	62.2	7.8	1.01	4.03

Precios considerados en euros por ud				
Piedra (T)	Acero (kg)	Malla (m <sup>2</sup> )	Máquina (h)	Mano de obra (h)
15.0 €	0.9 €	2.8 €	55.0 €	12.0 €



Altura efectiva dique (m)	Coste por m de anchura de dique					
	Piedra	Acero	Malla	Máquina	Mano de obra	Coste total
0.4	15.55 €	15.39 €	10.30 €	23.67 €	20.83 €	85.9 €
0.5	18.43 €	18.32 €	11.45 €	27.03 €	23.59 €	98.8 €
0.6	21.44 €	21.49 €	12.60 €	30.19 €	26.25 €	112.1 €
0.7	24.68 €	24.85 €	13.75 €	33.35 €	28.15 €	126.7 €
0.8	27.88 €	28.60 €	14.90 €	36.50 €	31.86 €	139.7 €
0.9	31.26 €	32.54 €	16.04 €	39.65 €	34.61 €	154.1 €
1.0	34.83 €	36.72 €	17.19 €	42.80 €	37.36 €	168.9 €
1.1	38.52 €	41.18 €	18.34 €	45.95 €	40.11 €	184.1 €
1.2	42.34 €	45.95 €	19.49 €	49.10 €	42.85 €	199.6 €
1.3	46.29 €	50.79 €	20.64 €	52.25 €	45.60 €	215.6 €
1.4	50.38 €	55.98 €	21.79 €	55.40 €	48.35 €	231.9 €

Porcentaje de coste por conceptos



## Recursos, precios, coste en euros a junio de 2014 por metro y porcentaje del coste por conceptos en diques de escollera.

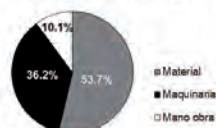
### Escollera

Altura efectiva dique (m)	Materiales por m de anchura de dique		Recursos horarios por m de anchura de dique	
	Peso piedra (T)	Máquina (h)	Máquina (h)	Mano de obra (h)
0.4	1.0	0.36	0.36	0.36
0.5	1.3	0.41	0.41	0.41
0.6	1.6	0.48	0.48	0.48
0.7	1.9	0.51	0.51	0.51
0.8	2.2	0.56	0.56	0.56
0.9	2.6	0.61	0.61	0.61
1.0	3.0	0.66	0.66	0.66
1.1	3.5	0.71	0.71	0.71
1.2	4.0	0.76	0.76	0.76
1.3	4.5	0.81	0.81	0.81
1.4	5.0	0.86	0.86	0.86

Precios considerados en euros por ud		
Piedra (T)	Máquina (h)	Mano de obra (h)
17.8 €	55.0 €	12.0 €

Altura efectiva dique (m)	Coste por m de anchura de dique			
	Piedra	Máquina	Mano de obra	Coste total
0.4	18.06 €	19.78 €	4.32 €	42.2 €
0.5	22.71 €	25.64 €	4.94 €	53.3 €
0.6	27.91 €	29.47 €	5.56 €	58.9 €
0.7	33.64 €	33.27 €	6.17 €	68.1 €
0.8	38.95 €	37.08 €	6.77 €	77.7 €
0.9	44.71 €	40.81 €	7.38 €	87.9 €
1.0	50.05 €	44.54 €	7.97 €	98.6 €
1.1	55.93 €	48.26 €	8.57 €	109.8 €
1.2	60.36 €	51.95 €	9.15 €	121.4 €
1.3	65.30 €	55.63 €	9.74 €	133.7 €
1.4	68.79 €	59.29 €	10.32 €	146.4 €

Porcentaje de coste por conceptos

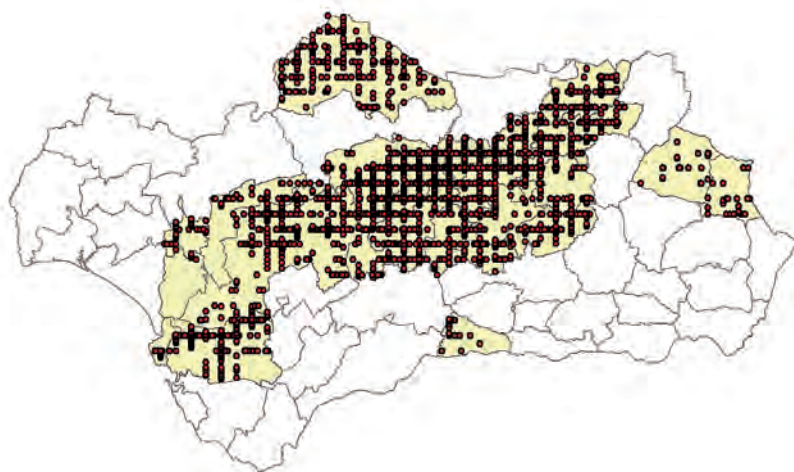




## 8.7. ANEXO 7: ANÁLISIS DE LA DENSIDAD DE CÁRCAVAS EN ANDALUCÍA

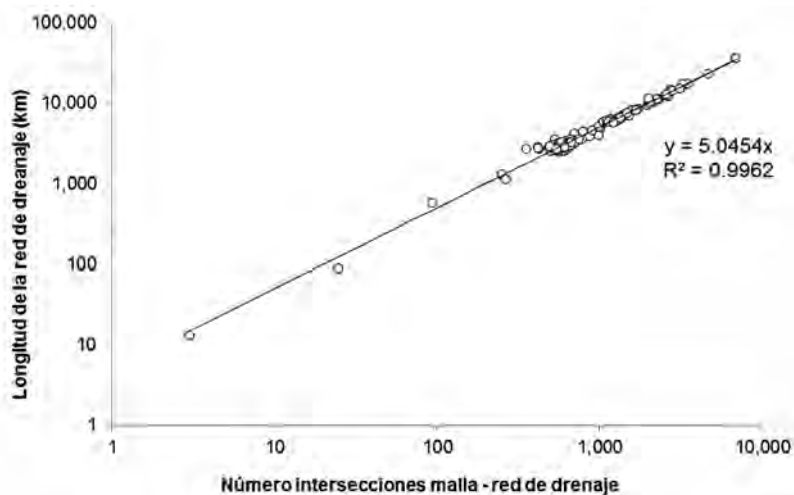
Se ha seguido la siguiente metodología:

1. Selección de las comarcas con un más de 50% de superficie agrícola.
2. Utilización de las ortofotografías de máxima actualidad del PNOA (disponibles en la REDIAM o el centro de descargas del Instituto Geológico Nacional) que en la fecha de este estudio correspondieron a los años 2010 o 2011.
3. Definición de una malla cuadrada de 10 km de lado para la definición sistemática de transectos.
4. Digitalización de las intersecciones de la malla definida con las cárcavas identificadas en las ortofotografías. Se han considerado cárcavas todos aquellos tramos pertenecientes a la red de drenaje de orden menor o igual a 3 desprovistos de vegetación en zonas agrícolas. Se obtuvieron un total de aproximadamente 3200 intersecciones en las 23 comarcas, Figura 7.1.



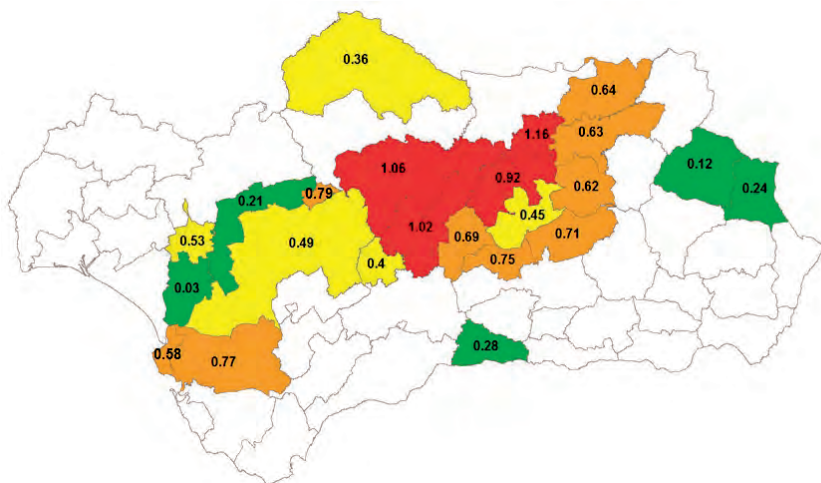
**Figura 7.1.** Localización de cárcavas (en rojo) a partir de interpretación de ortofotografías sobre los transectos definidos por una malla 10x10 km en las comarcas eminentemente agrícolas de Andalucía (en amarillo).

5. Recuento del total de intersecciones por comarca y determinación de la longitud de cárcavas total. Para ello se ha determinado una relación empírica entre número de intersecciones de la malla y longitud de la red de drenaje calibrada a diferentes escalas del territorio, Figura 7.2.



**Figura 7.2.** Relació entre el nombre d'interseccions de la malla de transectos amb la xarxa de drenatge i la longitud de la mateixa en km en un ampli rang d'escala espacial.

6. Obtenció de la densitat de drenatge comarcal mitjançant el cocient de la longitud total estimada de càrcaves i la superfície agrícola comarca, Figura 7.3.



**Figura.7.3. Densitat** de drenatge (km/km<sup>2</sup>) en les comarques eminentement agrícoles de Andalúcia determinades mitjançant interpretació de les ortofotografies més recents (2010-2011).



### Modelo conceptual de riesgo de erosión por cárcavas a nivel comarcal

A partir de los resultados obtenidos en el estudio anterior, se ha desarrollado un modelo conceptual simple para determinar los factores ambientales de mayor influencia en la densidad de drenaje comarcal. Para ello se seleccionaron cuatro grandes factores: uso ponderado, litología, pendiente y precipitación media anual. A cada uno de estos factores se le asignó un valor de 1 a 4 (valores crecientes para mayor riesgo frente a erosión por cárcavas, Tabla 7.1). El uso agrícola ponderado se determinó aplicando la siguiente expresión:

$$\text{Uso ponderado} = \sum \% \text{ superficie uso en la comarca} \times \text{Valor asignado}$$

Factor	Categoría	Valor
Uso agrícola ponderado	Forestal	0
	Dehesas	2.5
	Pastizales	1.5
	Leñosos	4
	Herbáceos seco y regadio	3.2
Litología ponderada	Ígneas	1
	Metamórficas	2
	Sedimentarias duras y volcánicas	3
	Sedimentarias blandas	4
Pendiente media	<5%	1
	5 - 10 %	2
	10 - 15 %	3
	> 15 %	4
Precipitación anual media	< 450 mm	1
	450 - 550 mm	2
	550 - 650 mm	3
	> 650 mm	4

**Tabla 7.1.** Asignación de valores relativos de riesgo de erosión (escala de 1 a 4) por cárcavas para los factores ambientales considerados. Para el uso agrícola ponderado se determinaron los valores asociados a cada categoría de uso que proporcionaron un mejor ajuste a la densidad de drenaje.

Se ha utilizado un modelo de regresión múltiple simple para explicar la densidad de drenaje comarcal de la forma:

$$\text{Densidad}_\text{cárcavas} = a \cdot U + b \cdot L + c \cdot S + d \cdot P$$

Donde  $a$ ,  $b$ ,  $c$  y  $d$  son los coeficientes de la regresión y  $U$ ,  $L$ ,  $S$  y  $P$  las variables de ponderación asignados al uso, litología, pendiente y precipitación, respectivamente, Tabla 7.2.

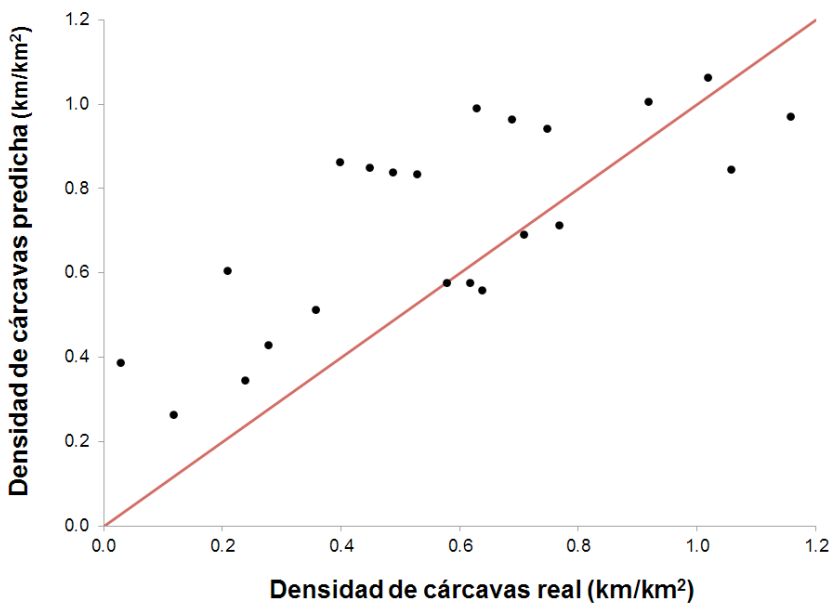
Variable	Coefficiente de mejor ajuste	Significación
Uso agrícola	0.365	<b>0.004</b>
Litología	-0.044	0.663
Pendiente media	0.059	0.203
Precipitación anual media	0.086	0.235

**Tabla 7.2.** Coeficientes de la regresión y significación para las cuatro variables ponderadas consideradas. El único factor significativo fue el uso ( $p < 0.05$ ), seguido de la pendiente y la precipitación. El  $R^2$  del ajuste modelo-densidad de cárcavas fue de 0.57.

El modelo final quedaría definido, por lo tanto, por la expresión:

$$\text{Densidad\_cárcavas} = 0.365 \cdot U + 0.059 \cdot S + 0.086 \cdot P - 0.643 \quad n = 23 \quad R^2 = 0.57$$

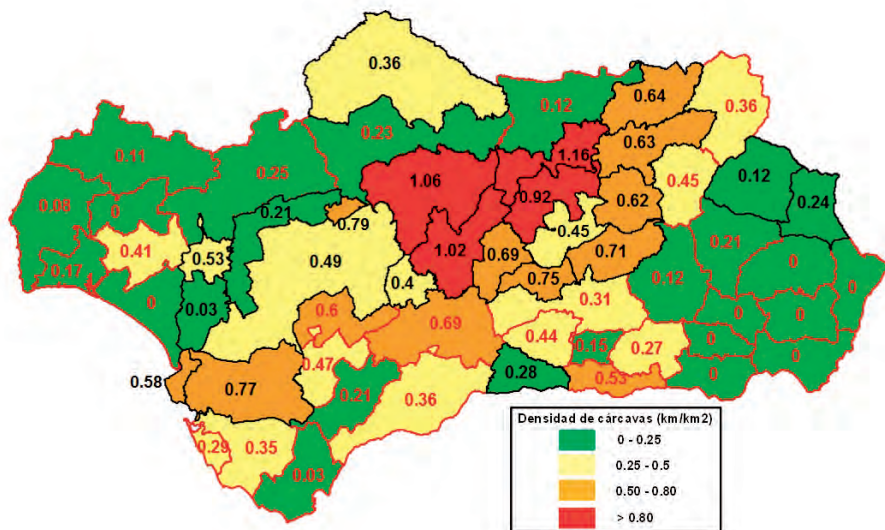
En la Figura se muestra el ajuste entre los valores observados y predichos de la densidad de cárcavas comarcal, Figura 7.3.



**Figura 7.3.** Representación de los valores observados (densidad de drenaje medida) y predichos (utilizando el modelo conceptual propuesto) de la densidad de cárcavas a nivel comarcal. En rojo, la recta 1:1. Los valores predichos tienden a sobrestimar a los reales, por encontrarse en general por encima de la recta.

### Predicción de la densidad de cárcavas en el resto de comarcas

Utilizando el modelo obtenido se puede estimar la densidad de cárcavas en aquellas comarcas con al menos un 50% de superficie agrícola. De esta manera, se puede obtener un mapa comarcal de densidad de cárcavas. Figura 7.4 uniendo los valores estimados mediante fotointerpretación y los predichos según el modelo.

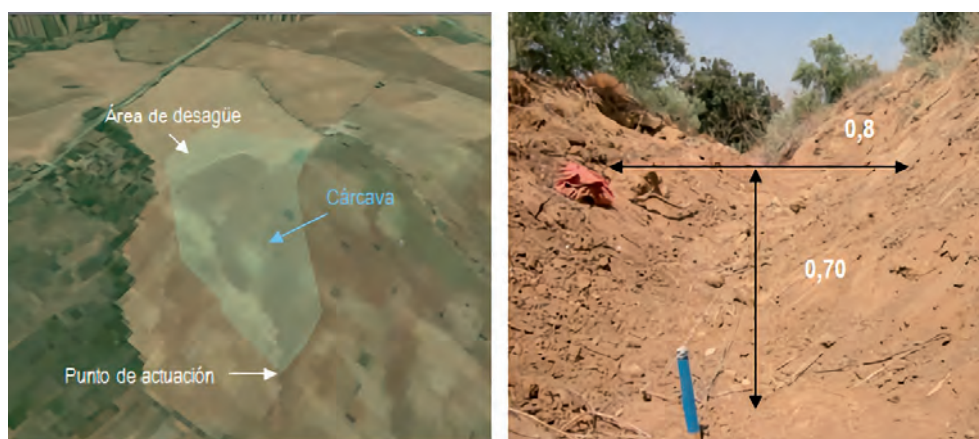


**Figura 7.4.** Mapa de densidad de cárcavas (km de cárcavas/km<sup>2</sup> de superficie agrícola) por comarcas de Andalucía. Los valores y límites en negro corresponden con las comarcas analizadas mediante fotointerpretación, mientras que aquellos en rojo corresponden con los valores estimados utilizando el modelo ajustado. Se observa cómo los valores de mayor densidad de cárcavas se concentran en las campiñas de Córdoba y Jaén.

## 8.8. ANEJO 8: EJEMPLO DE CÁLCULO DEL CAUDAL MEDIANTE LA METODOLOGÍA PASO A PASO

A continuación se muestra un ejemplo de cómo se pueden usar las tablas y figuras incluidas en esta sección. El enfoque utilizado en este ejemplo, no es de aplicación a todas las situaciones que se pueden encontrar en el campo, sino que cada una de ellas exigirá una respuesta específica.

Se tiene una finca de olivar con pendiente mayor al 6% y un suelo de textura franco arenosa en la provincia de Jaén. A lo largo de una cárcava, se ha localizado un enclave favorable (coordenadas UTM, huso 30, X = 452.121, Y = 4.192.011, Z = 750 m) para el establecimiento de un pequeño dique de retención (Figura 8.1). En dicho punto, la cárcava tiene un área de desagüe de 2.5 ha, una longitud aproximada de 200 m y una pendiente del 10%.



**Figura 8.1.** Vista del área del desagüe que vierte al punto de actuación (izquierda) e imagen y dimensiones de la sección transversal de la cárcava en dicho punto (derecha).

El cálculo de las dimensiones del aliviadero requiere la determinación del caudal de diseño. Se aplica la ecuación del método racional (Anejo 1) estableciendo como periodo de retorno de dicho caudal,  $T = 25$  años.

$$q = \frac{CiA}{3.6}$$

Donde C es el coeficiente de escorrentía (suelo de tipo B, de uso “cultivo” y pendiente media del 2%, Tabla 1.1. del Anejo 1)  $\rightarrow 0.16$ . A es el área tributaria = 0.025 km<sup>2</sup>.

La determinación de la lluvia de diseño requiere el cálculo del tiempo de concentración,  $T_c$ , de la cuenca en el punto de actuación que determina la duración del aguacero más desfavorable. Según la fórmula de Kirpich:

$$T_c = 0.0195L^{0.77}S^{-0.385} = 0.0195 \times 200^{0.77} \times 0.10^{-0.385} = 2.8 \text{ min}$$

Para el cálculo de la intensidad de lluvia para un período de retorno de 25 años y una duración igual al tiempo de concentración de 2.8 minutos, se sigue la metodología de establecida en la Instrucción de Carreteras 5.1-IC "Drenaje superficial" (BOE 123, 23 mayo de 1990). En primer lugar se ha de determinar la magnitud, denominada también cuantil, de la precipitación máxima diaria en el punto de localización de la estructura de control de la escorrentía, para el periodo de retorno especificado de 25 años. Para ello se aplicará la metodología establecida en la Monografía del Ministerio de Fomento (1999) titulada *Máximas luvias diarias en la España peninsular*.

Para el cálculo del cuantil se utiliza el mapa incluido en el Anejo 1, en el que se representan, para Andalucía, la distribución espacial del coeficiente de variación  $C_v$  y del valor medio de las series anuales de las máximas precipitaciones diarias en la región. Con las coordenadas UTM de la ubicación de la estructura a proyectar citadas anteriormente, se estiman los siguiente valores de  $C_v$ :  $C_v = 0.425$ .

De la Tabla 1.2 del Anejo 1, para un periodo de retorno  $T = 25$  años y un valor de  $C_v = 0.425$ , se obtiene un valor del cuantil regional  $Y_T = 1.892$ . En consecuencia, el valor del cuantil local  $X_T$ , o magnitud de la máxima precipitación diaria en el punto de ubicación de la estructura será:

$$X_T = Y_T \bar{P} = 1.892 \times 43 = 81.4 \text{ mm}$$

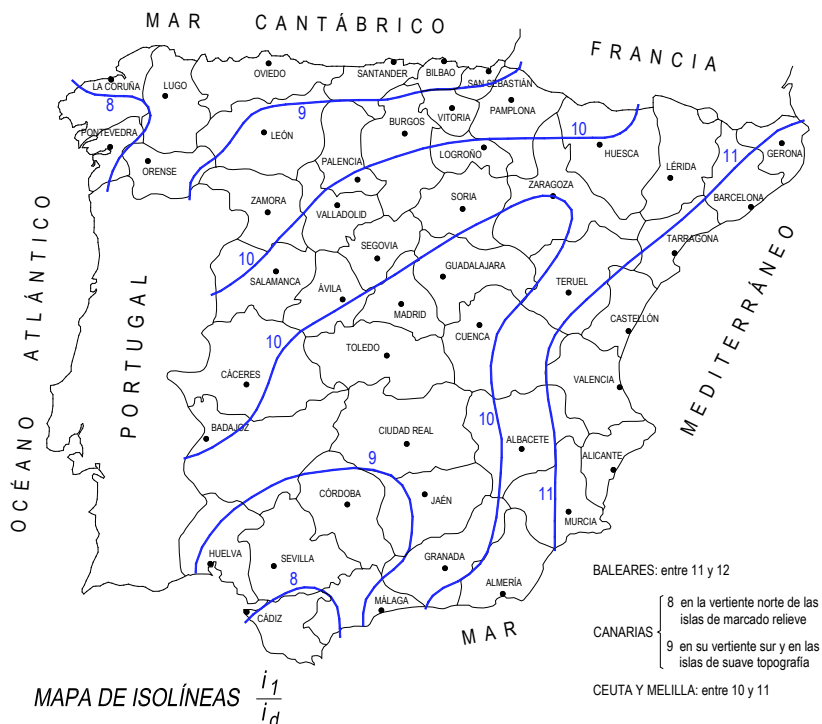
Una vez estimada la máxima precipitación diaria para 25 años de periodo de retorno, el cálculo de la intensidad de lluvia para una duración de 2.8 minutos y 25 años de periodo de retorno se realiza aplicando la siguiente expresión:

$$i_t = i_d \left( \frac{i_1}{i_d} \right) \cdot \frac{28^{0.1} - t^{0.1}}{28^{0.1} - 1}$$

Siendo  $i_t$  (mm/h) = intensidad media correspondiente al tiempo de concentración de 2.8 minutos.  $i_d$  (mm/h) = intensidad media diaria de la precipitación para el periodo de retorno considerado igual a 81.4 mm/24 h = 3.39 mm/h.  $i_1/i_d$  = cociente entre la intensidad horaria y la diaria, independiente del periodo de retorno y que puede obtenerse del mapa de la Figura 8.2 = 8.  $t$  (h) = tiempo de concentración en horas = 0.047 h.

La intensidad media para una duración de lluvia igual a 2.8 minutos (tiempo de concentración), será:

$$i_t = i_d \left( \frac{i_1}{i_d} \right) \cdot \frac{28^{0.1} - t^{0.1}}{28^{0.1} - 1} = 3.39 \times (8) \frac{28^{0.1} - 0.047^{0.1}}{28^{0.1} - 1} = 108.36 \text{ mm/h}$$



**Figura 8.2.** Mapa de isótopas adaptada por José A. Cobacho a partir de Ministerio de Fomento (1999).

Finalmente, con este dato se puede abordar el cálculo del caudal punta para 25 años de periodo de retorno, mediante la expresión del método racional

$$q = \frac{CiA}{3.6} = \frac{0.16 \times 108.36 \times 0.025}{3.6} = 0.120 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Entrando en la Figura 18 ( $Q = 0.120 \text{ m}^3/\text{s}$ ) se procede a dimensionar el aliviadero, considerando  $W/H = 3$  y resultando: anchura de aliviadero = 0.60 m y altura de agua sobre el vertedero = 0.2 m.



## **8.9. ANEJO 9: EJEMPLO DE DISEÑO DE ACTUACIÓN INTEGRAL DE RESTAURACIÓN DEL PAISAJE**

### **A) DIVERSIFICACIÓN DEL PAISAJE**

#### **1. INTRODUCCIÓN**

La finca está caracterizada por ser una explotación agraria representativa de la campiña. Los cultivos que se llevan a cabo en la finca han sido históricamente los habituales de la zona: cultivos herbáceos de secano de invierno (trigo) y cultivos herbáceos de secano de verano (girasol). Si bien, en la actualidad la mitad de la finca se ha destinado al cultivo del olivar en sistema intensivo con riego por goteo. Se ha actuado sobre la parcela de olivar, con una superficie catastral de 150 ha.

#### **2. ESTADO ACTUAL**

##### **Antecedentes y situación actual**

Como se puede apreciar en las Figuras 9.1 y 9.2, se puede decir que la finca se cultiva en su práctica totalidad, pues son mínimas las superficies que por alguna circunstancia concreta impidan su aprovechamiento para el cultivo. En la actualidad la finca se define como dos grandes parcelas. Una dedicada a cultivos anuales de secano (trigo – girasol) y la otra olivar intensivo de regadío.

Existe una proporción insignificante de superficie inculta respecto a las zonas cultivadas, relegadas a los bordes y taludes de los caminos de acceso y servidumbre, los paredones y acirates que lo pendiente se encuentran sin cultivar, los cauces permanentes de vaguadas y pequeños arroyos temporales donde se desarrollan de forma residual formaciones arbustivas de tarajes y olmos que generan pequeños sotos. Es aconsejable fijarse en las formaciones arbustivas residuales de la finca.

#### **3. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL DESARROLLO DEL PROYECTO DE PLANTACIÓN DE ÁRBOLES Y ARBUSTOS PARA CREACIÓN DE SETOS, SOTOS, BOSQUES ISLA, ÁRBOLES AISLADOS Y PLANTACIONES LINEALES**

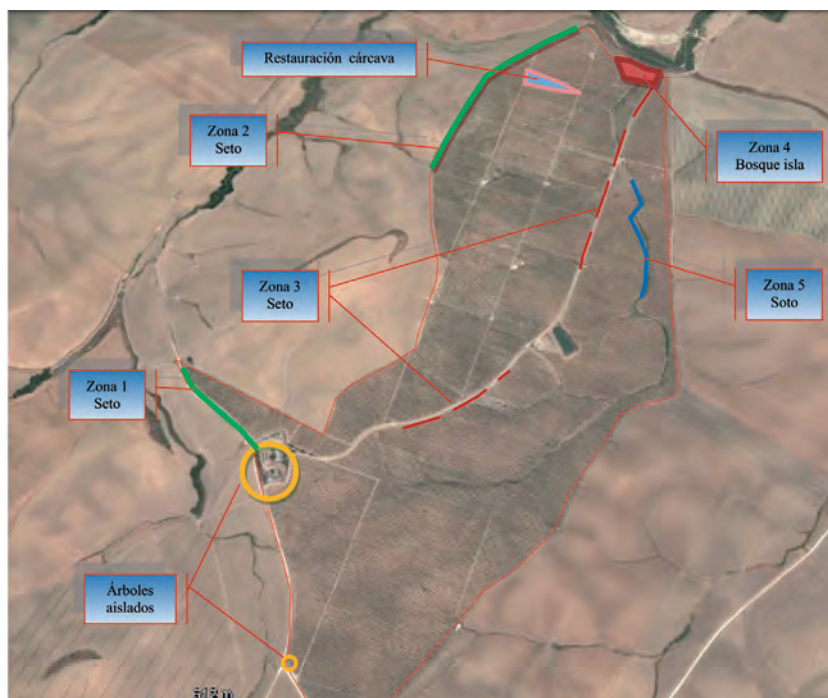
##### **3.1. Objetivos, prioridades y zonificación**

Las zonas óptimas que se han identificado para establecer en ellas enclaves forestales y bandas de vegetación a través de setos vivos, sotos y plantaciones lineales se han dimensionado y elegido en función de la operatividad de ejecución y futuras

labores de mantenimiento de las plantaciones. Para ello se han elegido aquellas zonas improductivas que se encuentran cerca de vías de acceso y servidumbre con el objeto de facilitar las labores.

Se ha tenido en cuenta que la implantación de estas estructuras naturales no entorpezca o constituyan un obstáculo a la dinámica de las labores agrícolas o a la unidad de las distintas parcelas de la explotación.

Bajo este criterio básico las principales zonas potenciales para crear las plantaciones lineales han sido zonas que delimitan distintas parcelas agrícolas, bordes junto a caminos (públicos y privados de servicio de la finca) y bordes de cursos de agua. Estas zonas seleccionadas, aunque se encuentran actualmente sin vegetación arbórea o arbustiva, sí presentan espacio de anchura variable que determinan un borde no cultivado potencial para la plantación.



**Figura 9.1.** Localización de las actuaciones de diversificación del paisaje y de control de cárcavas en la finca.

## Zonas de actuación 1

Plantación de arbustos en bordes y taludes de camino público de acceso a la finca.



**Figura 9.2.** Talud de borde de camino público de acceso a la finca.

## Zonas de actuación 2

Plantación de arbustos en linde perimetral de la finca con el objeto de crear setos vivos.



**Figura 9.3.** Zona de actuación en linde física de separación de la finca.



### Zonas de actuación 3

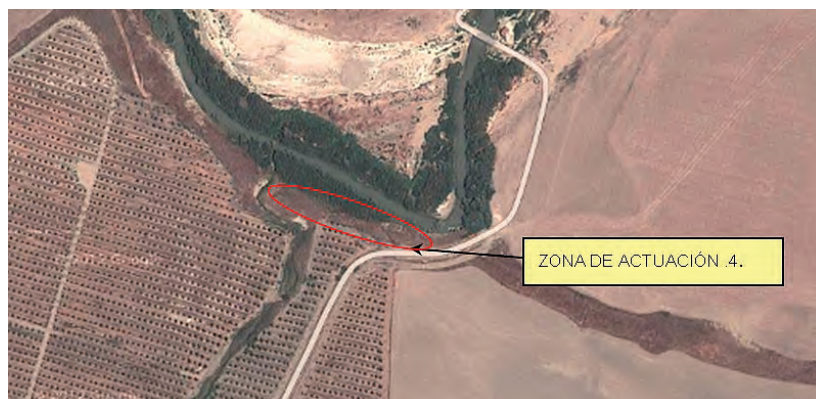
Plantación de árboles y arbustos en bordes y taludes de camino particular con el objeto de crear setos vivos y plantaciones lineales.



**Figura 9.4.** Zona de actuación en taludes de borde de camino de servidumbre y accesos a la finca.

### Zonas de actuación 4

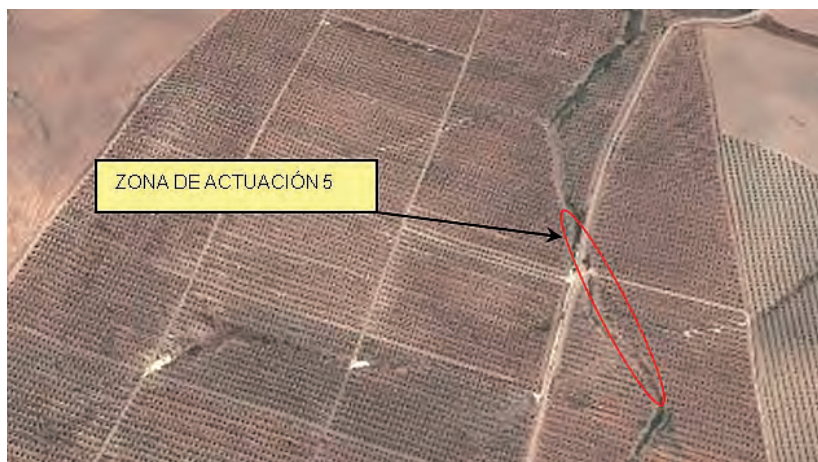
Plantación de árboles y arbustos de ribera en los cauces de agua con el objeto de crear sotos.



**Figura 9.5.** Zona de actuación en talud en margen derecha de río.



## Zonas de actuación 5



**Figura 9.6.** Zona de actuación en talud en margen de cárcava.

### 3.2. Programación y planificación

La ejecución de las plantaciones se ha ajustado a la disponibilidad de los medios materiales y humanos que el propietario de la finca ha puesto a disposición en la colaboración con el Proyecto. En este sentido, una vez diseñado y estudiado conjuntamente con el propietario las zonas de actuación analizadas en la propuesta inicial, se inició la fase de plantación el mes de febrero de 2012.

El calendario previsto para la realización de las diversas fases de las actuaciones fué el siguiente:

FASES DE LAS ACTUACIONES	Finca Matasanos CRONOGRAMA DEL PLAN DE TRABAJO												
	2012												
	E	FEBR	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	
<b>FASE</b>	<b>EJECUCIÓN DE LAS ACTUACIONES DISEÑADAS</b>												
Labores preparatorias													
Plantación													
Labores de mantenimiento Binas/escardas Riegos de apoyo													

Figura 9.7. Cronograma del plan de actuaciones de plantación en la finca.

### 3.3. Diseño de las plantaciones

Ha consistido en la creación de bandas de plantación lineal de unos 2 m de anchura, establecidos a lo largo de los bordes de caminos que existen en la finca, lindes de los límites de cultivos. Los tramos de las bandas han sido de longitud variable en función de la zona de actuación.

#### Plantación de árboles y arbustos en las lindes para la creación de setos vivos

Las bandas llevaron dos y tres líneas de plantación. La línea de plantación límite con el cultivo ha sido íntegramente plantada con especies arbustivas mientras que en la otra línea se ha intercalado con 1 especie arbórea por cada 2 arbustivas. La planta se ha distribuido con un marco aproximado de 1.5 metros por 1 metro para las especies arbustivas y 1.5 metros por 2 metros para las arbóreas, al tresbolillo.

La proporción de árboles y arbustos ha sido aproximadamente de 130 arbustos/40 árboles por cada 100 m de plantación de seto.

### **Plantación de árboles y arbustos en borde de cauces para la creación de sotos**

El diseño de plantación se ha realizado con 2-3 bandas de plantación paralelas al eje del cauce y separadas por 1.5 metros de distancia. En la línea de plantación más cercana al cauce se dispondrán 2 plantas arbóreas de la misma especie (aquellas más exigentes en cuanto a aporte hídrico) por cada planta arbustiva. En la siguiente línea de plantación se plantó una especie arbórea por cada 2 arbustos de la misma especie.

### **Plantación de árboles y arbustos en acirates y recintos improductivos con el objeto de crear bosques islas**

De forma general y dependiendo de la superficie del recinto donde crear la masa, se propuso a la propiedad de la finca crear bosquetes en el interior de cada recinto de forma poligonal si lo permite la topografía del terreno, con una superficie aproximada de 170 m<sup>2</sup>. La densidad de plantación será de 1 planta/m<sup>2</sup>.

La relación entre árboles y arbustos será de 1:5. La plantación se ejecutará al tresbolillo con un marco de plantación aproximado de 1.15 x 1 m, cubriendo toda la superficie del polígono un bosque isla individual (unos 170 m<sup>2</sup>) o bien la superficie resultante de la agrupación de varios bosques isla dentro del recinto. Siempre que exista en el recinto algún árbol residual, la plantación se apoyará sobre ese pie, de tal forma que la superficie de plantación se situará inmediatamente en la posición norte de este pie arbóreo nodriza, bajo cubierta, para así reducir al mínimo la insolación de las plántulas durante la época estival y proporcionarles un microclima más favorable a su desarrollo.

La distribución de las plantas se llevará a cabo respetando uniformemente la relación 1:5 de árbol:arbustos, o sea, dentro de una misma línea de plantación por cada especie arbórea seguirán 5 arbustos que, como máximo, pertenecerán a 2 especies distintas.

## **3.4. Elección de especies**

Con carácter general y básico se ha realizado una selección adecuada de especies para cada zona de acuerdo, por una parte, a las características de suelo y pluviometría y, por otra, a la constitución genética de las poblaciones circundantes. Por todo ello, las especies a utilizar deben tener en cuenta el dominio territorial en el que se encuentra la zona de actuación.

Se han seleccionado en función a criterios ecológicos de estación, culturales y de sucesión vegetal para que la especie elegida tenga las garantías suficientes de desarrollo en la finca. Teniendo en cuenta la climatología, altitud y edafología existente en la finca y analizados en el estudio del medio, las especies elegidas son capaces de soportar suelos arcillosos, ricos y profundos, un marcado periodo de sequía estival y cierta influencia oceánica.



**Figura 9.8.** Planta forestal en bandeja forestal (Rosal silvestre, lentisco y acebuche) destinada a crear seto en linde de la finca.

### **Elección de especies en función de la zona de plantación:**

1. En las bandas de plantación en cauces para crear sotos, que se encuentran en los márgenes del tramo del río Guadajoz que atraviesa la finca y la mopa del margen derecho del arroyo Abades que hace linde con la finca el Carrascal, las especies que se han implantado son aquellas de carácter ripario. Así tenemos que en esta zona las especies elegidas han sido el álamo blanco (*Populus alba*), taraje (*Tamarix sp.*), rosal silvestre o escaramujo (*Rosa canina*), adelfa (*Nerium oleander*), almez (*Celtis australis*), fresno (*Fraxinus angustifolia*).
2. En las bandas de plantación donde existen pequeños taludes medianeros como los de la linde y bordes y taludes de los caminos de acceso, en las líneas de plantación por banda se han intercalando especies con el fin de crear la máxima diversidad y protección del talud. Estas zonas han sido idóneas para instalar especies como el acebuche (*Olea europaea var. sylvestris*), lentiscos (*Pistacia lentiscus*), majoletos (*Crataegus monogyna*), algarrobo (*Ceratonía siliqua*), taraje (*Tamarix sp.*), adelfa (*Nerium oleander*), retama amarilla (*Spartium junceum*) y rosal silvestre o escaramujo (*Rosa canina*).
3. Por último, en el entorno del ruedo del cortijo se han implantado árboles en cepellón y maceta de cierto porte (10/12 cm perímetro de tronco) de un carácter más cultural y ornamental para sombreado y delimitación de espacios: almez (*Celtis australis*) y algarrobo (*Ceratonía siliqua*).

Acción	Dimensión (m)	Especies	Tamaño planta	Cantidad de planta
Plantación de árboles y arbustos de ribera en cauce para crear sotos	230	Alamo blanco ( <i>Populus alba</i> )	1 savia	120
		Taraje ( <i>Tamarix sp.</i> )	1 savia	300
		Adelfa ( <i>Nerium oleander</i> )	1 savia	212
		Almez ( <i>Celtis australis</i> )	1 savia	40
		Fresno ( <i>Fraxinus angustifolia</i> )	1 savia	50
		Rosal silvestre ( <i>Rosa canina</i> )	1 savia	50
Plantación de arbustos en lindes de la finca para crear setos	650	Lentisco ( <i>Pistacia lentiscus</i> )	1 savia	80
		<b>Majoleto (<i>Crataegus monogyna</i>)</b>	1 savia	100
		<b>Algarrobo (<i>Ceratonia siliqua</i>)</b>	1 savia	70
		<b>Escaramujo (<i>Rosa canina</i>)</b>	1 savia	150
		<b>Retama amarilla o gayomba (<i>Spartium junceum</i>)</b>	1 savia	115
		Taraje ( <i>Tamarix sp.</i> )	1 savia	300
		Acebuches ( <i>Olea europaea var sylvestris</i> )	1 savia	50
Plantación de árboles y arbustos en los bordes de caminos	750	Adelfa ( <i>Nerium oleander</i> )	1 savia	100
		<b>Escaramujo (<i>Rosa canina</i>)</b>	1 savia	200
		<b>Majoleto (<i>Crataegus monogyna</i>)</b>	1 savia	150
		Fresno ( <i>Fraxinus angustifolia</i> )	1 savia	50
		Almez ( <i>Celtis australis</i> )	1 savia	50
		<b>Retama amarilla o gayomba (<i>Spartium junceum</i>)</b>	1 savia	200
		Fresno ( <i>Fraxinus angustifolia</i> )	1 savia	50
Plantación de árboles y arbustos en recintos improductivos para crear islas de vegetación	-	Almez ( <i>Celtis australis</i> )	1 savia	50
		Álamo blanco ( <i>Populus alba</i> )	1 savia	120
		Taraje ( <i>Tamarix sp.</i> )	1 savia	100
		Almez ( <i>Celtis australis</i> )	5 savias 2-3 m altura	10
Plantación de árboles aislados en zonas improductivas y ruedo de edificaciones	-	Algarrobo ( <i>Ceratonia siliqua</i> )	5 savias 2 m altura 10/12 perímetro	5

Tabla 9.1. Relación de especies empleadas.

### 3.5. Método para el establecimiento de planta

La preparación previa del terreno para el establecimiento de la planta grande (algarrobos 2-3 m altura en maceta 30 l y almez en cepellón 2 m altura 10/12 perímetro tronco) que se ha implantado en el ruedo del cortijo y límites del camino público se ha realizado mediante ahoyado mecanizado con excavadora mixta, ejecutando hoyos de 50x50x50 cm de dimensiones mínimas. La plantación propiamente dicha se ha realizado con ayuda de azadas.



Figura 9.9. Apertura de hoyo con retroexcavadora mixta para árboles de gran porte.



En el caso de planta forestal con cepellón procedente de bandeja se ha plantado con azada con la preparación de la casilla mínima de 40x40x40 cm en la que encuadrar la planta. El ahoyado ha incluido la preparación de una pequeña poza para admitir riegos de apoyo. Por otro lado se ha utilizado una maquina ahoyadora manual de un solo operario para abrir los hoyos en las zonas de poca pendiente. Este sistema mecanizado permite establecer buenos rendimientos de plantación por la versatilidad que presenta el tipo de suelo de la finca (franco-arcillosos).



**Figura 9.10.** Utilización de la máquina ahoyado manual en una talud formando acirrate de la linde de la finca.



**Figura 9.11.** Detalle de la apertura de un hoyo con la máquina ahoyadora.



Con el fin de proteger la plantación de condiciones meteorológicas adversas, heladas, y ataque de roedores (liebres y conejos) se ha colocado un tubo invernadero perforado a cada una de las plantas. Los tubos presentan el borde superior biselado hacia el exterior para evitar daños a la planta, son cilíndricos y tienen una altura de 60 cm, y se han anclado al suelo al menos 25 cm mediante tutores de bambú de 2,2 cm de perímetro. Una vez colocados los tubos invernadero, se ha procedido a un aporcado de los mismos hasta una altura de 15 cm, con lo cual se consigue una mejor sujeción, además de un efecto regulador de la temperatura muy favorable para la supervivencia de la planta.

Por ello toda la plantación se protegió individualmente de los potenciales daños que pudieran provocar los abundantes conejos y liebres existentes en la finca mediante tubos protectores de 60 cm. Los tubos se fijaron al suelo con la ayuda de un tutor de caña de bambú de 1,50 m, por el interior y sujetándolo a la caña con bridas. La colocación de estos elementos, además de su funcionalidad, hace muy visible la localización de la plantas para las futuras labores de conservación y seguimiento.



**Figura 9.12.** Material utilizado para la protección de la planta. Tutores de 60 cm de altura, perforados para aireación 25 centímetros en la parte baja, biselados parte superior y, tutores de bambú de 2.2 cm de perímetro para sujeción del protector.



**Figura 9.13.** Detalle de la colocación de tubos protectores y tutores para protección de la planta.

### 3.6. Labores de mantenimiento

Las labores de mantenimiento han consistido en cuidados culturales postplantación procurados durante el primer año. Los riegos de mantenimiento durante los meses estivales se han realizado mediante riego por goteo conectado a las instalaciones de riego existentes en las parcelas de olivar. Esta labor de mantenimiento ha sido la clave del éxito de la plantación. Como ejemplo del éxito del desarrollo de algunas actuaciones se puede observar los crecimientos de algunas plantas en tan solo 8 meses.

Las labores de mantenimiento de la plantación consistieron en la instalación de riego por goteo conectado a la red de riego del olivar que permitió garantizar el riego de conservación de la plantación los meses estivales al unísono del riego del olivar. Además se aplicaron dos rozas continuas (una en mayo de 2012 y otra en octubre de 2012) con motodesbrozadora manual para eliminar la competencia de las herbáceas anuales y perennes, dejando los restos extendidos por la superficie intervenida.



**Figura 9.14.** Detalle del desarrollo de la plantación de un seto con instalación de riego por goteo en el periodo de febrero de 2012 a octubre de 2012 (8 meses).



**Figura 9.15.** Resultado de la plantación en borde de camino.

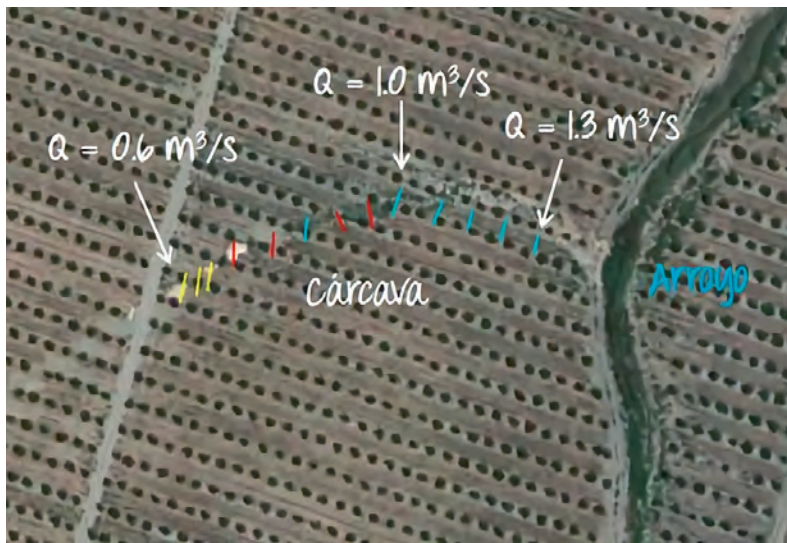


**Figura 9.16.** Estado de las plantas utilizadas en la creación de un seto vivo en un lindazo de la finca 8 meses después de su plantación.

## B) RESTAURACIÓN DE CÁRCAVAS

### 1. DIQUES DE RETENCIÓN

La longitud total de la cárcava es de 125 m y su pendiente media es del 10.5 %, si bien la pendiente de los tramos es muy variable, destacando el tramo superior en la que existe un escalón pronunciado.



**Figura 9.17.** Localización y tipología de los diques de retención en la cárcava sorbe ortofotografía de 2011. El espaciamiento no es uniforme dada la irregularidad del perfil longitudinal de la cárcava y las diferencias en alturas de los diques. En amarillo, diques de doble empalizada; en rojo, placas de hormigón prefabricado y en azul, piedra mallada. Se indican los caudales de 25 años en las secciones iniciales y finales.

Como una primera aproximación, asumiendo diques de altura 1 m, el número de diques aproximado sería:

$$N_{diques} = \frac{c(\%) \cdot L \cdot S}{H \cdot 100} = \frac{100(\%) \cdot 125 \cdot 0.105}{1 \cdot 100} \sim 13 \text{ diques}$$

Para una definición más precisa de la actuación, se realizó un replanteo de la obra utilizando un nivel de goma con agua. Para la definición de la altura del dique, se tuvo en cuenta la profundidad total disponible en cada sección. Para profundidades > 1.5 m se definió una altura de dique de 1 m, para profundidades < 1 m alturas de dique de 0.5 m y para los casos intermedios, diques de 0.7 m de altura.



Utilizando la Figura 18, se dimensiona el vertedero del primer dique y del último. Se elige un  $W/H = 3$ :

$$Q = 0.6 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow \mathbf{W = 0.8 \text{ m}} \text{ y } H = 0.8 / 3 = \mathbf{0.27 \text{ m}}$$

$$Q = 1.3 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow \mathbf{W = 1.4 \text{ m}} \text{ y } H = 1.4 / 3 = \mathbf{0.47 \text{ m}}$$

Los diques de empalizada cuentan con vertederos de 1.5 x 0.5 m aproximadamente. Los diques de placa prefabricada de 1.5 x 0.4 m, mientras que los de piedra mallada presentan vertederos aproximadamente elípticos de gran anchura.



**Figura. 9.18.** Imagen de la restauración mediante diques de retención, en dirección aguas abajo. Diques de doble empalizada en primer término y diques de placas de hormigón al fondo. Obsérvese la sedimentación incipiente, 4 meses después de la finalización de la obra.

En cuanto a la tipología elegida, se utilizaron placas de hormigón en aquellas secciones que cumplieran simultáneamente que la profundidad  $> 1.5 \text{ m}$  y su anchura total (incluido anclaje)  $< 5 \text{ m}$  (limitación de anchura en fabricación). Para profundidades menores de 1.5 m y se utilizaron diques de piedra mallada y para las secciones más grandes, diques de doble empalizada.

DIMENSIONES OBTENIDAS DEL REPLANTEO							DECISIÓN	COSTES			
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
Decisión								=Tabla	=Tabla	=J * G	
Dique	Altura total de la cárcava (m)	Altura del dique elegido (m)	Distancia (m)	Pendiente tramo (%)	Anchura de la cárcava a la altura del dique (m)	Anchura del dique con anclaje (m)	Tipología elegida	Coste por m de anchura (€)	Coste por m de anchura sin M.O. (€)	Coste dique (€)	
1	1.9	1	11.6	8.6	4.50	5.70	Dique empalizada	168.9	131.5	749.7	
2	2	1	6.4	15.7	4.60	5.80	Dique empalizada	168.9	131.5	762.8	
3	1.8	1	3.1	32.8	4.30	5.50	Dique empalizada	168.9	131.5	723.4	
4	1.7	1	7.7	13	2.90	4.10	Placa hormigón	112.9	108.3	444.1	
5	1.5	1	9.6	10.4	3.60	4.80	Placa hormigón	112.9	108.3	519.9	
6	1.3	0.7	14.4	4.9	4.10	5.30	Piedra mallada	146.9	117.5	622.9	
7	1.5	1	8.5	11.8	2.25	3.45	Piedra mallada	146.9	117.5	405.4	
8	1.6	1	11.0	9.1	2.40	3.60	Placa hormigón	112.9	108.3	390.0	
9	1.3	0.7	8.9	7.9	4.50	5.70	Piedra mallada	146.9	117.5	669.9	
10	1.2	0.7	13.7	5.1	2.90	4.10	Piedra mallada	146.9	117.5	481.9	
11	1.1	0.7	10.3	6.8	3.40	4.60	Piedra mallada	146.9	117.5	540.6	
12	0.9	0.5	9.6	5.2	1.90	3.10	Piedra mallada	146.9	117.5	364.4	
13	0.8	0.5	9.7	5.2	1.55	2.75	Piedra mallada	146.9	117.5	323.1	
10.5										6998.1	
Pendiente media %										Coste de la actuación	

RECURSOS NECESARIOS											
L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	X
=Tabla	=Tabla	=Tabla	=Tabla	=Tabla	=Tabla	=L * G	=M * G	=N * G	=O * G	=P * G	=Q * G
Bolo por m (T)	Escollera por m (T)	Acero perfiles por m (kg)	Acero corrugado por m (kg)	Malla por m (m <sup>2</sup> )	Máquina por m (h)	Bolo (T)	Escollera (T)	Acero perfil (kg)	Acero corrugado (kg)	Malla (m <sup>2</sup> )	Máquina (h)
2.3	--	40.8	--	6.1	0.78	13.11	--	232.6008	--	34.78	4.45
2.3	--	40.8	--	6.1	0.78	13.34	--	236.6808	--	35.39	4.52
2.3	--	40.8	--	6.1	0.78	12.65	--	224.4408	--	33.56	4.29
--	0.7	--	--	--	0.68	--	2.87	--	--	--	2.79
--	0.7	--	--	--	0.68	--	3.36	--	--	--	3.26
1.6	--	--	11.2	5.4	0.45	8.48	--	--	59.37	28.63	2.39
--	0.7	--	--	--	0.68	--	2.42	--	--	--	2.35
--	0.7	--	--	--	0.68	--	2.52	--	--	--	2.45
1.6	--	--	11.2	5.4	0.45	9.12	--	--	63.85	30.79	2.57
1.6	--	--	11.2	5.4	0.45	6.56	--	--	45.93	22.15	1.85
1.6	--	--	11.2	5.4	0.45	7.36	--	--	51.53	24.85	2.07
1.6	--	--	11.2	5.4	0.45	4.96	--	--	34.73	16.75	1.40
1.6	--	--	11.2	5.4	0.45	4.40	--	--	30.80	14.85	1.24
Total						80.0	11.2	693.7	286.2	241.7	35.6

**Tabla 9.2.** Dimensiones, costes (en euros a precios de junio de 2013) y recursos necesarios para el control mediante diques de retención en la cárcava de estudio. Obsérvese que el perfil de la cárcava no es homogéneo (ver pendiente de los tramos), por lo que sólo un replanteo en campo permite una definición de la posición y altura de los diques preciso.

En total el coste se estima en torno a 7.000 € para el total de 13 diques, con un coste medio por dique de 538 €. En cuanto a los recursos, se necesitaron 6 camiones de bolo y uno de escollera (suponiendo dumpers de 14 T por porte), un rollo de malla de 100 m por 3 m de ancho y alrededor de 4 días de trabajo de máquina.

## 2. REVEGETACIÓN DE LA CÁRCAVA

Esta actuación tuvo como finalidad el control de la erosión en la cabecera y taludes de cárcava generada en medio de las calles de un olivar de nueva plantación, a través del incremento de la retención de suelo por el desarrollo radicular de la vegetación. A la vez, la vegetación implantada permitirá frenar también la erosión biológica de la finca,



potenciando la biodiversidad y mejorando sustancialmente el paisaje que, en este tipo de territorios han sufrido fuertes procesos de simplificación conduciéndolos a los actuales niveles de fragilidad (Junta de Andalucía, 2012).

La revegetación de la cárcava se realizó en el mes de marzo de 2014. Se utilizó planta de una savia en cepellón procedente de bandeja forestal de especies arbustivas autóctonas de gran amplitud ecológica, alta frugalidad y contrastada rusticidad (Costa et al. 2002). El número y especies utilizadas fueron 65 unidades de taraje (*Tamarix gallica*), 65 de adelfa (*Nerium oleander*), 20 de rosál silvestre (*Rosa canina*) y 10 de lentisco (*Pistacia lentiscus*).

Las especies arbustivas seleccionadas para la revegetación fueron de bajo porte. Esta característica de las plantas evitará que el desarrollo y crecimiento de estas especies en el futuro no influya en la dinámica de la explotación y no proyecten sombreo a los olivos colindantes.



**Figura. 9.19.** Material utilizado en la revegetación de la cárcava: bandejas de planta forestal, tubos protectores, tutores de bambú, ahoyadora mecánica de un solo operario, azadas de mano.

Para el ahoyado se utilizó una máquina ahoyadora manual que puede ser manejada por un solo operario. Posteriormente, mediante el empleo de azada, se realizó la plantación procediendo al aporcado del tallo de la planta, escarda, pisado y posterior apertura de una pozeta o pequeño alcorque, para facilitar los riegos de establecimiento y apoyo.

Las líneas de plantación se ubicaron en las zonas aledañas a la cárcava sin invadir el lecho del cauce ni la línea de olivos circundantes. Su distribución se realizó mediante la

aplicación de dos líneas de plantación al tresbolillo y, de forma aleatoria aprovechando los espacios existentes en la cabeceras de los gaviones y placas instaladas (Figura 9.22). En la línea de plantación más cercana a lecho de la cárcava (siempre sin invadir el lecho para dejar la sección para la evacuación de caudales) se ubicó el taraje en mayor proporción que la adelfa, distribuyendo 5 unidades de taraje seguidas de 2 de adelfa y, en la línea superior, 2 de taraje por 5 de adelfa. Los rosales silvestres y lentiscos se distribuyeron a demanda en las cabeceras de los diques y placas.



**Figura 9.20.** Labores de plantación y colocación de protectores en los márgenes del tramo corregido. Obsérvese la ubicación de las dos líneas de plantación. La restauración con diques de retención fue realizada en el verano del 2013.

Toda la plantación se protegió individualmente, mediante tubos protectores microperforados de 60 cm, de los potenciales daños que pudieran provocar los abundantes conejos y liebres existentes en la finca. Los tubos se fijaron al suelo con la ayuda de un tutor de caña de bambú de 1.50 m, por el interior y sujetándolo a la caña con bridas. La colocación de estos elementos, además de su funcionalidad, hacen muy visible la localización de la plantas para las futuras labores de conservación y seguimiento. Hay que tener en cuenta que los tubos protectores empleados en las labores de repoblación y restauración forestal tienen, además de una evidente utilidad frente a la depredación, un efecto invernadero en su interior que influye en la supervivencia y el crecimiento de la planta (Oliet y Artero, 1993; Navarro et al., 1998).

Las labores de mantenimiento de la plantación consistieron en la instalación de riego por goteo conectado a la red de riego del olivar que permitió garantizar el riego de conservación de la plantación los meses estivales al unísono del riego del olivar.

En este tipo de intervención será necesario, además, aplicar como mínimo dos rozas continuas que, por lo general y dependiendo del año climatológico, pueden ser en mayo y otra en octubre. Utilizando motodesbrozadora manual para eliminar la competencia de las herbáceas anuales y perennes, dejando los restos extendidos por la superficie intervenida.

Para el cálculo de los costes de esta actuación se ha utilizado como referencia la tabla resumen de costes elaborada en la sección 3 del manual. Por lo que el coste total se puede calcular aplicando los costes estimados para unidad de planta puesta en campo de forma mecanizada para un terreno suelto con baja pendiente: **160 plantas x 5,21 €/ud = 833 €** (ver desglose del coste unitario en la Tabla 9.3).

Costes por unidad de planta							
Preparación del terreno	Distribución material forestal	Plantación	Materiales auxiliares y colocación	Planta	Cuidados post plantación (primer año)	Coste total	
Plantación mecanizada en suelo suelto con poca pendiente	0.07	0.02	0.22	1.92	0.45	2.53	5.21€

**Tabla 9.3** Desglose de los costes unitarios por planta en euros a junio de 2014 a partir de las tablas proporcionadas en el módulo 2 de este manual. Este precio no incluye ni gastos generales, beneficio industrial, ni IVA.

## 8.10. ANEJO 10. SELECCIÓN DE ESPECIES A NIVEL COMARCAL

La correcta selección de especies es fundamental en cualquier actividad relacionada con la implantación de nueva vegetación en un espacio, sea cual fuere la función para la que diseñe la actuación.

De manera general, los criterios de selección se pueden agrupar en cuatro clases, buscando aquellas que permitan partir de un material bien adaptado al medio:

- Origen geográfico: buscando especies que sean autóctonas, naturalizadas o, en menor medida, alóctonas que vayan bien en el medio, siempre que no estén consideradas dentro de los catálogos de exóticas invasoras, muy dañinas con los sistemas naturales.
- Necesidades climáticas: derivadas de las condiciones específicas del medio en que se desarrollará la acción (exposición, pluviometría, temperaturas máximas y mínimas...)
- Necesidades edáficas: como en el caso anterior, para establecer aquellas condiciones de suelo concretas del lugar (ph, contenido de materia orgánica, textura, nivel de compactación...)
- Atributos especiales: mediante los que se tendrán en cuenta otras condiciones que afectarán a la plantación (sombreo a cultivos, distancia a linderos o edificaciones...)

Este anexo se presenta en forma de dos tablas de árboles y arbustos, elaboradas a partir de la documentación contenida en De Andrés, Cosano y Pereda (2003) y adaptada a este Manual, con formato de doble entrada en las que se pueden encontrar los distintos usos considerados, las comarcas agrarias de Andalucía agrupadas por provincia y las especies más interesantes para su uso en actuaciones tanto de control de cárcavas como de revegetación; el cortejo preseleccionado se nutre de especies autóctonas y de aquellas alóctonas que tienen un fuerte arraigo cultural en el agro andaluz.

Aunque la consulta de las tablas es extremadamente sencilla y ayuda a elegir entre un catálogo de 95 especies leñosas (34 de árboles, de los cuales 25 son autóctonos, y 61 de arbustos, todos autóctonos menos 1), en ningún caso debe perderse la perspectiva de las condiciones específicas del lugar de actuación porque dentro de una misma comarca agraria pueden coexistir características fitogeográficas diferentes que exijan soluciones particularizadas, y en ocasiones muy distintas, para cada lugar. Este es el caso, por ejemplo, de la comarca del Alto Andarax, en la que se reúnen zonas de vegetación potencial correspondientes a los fitoclimas de la zona de Sierra Nevada-Filabres, de la zona Granadino-Malagueña y de la zona Árida-Almeriense.

En cualquier caso, la preselección contenida en las tablas es bastante generalista para prácticamente todo el territorio:

- 9 de las 34 especies de árboles (26,5%) son óptimas para ser utilizadas de una u otra manera en la totalidad de las comarcas agrarias de Andalucía, siempre en función de las condiciones particulares del medio en el que se establece la plantación. Es el caso del algarrobo (*Ceratonia siliqua*), la higuera (*Ficus carica*), el acebuche (*Olea europaea* subsp. *sylvestris*), el pino carrasco (*Pinus halepensis*), el pino resinero (*Pinus pinaster*), el pino piñonero (*Pinus pinea*), el almendro (*Prunus dulcis*), el melocotonero (*Prunus persica*) y la encina (*Quercus ilex* subsp. *ballota*).
- Otras 17 especies (el 50%) pueden emplearse en un elenco muy alto de comarcas (más del 80% de las 55 en las que se divide el territorio andaluz).
- 26 de las 61 especies de arbustos (42,6%) son útiles para diferentes labores de revegetación en unas estaciones u otras de todas las comarcas agrarias. Son las siguientes: palmito (*Chamaerops humilis*), jara estepa (*Cistus albidus*), jaguarzo (*Cistus monspeliensis*), majuelo (*Crataegus monogyna*), jazmín de monte (*Jasminum fruticans*), sabina (*Juniperus phoenicea*), cantueso (*Lavandula stoechas*), cambrón (*Lycium europaeum*), arrayán (*Myrtus communis*), Adelfa (*Nerium oleander*), labiérnago (*Phyllirea angustifolia*), matagallos (*Phlomis purpurea*), lentisco (*Pistacia lentiscus*), granado (*Punica granatum*), coscoja (*Quercus coccifera*), retama (*Retama sphaerocarpa*), aladierno (*Rhamnus alaternus*), romero (*Rosmarinus officinalis*), gayomba (*Spartium junceum*), tarajes (*Tamarix africana*, *T. canariensis* y *T. gallica*), olivilla (*Teucrium fruticans*), durillo (*Viburnum tinus*), sauzgatillo (*Vitex agnus-castus*) y parra silvestre (*Vitis vinifera* subsp. *sylvestris*).
- Finalmente, otras 13 especies arbustivas (23,6%), pueden utilizarse en más del 80% de las comarcas.

La preselección ofrece un amplio abanico de posibilidades para todo el territorio:

- Todas las comarcas agrarias tienen una media ligeramente superior a las 27 especies de árboles para ser utilizados en labores de revegetación y diversificación. Los valores mínimos corresponden a dos comarcas de las zonas áridas almerienses (Bajo Almanzora, Campo Tabernas y Campo Níjar y Bajo Andarax) que pueden contar con menos de 11 especies.
- Respecto a los arbustos, la media supera las 50 especies por comarca, y los valores mínimos vuelven a encontrarse en las mismas comarcas anteriormente citadas, aunque en esta ocasión se sitúan en 35 especies.

En cuanto a los usos, se han recogido los más significativos en los procesos de diversificación y de revegetación: pantallas (32 especies preferentemente ramificadas desde la base para formaciones densas y altas), setos (66 especies para formaciones similares a las anteriores pero con menor altura), borduras (20 especies arbustivas para formación de setos de menos de 60 cm de altura), sotos (24 especies para la creación de formaciones arbóreas y arbustivas asociadas a cursos de agua), cerramientos (17 especies de ramificación intrincada para la generación de estructuras poco penetrables), alineaciones (33 especies para el diseño de secuencias lineales de árboles o arbustos de gran porte) y cárcavas (15 especies para utilizar en revegetación y control de cárcavas, en conjunción con diferentes técnicas de ingeniería). Es necesario destacar que no se ha incluido el uso “bosque isla” en tanto que se considera que las 95 especies están indicadas para generarlo en masas puras o mixtas con cualquier diseño, en función de las características del espacio a intervenir.

En cualquier caso, en la preselección presentada en este anexo se ha primado el carácter generalista de las especies incluidas en el catálogo en detrimento de otras que puedan estar mucho mejor adaptadas a determinadas condiciones específicas de medios de distribución geográfica menor, buscando una simplificación práctica a la pregunta de qué especie emplear en cada caso. Son especies de amplia distribución, de amplia plasticidad fenotípica y, en la mayor parte de los casos, son producidas en viveros comerciales lo que permite su fácil adquisición.

No obstante, la flora andaluza tiene alrededor de 4.000 taxones, lo que significa que existen muchas más especies que pueden ser empleadas para la diversificación de los paisajes banalizados o para el control de las cárcavas que, a modo de cicatrices, amenazan los campos de cultivo.



## TABLAS PARA LA ELECCIÓN DE ESPECIES ARBÓREAS

	Autoctono	Alóctono	Pantallas	Setos	Sotos	Cerramientos	Alineaciones	Borduras	Cárcavas
Alnus glutinosa	x				x				
Castanea sativa		x	x	x			x		
Celtis australis		x	x	x	x		x		x
Ceratonia siliqua	x		x	x			x		
Cupressus sempervirens		x	x	x	x	x	x		
Cydonia oblonga		x	x	x	x		x		
Ficus carica	x			x					x
Fraxinus angustifolia	x				x		x		x
Laurus nobilis	x		x	x					
Morus alba		x	x	x			x		
Morus nigra		x	x	x			x		
Olea europaea var. sylvestris	x		x	x					x
Pinus halepensis	x						x		
Pinus pinaster	x						x		
Pinus pinna	x						x		
Pinus nigra subsp. salzmannii	x						x		
Pinus sylvestris	x						x		
Populus alba	x		x	x	x		x		x
Populus nigra	x		x	x	x		x		x
Prunus avium	x						x		
Prunus domestica		x					x		
Prunus dulcis		x					x		
Prunus persica		x					x		
Pyrus bourgaeana	x			x	x		x		
Quercus canariensis	x		x	x			x		
Quercus faginea	x		x	x			x		
Quercus ilex subsp. ballota	x		x	x			x		
Quercus pyrenaica	x		x	x			x		
Quercus suber	x		x	x			x		
Salix spp.	x				x				
Sorbus aria	x								
Sorbus domestica	x						x		
Tetraclinis articulata	x		x	x			x		
Ulmus minor	x		x	x	x		x		x

	ALMERÍA										CÁDIZ				
	401 Los Vélez	402 Alto Almanzora	403 Bajo Almanzora	404 Río Nacimiento	405 Campo Tabernas	406 Alto Andarax	407 Campo Dalias	408 Campo Bajo Andarax	1101 Campiña	1102 Costa Noroeste	1103 Sierra	1104 De la Janda	1105 Campo de Gibraltar		
<i>Alnus glutinosa</i>	X	X		X	X	X			X	X	X	X	X		
<i>Castanea sativa</i>															
<i>Celtis australis</i>	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
<i>Ceratonia siliqua</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
<i>Cupressus sempervirens</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
<i>Cydonia oblonga</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
<i>Ficus carica</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
<i>Fraxinus angustifolia</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
<i>Laurus nobilis</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
<i>Morus alba</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
<i>Morus nigra</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
<i>Olea europaea</i> var. <i>sylvestris</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
<i>Olea europaea</i> var. <i>acebuche</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
<i>Pinus halepensis</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
<i>Pinus pinaster</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
<i>Pinus pinea</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
<i>Pinus nigra</i> subsp. <i>salzmannii</i>	X														
<i>Pinus nigra</i> subsp. <i>salzmannii</i>	X														
<i>Pinus sylvestris</i>	X														
<i>Populus alba</i>	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
<i>Populus nigra</i>	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
<i>Prunus avium</i>	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
<i>Prunus domestica</i>	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
<i>Prunus dulcis</i>	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
<i>Prunus persica</i>	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
<i>Prunus bourgaeana</i>	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
<i>Quercus canariensis</i>	X														
<i>Quercus canariensis</i>	X														
<i>Quercus faginea</i>	X														
<i>Quercus faginea</i>	X														
<i>Quercus ilex</i> subsp. <i>ballota</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
<i>Quercus pyrenaica</i>	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
<i>Quercus suber</i>	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
<i>Salix</i> spp.	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
<i>Sorbus aria</i>	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
<i>Sorbus domestica</i>	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
<i>Tetraclinis articulata</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
<i>Ulmus minor</i>	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		



	HUELVA										JAÉN									
	2101	2102	2103	2104	2105	2106	2301	2302	2303	2304	2305	2306	2307	2308	2309					
	Sierra Occidental	Andévalo Oriental	Costa	Condado Campiña	Condado Litoral	Sierra Morena	El Condado	Sierra Segura	Campiña Norte	La Loma	Campiña del Sur	Mágina	Sierra de Cazorla	Sierra Sur						
<i>Alnus glutinosa</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					
<i>Castanea sativa</i>	x	x	x	x	x															
<i>Celtis australis</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					
<i>Ceratonia siliqua</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					
<i>Cupressus sempervirens</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					
<i>Cydonia oblonga</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					
<i>Ficus carica</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					
<i>Fraxinus angustifolia</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					
<i>Laurus nobilis</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					
<i>Morus alba</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					
<i>Morus nigra</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					
<i>Olea europaea var. sylvestris</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					
<i>Olea europaea var. sylvestris</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					
<i>Pinus halepensis</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					
<i>Pinus pinaster</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					
<i>Pinus pinea</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					
<i>Pinus nigra subsp. salzmannii</i>																				
<i>Pinus sylvestris</i>																				
<i>Populus alba</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					
<i>Populus nigra</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					
<i>Prunus avium</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					
<i>Prunus domestica</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					
<i>Prunus dulcis</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					
<i>Prunus persica</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					
<i>Pyrus bourgaeana</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					
<i>Quercus canariensis</i>	x	x	x	x	x															
<i>Quercus faginea</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					
<i>Quercus ilex subsp. ballota</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					
<i>Quercus pyrenaica</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					
<i>Quercus suber</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					
<i>Salix spp.</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					
<i>Sorbus aria</i>																				
<i>Sorbus domestica</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					
<i>Tetractis articulata</i>																				
<i>Ulmus minor</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					

	MÁLAGA						SEVILLA					
	2901	2902	2903	2904	4101	4102	4103	4104	4105	4106	4107	
	Norte o Antequera	Serranía de Ronda	Centro-Sur o Guadalupe	Vélez-Málaga	La Sierra Norte	La Vega	El Aljarafe	Las Marismas	La Campiña	La Sierra Sur	De Estepa	
<i>Alnus glutinosa</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
<i>Castanea sativa</i>					X							
<i>Celtis australis</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
<i>Ceratonia siliqua</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
<i>Cupressus sempervirens</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
<i>Cydonia oblonga</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
<i>Ficus carica</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
<i>Fraxinus angustifolia</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
<i>Laurus nobilis</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
<i>Morus alba</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
<i>Morus nigra</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
<i>Olea europaea var. sylvestris</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
<i>Olea europaea var. sylvestris</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
<i>Pinus halepensis</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
<i>Pinus pinaster</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
<i>Pinus pinea</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
<i>Pinus nigra subsp. salzmannii</i>					X	X	X	X	X	X	X	
<i>Pinus nigra subsp. salzmannii</i>					X	X	X	X	X	X	X	
<i>Pinus sylvestris</i>												
<i>Populus alba</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
<i>Populus nigra</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
<i>Prunus avium</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
<i>Prunus domestica</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
<i>Prunus dulcis</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
<i>Prunus persica</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
<i>Pyrus bourgaeana</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
<i>Quercus canariensis</i>					X							
<i>Quercus faginea</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
<i>Quercus ilex subsp. ballota</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
<i>Quercus pyrenaica</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
<i>Quercus suber</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
<i>Salix spp.</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
<i>Sorbus aria</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
<i>Sorbus domestica</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
<i>Tetraclinis articulata</i>					X							
<i>Ulmus minor</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	

## TABLAS PARA LA ELECCIÓN DE ESPECIES ARBUSTIVAS

		Autóctono	Alóctono	Pantallas	Setos	Sotos	Cerramientos	Alineaciones	Borduras	Cárcevas
<i>Adenocarpus decorticans</i>	Rascaveja	x			x					
<i>Adenocarpus telonensis</i>	Escobón prieto	x							x	
<i>Arbutus unedo</i>	Madroño	x		x	x			x		
<i>Asparagus albus</i>	Espaguera amarguera	x							x	
<i>Berberis vulgaris</i> subsp. <i>australis</i>	Agracejo	x			x		x		x	
<i>Buxus sempervirens</i>	Boj	x			x				x	
<i>Calicotome intermedia</i>	Erguén	x					x		x	
<i>Calicotome villosa</i>	Erguén	x					x		x	
<i>Chamaerops humilis</i>	Palmito	x			x		x	x		
<i>Cistus albidus</i>	Jara estepa	x							x	
<i>Cistus ladanifer</i>	Jara pingosa	x			x				x	
<i>Cistus monspeliensis</i>	Jaguarzo	x							x	
<i>Coriaria myrtifolia</i>	Emborrachacabras	x			x	x				
<i>Corylus avellana</i>	Avellano	x			x	x				
<i>Crataegus monogyna</i>	Majuelo	x			x	x	x			
<i>Cytisus grandiflorus</i>	Escobón	x			x					
<i>Cytisus multiflorus</i>	Escobón blanco	x			x				x	
<i>Cytisus scoparius</i>	Retama de escobas	x			x				x	
<i>Erica arborea</i>	Brezo	x		x	x					
<i>Erica australis</i>	Brezo colorado	x			x				x	
<i>Erica scoparia</i>	Brezo de escobas	x			x				x	
<i>Hedera helix</i>	Hiedra	x			x	x				
<i>Jasminum fruticans</i>	Jazmín de monte	x			x					
<i>Juniperus oxycedrus</i>	Enebro	x		x	x					
<i>Juniperus phoenicea</i>	Sábina	x		x	x					
<i>Lavandula stoechas</i>	Cantueso	x							x	
<i>Lonicera implexa</i>	Madreselva	x			x					
<i>Lonicera periclymenum</i>	Madreselva	x			x	x				
<i>Lycium europaeum</i>	Cambrón	x			x		x			
<i>Maytenus senegalensis</i> subsp. <i>europaea</i>	Arto	x			x		x			
<i>Myrtus communis</i>	Arrayán	x			x				x	
<i>Nerium oleander</i>	Adeffa	x			x	x		x	x	x
<i>Phyllirea angustifolia</i>	Labiérnago	x			x					
<i>Phyllirea latifolia</i>	Labiérnago	x		x	x					
<i>Phlomis purpurea</i>	Matagallos	x							x	
<i>Pistacia lentiscus</i>	Lentisco	x		x	x		x			x
<i>Pistacia terebinthus</i>	Cornicabra	x			x					
<i>Prunus spinosa</i>	Endrino	x			x		x			
<i>Punica granatum</i>	Granado		x		x		x			
<i>Quercus coccifera</i>	Coscoja	x			x		x			
<i>Retama monosperma</i>	Retama blanca	x		x	x					
<i>Retama sphaerocarpa</i>	Retama amarilla	x		x	x					
<i>Rhamnus alaternus</i>	Aladierno	x		x		x		x		
<i>Rhamnus lycioides</i> subsp. <i>lycioides</i>	Espino negro	x			x		x			
<i>Rhamnus lycioides</i> subsp. <i>oleoides</i>	Espino negro	x			x		x			
<i>Rosa canina</i>	Rosal silvestre	x								x
<i>Rosa sempervirens</i>	Rosa mosqueta	x								x
<i>Rosmarinus officinalis</i>	Romero	x							x	
<i>Rubus ulmifolius</i>	Zarza	x			x	x	x			x
<i>Salix</i> spp.	Mimbreras	x				x				
<i>Sambucus nigra</i>	Sáuco	x			x	x				
<i>Spartium junceum</i>	Retama de olor	x		x	x					
<i>Tamarix africana</i>	Taraje	x		x	x	x				x
<i>Tamarix canariensis</i>	Taraje	x		x	x	x				x
<i>Tamarix gallica</i>	Taraje	x		x	x	x				x
<i>Teline linifolia</i>	Escobón blanco	x							x	
<i>Teucrium fruticans</i>	Olivilla	x							x	
<i>Viburnum tinus</i>	Durillo	x			x	x				
<i>Vitex agnus-castus</i>	Sauzgatillo	x		x	x	x				
<i>Vitis vinifera</i> subsp. <i>sylvestris</i>	Parra o vid silvestre	x			x	x				
<i>Ziziphus lotus</i>	Azofafo	x			x		x			



## Criterios técnicos para el diseño y evaluación de cárcavas

		ALMERÍA							
		401	402	403	404	405	406	407	408
		Los Vélez	Alto Almanzora	Bajo Almanzora	Rio Nacimiento	Campo Tabernas	Alto Andarax	Campo Dalías	Campo Nijar y Bajo Andarax
Adenocarpus decorticans	Rascaveja	x	x		x		x	x	
Adenocarpus telonensis	Escobón prieto	x							
Arbutus unedo	Madroño	x	x		x		x	x	
Asparagus albus	Espaguera amarguera	x	x	x	x	x	x	x	x
Berberis vulgaris subsp. australis	Agracejo	x	x		x		x	x	
Buxus sempervirens	Boj	x	x		x		x	x	
Calicotome intermedia	Erguén	x	x	x	x	x	x	x	x
Calicotome villosa	Erguén	x							
Chamaerops humilis	Palmito	x	x	x	x	x	x	x	x
Cistus albidus	Jara estepa	x	x	x	x	x	x	x	x
Cistus ladanifer	Jara pringosa	x	x		x		x		
Cistus monspeliensis	Jaguarzo	x	x	x	x	x	x	x	x
Coriaria myrtifolia	Emborrachacabras								
Corylus avellana	Avellano	x							
Crataegus monogyna	Majuelo	x	x	x	x	x	x	x	x
Cytisus grandiflorus	Escobón	x	x		x		x	x	
Cytisus multiflorus	Escobón blanco	x	x		x		x	x	
Cytisus scoparius	Retama de escobas	x	x		x		x	x	
Erica arborea	Brezo								
Erica australis	Brezo colorado								
Erica scoparia	Brezo de escobas	x							
Hedera helix	Hiedra	x	x		x		x	x	
Jasminum fruticans	Jazmin de monte	x	x	x	x	x	x	x	x
Juniperus oxycedrus	Enebro	x	x	x	x	x	x	x	x
Juniperus phoenicea	Sabina	x	x	x	x	x	x	x	x
Lavandula stoechas	Cantueso	x	x	x	x	x	x	x	x
Lonicera implexa	Madreselva	x	x		x		x	x	
Lonicera periclymenum	Madreselva								
Lycium europaeum	Cambrón	x	x	x	x	x	x	x	x
Maytenus senegalensis subsp. europaea	Arto	x	x	x	x	x	x	x	x
Myrtus communis	Arrayán	x	x	x	x	x	x	x	x
Nerium oleander	Adelfa	x	x	x	x	x	x	x	x
Phyllirea angustifolia	Labiérnago	x	x	x	x	x	x	x	x
Phyllirea latifolia	Labiérnago								
Philomis purpurea	Matagallos	x	x	x	x	x	x	x	x
Pistacia lentiscus	Lentisco	x	x	x	x	x	x	x	x
Pistacia terebinthus	Cornicabra								
Prunus spinosa	Endrino	x							
Punica granatum	Granado	x	x	x	x	x	x	x	x
Quercus coccifera	Coscoja	x	x	x	x	x	x	x	x
Retama monosperma	Retama blanca	x	x	x	x	x	x	x	x
Retama sphaerocarpa	Retama amarilla	x	x	x	x	x	x	x	x
Rhamnus alaternus	Aladierno	x	x	x	x	x	x	x	x
Rhamnus lycioides subsp. lycioides	Espino negro	x	x	x	x	x	x	x	x
Rhamnus lycioides subsp. oleoides	Espino negro	x	x	x	x	x	x	x	x
Rosa canina	Rosal silvestre								
Rosa sempervirens	Rosa mosqueta	x							
Rosmarinus officinalis	Romero	x	x	x	x	x	x	x	x
Rubus ulmifolius	Zarza	x	x		x		x	x	
Salix spp.	Mimbreras	x	x		x		x	x	
Sambucus nigra	Sáuco	x	x	x	x	x	x	x	x
Spartium junceum	Retama de olor	x	x	x	x	x	x	x	x
Tamarix africana	Taraje	x	x	x	x	x	x	x	x
Tamarix canariensis	Taraje	x	x	x	x	x	x	x	x
Tamarix gallica	Taraje	x	x	x	x	x	x	x	x
Teline linifolia	Escobón blanco	x							
Teucrium fruticans	Olivilla	x	x	x	x	x	x	x	x
Viburnum tinus	Durillo	x	x	x	x	x	x	x	x
Vitex agnus-castus	Sauzgatillo	x	x	x	x	x	x	x	x
Vitis vinifera subsp. sylvestris	Parra o vid silvestre	x	x	x	x	x	x	x	x
Ziziphus lotus	Azofafo	x	x	x	x	x	x	x	x

		CÁDIZ				
		1101	1102	1103	1104	1105
		Campiña	Costa Noroeste	Sierra	De la Janda	Campo de Gibraltar
<i>Adenocarpus decorticans</i>	Rascavieja	x				
<i>Adenocarpus telonensis</i>	Escobón prieto	x		x	x	x
<i>Arbutus unedo</i>	Madroño	x	x	x	x	x
<i>Asparagus albus</i>	Espaguera amarguera	x		x	x	x
<i>Berberis vulgaris</i> subsp. <i>australis</i>	Ágracejo	x		x	x	x
<i>Buxus sempervirens</i>	Boj	x	x	x	x	x
<i>Calicotome intermedia</i>	Erguén					
<i>Calicotome villosa</i>	Erguén	x	x	x	x	x
<i>Chamaerops humilis</i>	Palmito	x	x	x	x	x
<i>Cistus albidus</i>	Jara estepa	x	x	x	x	x
<i>Cistus ladanifer</i>	Jara pingosa	x	x	x	x	x
<i>Cistus monspeliensis</i>	Jaguarzo	x	x	x	x	x
<i>Coriaria myrtifolia</i>	Emborrachacabras					
<i>Corylus avellana</i>	Avellano	x		x	x	x
<i>Crataegus monogyna</i>	Majuelo	x	x	x	x	x
<i>Cytisus grandiflorus</i>	Escobón	x	x	x	x	x
<i>Cytisus multiflorus</i>	Escobón blanco	x		x	x	x
<i>Cytisus scoparius</i>	Retama de escobas	x		x	x	x
<i>Erica arborea</i>	Brezo	x		x	x	x
<i>Erica australis</i>	Brezo colorado	x		x	x	x
<i>Erica scoparia</i>	Brezo de escobas	x	x	x	x	x
<i>Hedera helix</i>	Hiedra	x	x	x	x	x
<i>Jasminum fruticans</i>	Jazmín de monte	x	x	x	x	x
<i>Juniperus oxycedrus</i>	Enebro	x	x	x	x	x
<i>Juniperus phoenicea</i>	Sabina	x	x	x	x	x
<i>Lavandula stoechas</i>	Cartueso	x	x	x	x	x
<i>Lonicera implexa</i>	Madreselva	x	x	x	x	x
<i>Lonicera periclymenum</i>	Madreselva	x	x	x	x	x
<i>Lycium europaeum</i>	Cambrón	x	x	x	x	x
<i>Maytenus senegalensis</i> subsp. <i>europaea</i>	Arto					
<i>Myrtus communis</i>	Arrayán	x	x	x	x	x
<i>Nerium oleander</i>	Adelfa	x	x	x	x	x
<i>Phyllirea angustifolia</i>	Labiérnago	x	x	x	x	x
<i>Phyllirea latifolia</i>	Labiérnago	x		x	x	x
<i>Phlomis purpurea</i>	Matagallos	x	x	x	x	x
<i>Pistacia lentiscus</i>	Lentisco	x	x	x	x	x
<i>Pistacia terebinthus</i>	Cornicabra					
<i>Prunus spinosa</i>	Endrino	x		x	x	x
<i>Punica granatum</i>	Granado	x	x	x	x	x
<i>Quercus coccifera</i>	Coscoja	x	x	x	x	x
<i>Retama monosperma</i>	Retama blanca	x	x	x	x	x
<i>Retama sphaerocarpa</i>	Retama amarilla	x	x	x	x	x
<i>Rhamnus alaternus</i>	Aladierno	x	x	x	x	x
<i>Rhamnus lycioides</i> subsp. <i>lycioides</i>	Espino negro			x		
<i>Rhamnus lycioides</i> subsp. <i>oleoides</i>	Espino negro	x	x	x	x	x
<i>Rosa canina</i>	Rosal silvestre	x	x	x	x	x
<i>Rosa sempervirens</i>	Rosa mosqueta	x	x	x	x	x
<i>Rosmarinus officinalis</i>	Romero	x	x	x	x	x
<i>Rubus ulmifolius</i>	Zarza	x	x	x	x	x
<i>Salix</i> spp.	Mimbreras	x	x	x	x	x
<i>Sambucus nigra</i>	Saúco	x	x	x	x	x
<i>Spartium junceum</i>	Retama de olor	x	x	x	x	x
<i>Tamarix africana</i>	Taraje	x	x	x	x	x
<i>Tamarix canariensis</i>	Taraje	x	x	x	x	x
<i>Tamarix gallica</i>	Taraje	x	x	x	x	x
<i>Teline linifolia</i>	Escobón blanco	x	x	x	x	x
<i>Teucrium fruticans</i>	Olivilla	x	x	x	x	x
<i>Viburnum tinus</i>	Durillo	x	x	x	x	x
<i>Vitex agnus-castus</i>	Sauzgatillo	x	x	x	x	x
<i>Vitis vinifera</i> subsp. <i>silvestris</i>	Parra o vid silvestre	x	x	x	x	x
<i>Ziziphus lotus</i>	Azofaifo					

Criterios técnicos para el diseño y evaluación de cárcavas

		CÓRDOBA					
		1401	1402	1403	1404	1405	1406
		Pedroches	La Sierra	Campaña Baja	Las Colonias	Campaña Alta	Penibética
<i>Adenocarpus decorticans</i>	Rascaveja		x	x			
<i>Adenocarpus telonensis</i>	Escobón prieto					x	x
<i>Arbutus unedo</i>	Madroño	x	x	x	x	x	x
<i>Asparagus albus</i>	Espaguera amarguera	x	x			x	x
<i>Berberis vulgaris</i> subsp. <i>australis</i>	Agracejo		x	x		x	x
<i>Buxus sempervirens</i>	Boj	x	x	x	x	x	x
<i>Calicotome intermedia</i>	Erguén						
<i>Calicotome villosa</i>	Erguén			x	x		
<i>Chamaerops humilis</i>	Palmito	x	x	x	x	x	x
<i>Cistus albidus</i>	Jara estepa	x	x	x	x	x	x
<i>Cistus ladanifer</i>	Jara pingosa	x	x	x	x	x	x
<i>Cistus monspeliensis</i>	Jaguarzo	x	x	x	x	x	x
<i>Coriaria myrtifolia</i>	Emborrachacabras	x	x	x	x	x	x
<i>Corylus avellana</i>	Avellano		x	x		x	x
<i>Crataegus monogyna</i>	Majuelo	x	x	x	x	x	x
<i>Cytisus grandiflorus</i>	Escobón	x	x	x	x	x	x
<i>Cytisus multiflorus</i>	Escobón blanco	x	x	x	x		
<i>Cytisus scoparius</i>	Retama de escobas	x	x	x	x	x	x
<i>Erica arborea</i>	Brezo						
<i>Erica australis</i>	Brezo colorado	x	x	x	x		
<i>Erica scoparia</i>	Brezo de escobas			x	x		
<i>Hedera helix</i>	Hiedra	x	x	x	x	x	x
<i>Jasminum fruticans</i>	Jazmín de monte	x	x	x	x	x	x
<i>Juniperus oxycedrus</i>	Enebro	x	x	x	x	x	x
<i>Juniperus phoenicea</i>	Sabina	x	x	x	x	x	x
<i>Lavandula stoechas</i>	Cantueso	x	x	x	x	x	x
<i>Lonicera implexa</i>	Madreselva	x	x	x	x	x	x
<i>Lonicera periclymenum</i>	Madreselva	x	x	x	x	x	x
<i>Lycium europaeum</i>	Cambrón	x	x	x	x	x	x
<i>Maytenus senegalensis</i> subsp. <i>europaea</i>	Arto						
<i>Myrtus communis</i>	Arrayán	x	x	x	x	x	x
<i>Nerium oleander</i>	Adelfa	x	x	x	x	x	x
<i>Phyllirea angustifolia</i>	Labiérnago	x	x	x	x	x	x
<i>Phyllirea latifolia</i>	Labiérnago	x	x	x	x		
<i>Phlomis purpurea</i>	Matagallos	x	x	x	x	x	x
<i>Pistacia lentiscus</i>	Lentisco	x	x	x	x	x	x
<i>Pistacia terebinthus</i>	Cornicabra	x	x	x	x	x	x
<i>Prunus spinosa</i>	Endrino	x	x	x	x	x	x
<i>Punica granatum</i>	Granado	x	x	x	x	x	x
<i>Quercus coccifera</i>	Coscoja	x	x	x	x	x	x
<i>Retama monosperma</i>	Retama blanca			x	x		
<i>Retama sphaerocarpa</i>	Retama amarilla	x	x	x	x	x	x
<i>Rhamnus alaternus</i>	Aladierno	x	x	x	x	x	x
<i>Rhamnus lycioides</i> subsp. <i>lycioides</i>	Espino negro		x	x		x	x
<i>Rhamnus lycioides</i> subsp. <i>oleoides</i>	Espino negro			x	x		
<i>Rosa canina</i>	Rosal silvestre	x	x	x	x	x	x
<i>Rosa sempervirens</i>	Rosa mosqueta		x	x	x	x	x
<i>Rosmarinus officinalis</i>	Romero	x	x	x	x	x	x
<i>Rubus ulmifolius</i>	Zarza	x	x	x	x	x	x
<i>Salix</i> spp.	Mimbreras	x	x	x	x	x	x
<i>Sambucus nigra</i>	Saúco	x	x	x	x	x	x
<i>Spartium junceum</i>	Retama de olor	x	x	x	x	x	x
<i>Tamarix africana</i>	Taraje	x	x	x	x	x	x
<i>Tamarix canariensis</i>	Taraje	x	x	x	x	x	x
<i>Tamarix gallica</i>	Taraje	x	x	x	x	x	x
<i>Teline linifolia</i>	Escobón blanco	x	x	x	x	x	x
<i>Teucrium fruticans</i>	Olivilla	x	x	x	x	x	x
<i>Viburnum tinus</i>	Durillo	x	x	x	x	x	x
<i>Vitex agnus-castus</i>	Sauzgatillo	x	x	x	x	x	x
<i>Vitis vinifera</i> subsp. <i>silvestris</i>	Parra o vid silvestre	x	x	x	x	x	x
<i>Ziziphus lotus</i>	Azofafo						

		GRANADA									
		1801	1802	1803	1804	1805	1806	1807	1808	1809	1810
		De la Vega	Guadix	Baza	Huésca	Iznalloz	Montefrío	Alhama	La Costa	Las Alpujarras	Valle de Lecrín
<i>Adenocarpus decorticans</i>	Rascaveja	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Adenocarpus telonensis</i>	Escobón prieto			x	x						
<i>Arbutus unedo</i>	Madroño	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Asparagus albus</i>	Espaguera amarguera	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Berberis vulgaris</i> subsp. <i>australis</i>	Agracejo	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Buxus sempervirens</i>	Boj	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Calicotome intermedia</i>	Erguén		x			x				x	
<i>Calicotome villosa</i>	Erguén			x	x						
<i>Chamaerops humilis</i>	Palmito	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Cistus albidus</i>	Jara estepa	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Cistus ladanifer</i>	Jara pingosa	x	x	x	x	x	x	x		x	x
<i>Cistus monspeliensis</i>	Jaguarzo	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Coriaria myrtifolia</i>	Emborrachacabras	x	x	x	x	x	x	x			
<i>Corylus avellana</i>	Avellano	x	x	x	x	x	x	x			
<i>Crataegus monogyna</i>	Majuelo	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Cytisus grandiflorus</i>	Escobón	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Cytisus multiflorus</i>	Escobón blanco	x	x	x	x	x		x	x	x	x
<i>Cytisus scoparius</i>	Retama de escobas	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Erica arborea</i>	Brezo										
<i>Erica australis</i>	Brezo colorado										
<i>Erica scoparia</i>	Brezo de escobas			x	x						
<i>Hedera helix</i>	Hiedra	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Jasminum fruticans</i>	Jazmín de monte	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Juniperus oxycedrus</i>	Enebro	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Juniperus phoenicea</i>	Sabina	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Lavandula stoechas</i>	Cantueso	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Lonicera implexa</i>	Madreselva	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Lonicera periclymenum</i>	Madreselva	x	x	x	x	x	x	x			
<i>Lycium europaeum</i>	Cambrón	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Maytenus senegalensis</i> subsp. <i>europaea</i>	Arto		x			x				x	
<i>Myrtus communis</i>	Arrayán	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Nerium oleander</i>	Adelfa	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Phyllirea angustifolia</i>	Labiérnago	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Phyllirea latifolia</i>	Labiérnago										
<i>Phlomis purpurea</i>	Matagallos	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Pistacia lentiscus</i>	Lentisco	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Pistacia terebinthus</i>	Cornicabra	x	x	x	x	x	x	x			
<i>Prunus spinosa</i>	Endrino	x	x	x	x	x	x	x			
<i>Punica granatum</i>	Granado	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Quercus coccifera</i>	Coscoja	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Retama monosperma</i>	Retama blanca	x	x	x	x	x		x	x	x	x
<i>Retama sphaerocarpa</i>	Retama amarilla	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Rhamnus alaternus</i>	Aladierno	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Rhamnus lycioides</i> subsp. <i>lycioides</i>	Espino negro	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Rhamnus lycioides</i> subsp. <i>oleoides</i>	Espino negro		x	x	x	x				x	
<i>Rosa canina</i>	Rosal silvestre	x	x	x	x	x	x	x			
<i>Rosa sempervirens</i>	Rosa mosqueta	x	x	x	x	x	x	x			
<i>Rosmarinus officinalis</i>	Romero	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Rubus ulmifolius</i>	Zarza	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Salix</i> spp.	Mimbreras	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Sambucus nigra</i>	Sáuco	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Spartium junceum</i>	Retama de olor	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Tamarix africana</i>	Taraje	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Tamarix canariensis</i>	Taraje	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Tamarix gallica</i>	Taraje	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Teline linifolia</i>	Escobón blanco	x	x	x	x	x	x	x			
<i>Teucrium fruticans</i>	Olivila	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Viburnum tinus</i>	Durillo	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Vitex agnus-castus</i>	Sauzgatillo	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Vitis vinifera</i> subsp. <i>silvestris</i>	Para o vid silvestre	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Ziziphus lotus</i>	Azofafo		x			x				x	

		HUELVA					
		2101	2102	2103	2104	2105	2106
		Sierra	Andévalo Occidental	Andévalo Oriental	Costa	Condado Campiña	Condado Litoral
<i>Adenocarpus decorticans</i>	Rascavieja						
<i>Adenocarpus telonensis</i>	Escobón prieto						
<i>Arbutus unedo</i>	Madroño	x	x	x	x	x	x
<i>Asparagus albus</i>	Espaguera amarguera	x	x	x	x	x	
<i>Berberis vulgaris</i> subsp. <i>australis</i>	Agracejo	x	x	x	x	x	
<i>Buxus sempervirens</i>	Boj	x	x	x	x	x	x
<i>Calicotome intermedia</i>	Erguén						
<i>Calicotome villosa</i>	Erguén	x	x	x	x	x	x
<i>Chamaerops humilis</i>	Palmito	x	x	x	x	x	x
<i>Cistus albidus</i>	Jara estepa	x	x	x	x	x	x
<i>Cistus ladanifer</i>	Jara pingosa	x	x	x	x	x	x
<i>Cistus monspeliensis</i>	Jaguarzo	x	x	x	x	x	x
<i>Coriaria myrtifolia</i>	Emborrachacabras						
<i>Corylus avellana</i>	Avellano	x	x	x	x	x	
<i>Crataegus monogyna</i>	Majuelo	x	x	x	x	x	x
<i>Cytisus grandiflorus</i>	Escobón	x	x	x	x	x	x
<i>Cytisus multiflorus</i>	Escobón blanco	x	x	x	x	x	
<i>Cytisus scoparius</i>	Retama de escobas	x					
<i>Erica arborea</i>	Brezo	x	x	x	x	x	
<i>Erica australis</i>	Brezo colorado	x	x	x	x	x	
<i>Erica scoparia</i>	Brezo de escobas		x	x	x	x	x
<i>Hedera helix</i>	Hiedra	x	x	x	x	x	x
<i>Jasminum fruticans</i>	Jazmín de monte	x	x	x	x	x	x
<i>Juniperus oxycedrus</i>	Enebro	x	x	x	x	x	x
<i>Juniperus phoenicea</i>	Sabina	x	x	x	x	x	x
<i>Lavandula stoechas</i>	Cantueso	x	x	x	x	x	x
<i>Lonicera implexa</i>	Madreselva	x	x	x	x	x	x
<i>Lonicera periclymenum</i>	Madreselva	x	x	x	x	x	x
<i>Lycium europaeum</i>	Cambrón	x	x	x	x	x	x
<i>Maytenus senegalensis</i> subsp. <i>europaea</i>	Arto						
<i>Myrtus communis</i>	Arrayán	x	x	x	x	x	x
<i>Nerium oleander</i>	Adelfa	x	x	x	x	x	x
<i>Phyllirea angustifolia</i>	Labiérnago	x	x	x	x	x	x
<i>Phyllirea latifolia</i>	Labiérnago	x	x	x	x	x	
<i>Phlomis purpurea</i>	Matagallos	x	x	x	x	x	x
<i>Pistacia lentiscus</i>	Lentisco	x	x	x	x	x	x
<i>Pistacia terebinthus</i>	Cornicabra	x					
<i>Prunus spinosa</i>	Endrino	x	x	x	x	x	
<i>Punica granatum</i>	Granado	x	x	x	x	x	x
<i>Quercus coccifera</i>	Coscoja	x	x	x	x	x	x
<i>Retama monosperma</i>	Retama blanca		x	x	x	x	x
<i>Retama sphaerocarpa</i>	Retama amarilla	x	x	x	x	x	x
<i>Rhamnus alaternus</i>	Aladierno	x	x	x	x	x	x
<i>Rhamnus lycioides</i> subsp. <i>lycioides</i>	Espino negro						
<i>Rhamnus lycioides</i> subsp. <i>oleoides</i>	Espino negro	x	x	x	x	x	x
<i>Rosa canina</i>	Rosal silvestre	x	x	x	x	x	x
<i>Rosa sempervirens</i>	Rosa mosqueta	x	x	x	x	x	x
<i>Rosmarinus officinalis</i>	Romero	x	x	x	x	x	x
<i>Rubus ulmifolius</i>	Zarza	x	x	x	x	x	x
<i>Salix</i> spp.	Mimbreras	x	x	x	x	x	x
<i>Sambucus nigra</i>	Sáuco	x	x	x	x	x	x
<i>Spartium junceum</i>	Retama de olor	x	x	x	x	x	x
<i>Tamarix africana</i>	Taraje	x	x	x	x	x	x
<i>Tamarix canariensis</i>	Taraje	x	x	x	x	x	x
<i>Tamarix gallica</i>	Taraje	x	x	x	x	x	x
<i>Teline linifolia</i>	Escobón blanco	x	x	x	x	x	x
<i>Teucrium fruticans</i>	Olivilla	x	x	x	x	x	x
<i>Viburnum tinus</i>	Durillo	x	x	x	x	x	x
<i>Vitex agnus-castus</i>	Sauzgatillo	x	x	x	x	x	x
<i>Vitis vinifera</i> subsp. <i>sylvestris</i>	Parra o vid silvestre	x	x	x	x	x	x
<i>Ziziphus lotus</i>	Azofaifo						

		JAÉN								
		2301	2302	2303	2304	2305	2306	2307	2308	2309
		Sierra Morena	El Condado	Sierra de Segura	Campaña Norte	La Loma	Campaña del Sur	Mágina	Sierra de Cazorla	Sierra Sur
<i>Adenocarpus decorticans</i>	Rascavieja	x		x	x	x	x	x	x	x
<i>Adenocarpus telonenis</i>	Escobón prieto			x					x	
<i>Arbutus unedo</i>	Madroño	x	x		x	x	x	x	x	x
<i>Asparagus albus</i>	Espaguera amarguera	x		x	x	x	x	x	x	x
<i>Berberis vulgaris</i> subsp. <i>australis</i>	Agracejo	x		x	x	x	x	x	x	x
<i>Buxus sempervirens</i>	Boj	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Calicotome intermedia</i>	Erguén									
<i>Calicotome villosa</i>	Erguén			x					x	
<i>Chamaerops humilis</i>	Palmito	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Cistus albidus</i>	Jara estepa	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Cistus ladanifer</i>	Jara pringosa	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Cistus monspeliensis</i>	Jaguarzo	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Coriaria myrtifolia</i>	Emborrachacabras	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Corylus avellana</i>	Avellano	x		x	x	x	x	x	x	x
<i>Crataegus monogyna</i>	Majuelo	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Cytisus grandiflorus</i>	Escobón	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Cytisus multiflorus</i>	Escobón blanco	x	x	x		x		x	x	
<i>Cytisus scoparius</i>	Retama de escobas	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Erica arborea</i>	Brezo									
<i>Erica australis</i>	Brezo colorado	x	x	x		x		x	x	
<i>Erica scoparia</i>	Brezo de escobas			x					x	
<i>Hedera helix</i>	Hiedra	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Jasminum fruticans</i>	Jazmin de monte	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Juniperus oxycedrus</i>	Enebro	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Juniperus phoenicea</i>	Sabina	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Lavandula stoechas</i>	Cartueso	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Lonicera implexa</i>	Madreselva	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Lonicera periclymenum</i>	Madreselva	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Lycium europaeum</i>	Cambrón	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Maytenus senegalensis</i> subsp. <i>europaea</i>	Arto									
<i>Myrtus communis</i>	Arrayán	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Nerium oleander</i>	Adelfa	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Phyllirea angustifolia</i>	Labiérnago	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Phyllirea latifolia</i>	Labiérnago	x	x	x		x		x	x	
<i>Phlomis purpurea</i>	Matagallos	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Pistacia lentiscus</i>	Lentisco	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Pistacia terebinthus</i>	Cornicabra	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Prunus spinosa</i>	Endrino	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Punica granatum</i>	Granado	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Quercus coccifera</i>	Coscoja	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Retama monosperma</i>	Retama blanca									
<i>Retama sphaerocarpa</i>	Retama amarilla	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Rhamnus alaternus</i>	Aladierno	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Rhamnus lycioides</i> subsp. <i>lycioides</i>	Espino negro	x		x	x	x	x	x	x	x
<i>Rhamnus lycioides</i> subsp. <i>oleoides</i>	Espino negro			x					x	
<i>Rosa canina</i>	Rosal silvestre	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Rosa sempervirens</i>	Rosa mosqueta	x		x	x	x	x	x	x	x
<i>Rosmarinus officinalis</i>	Romero	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Rubus ulmifolius</i>	Zarza	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Salix</i> spp.	Mimbreras	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Sambucus nigra</i>	Saúco	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Spartium junceum</i>	Retama de olor	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Tamarix africana</i>	Taraje	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Tamarix canariensis</i>	Taraje	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Tamarix gallica</i>	Taraje	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Teline linifolia</i>	Escobón blanco	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Teucrium fruticans</i>	Olivilla	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Viburnum tinus</i>	Durillo	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Vitex agnus-castus</i>	Sauzgatillo	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Vitis vinifera</i> subsp. <i>sylvestris</i>	Parra o vid silvestre	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Ziziphus lotus</i>	Azofaifo									



## Criterios técnicos para el diseño y evaluación de cárcavas

		MÁLAGA			
		2901	2902	2903	2904
		Norte o Antequera	Serranía de Ronda	Centro-Sur o Guadalhorce	Vélez-Málaga
<i>Adenocarpus decorticans</i>	Rascaveja	x	x	x	x
<i>Adenocarpus telonensis</i>	Escobón prieto		x	x	
<i>Arbutus unedo</i>	Madroño	x	x	x	x
<i>Asparagus albus</i>	Espaguera amarguera	x	x	x	x
<i>Berberis vulgaris</i> subsp. <i>australis</i>	Agracejo	x	x	x	x
<i>Buxus sempervirens</i>	Boj	x	x	x	x
<i>Calicotome intermedia</i>	Erguén				
<i>Calicotome villosa</i>	Erguén	x	x	x	
<i>Chamaerops humilis</i>	Palmito	x	x	x	x
<i>Cistus albidus</i>	Jara estepa	x	x	x	x
<i>Cistus ladanifer</i>	Jara pingosa	x	x	x	
<i>Cistus monspeliensis</i>	Jaguarzo	x	x	x	x
<i>Coriaria myrtifolia</i>	Emborrachacabras	x			
<i>Corylus avellana</i>	Avellano	x	x	x	
<i>Crataegus monogyna</i>	Majuelo	x	x	x	x
<i>Cytisus grandiflorus</i>	Escobón	x	x	x	x
<i>Cytisus multiflorus</i>	Escobón blanco	x	x	x	x
<i>Cytisus scoparius</i>	Retama de escobas	x	x	x	x
<i>Erica arborea</i>	Brezo		x	x	
<i>Erica australis</i>	Brezo colorado		x	x	
<i>Erica scoparia</i>	Brezo de escobas	x	x	x	
<i>Hedera helix</i>	Hiedra	x	x	x	x
<i>Jasminum fruticans</i>	Jazmín de monte	x	x	x	x
<i>Juniperus oxycedrus</i>	Enebro	x	x	x	
<i>Juniperus phoenicea</i>	Sabina	x	x	x	x
<i>Lavandula stoechas</i>	Cantueso	x	x	x	x
<i>Lonicera implexa</i>	Madreselva	x	x	x	x
<i>Lonicera periclymenum</i>	Madreselva	x	x	x	
<i>Lycium europaeum</i>	Cambrón	x	x	x	x
<i>Maytenus senegalensis</i> subsp. <i>europaea</i>	Arto				
<i>Myrtus communis</i>	Arrayán	x	x	x	x
<i>Nerium oleander</i>	Adelfa	x	x	x	x
<i>Phyllirea angustifolia</i>	Labiérnago	x	x	x	x
<i>Phyllirea latifolia</i>	Labiérnago		x	x	
<i>Phlomis purpurea</i>	Matagallos	x	x	x	x
<i>Pistacia lentiscus</i>	Lentisco	x	x	x	x
<i>Pistacia terebinthus</i>	Cornicabra	x			
<i>Prunus spinosa</i>	Endrino	x	x	x	
<i>Punica granatum</i>	Granado	x	x	x	x
<i>Quercus coccifera</i>	Coscoja	x	x	x	x
<i>Retama monosperma</i>	Retama blanca	x		x	x
<i>Retama sphaerocarpa</i>	Retama amarilla	x	x	x	x
<i>Rhamnus alaternus</i>	Aladierno	x	x	x	x
<i>Rhamnus lycioides</i> subsp. <i>lycioides</i>	Espino negro	x		x	x
<i>Rhamnus lycioides</i> subsp. <i>oleoides</i>	Espino negro	x	x	x	
<i>Rosa canina</i>	Rosal silvestre	x	x	x	
<i>Rosa sempervirens</i>	Rosa mosqueta	x	x	x	
<i>Rosmarinus officinalis</i>	Romero	x	x	x	x
<i>Rubus ulmifolius</i>	Zarza	x	x	x	x
<i>Salix</i> spp.	Mimbreras	x	x	x	x
<i>Sambucus nigra</i>	Sauco	x	x	x	x
<i>Spartium junceum</i>	Retama de olor	x	x	x	x
<i>Tamarix africana</i>	Taraje	x	x	x	x
<i>Tamarix canariensis</i>	Taraje	x	x	x	x
<i>Tamarix gallica</i>	Taraje	x	x	x	x
<i>Teline linifolia</i>	Escobón blanco	x	x	x	
<i>Teucrium fruticans</i>	Olivilla	x	x	x	x
<i>Viburnum tinus</i>	Durillo	x	x	x	x
<i>Vitex agnus-castus</i>	Sauzgatillo	x	x	x	x
<i>Vitis vinifera</i> subsp. <i>sylvestris</i>	Parra o vid silvestre	x	x	x	x
<i>Ziziphus lotus</i>	Azofaño				

		SEVILLA						
		4101	4102	4103	4104	4105	4106	4107
		La Sierra Norte	La Vega	El Aljarafe	Las Marismas	La Campiña	La Sierra Sur	De Estepa
Adenocarpus decorticans	Rascavieja		x				x	x
Adenocarpus telonenis	Escobón prieto							
Arbutus unedo	Madroño	x	x	x	x	x	x	x
Asparagus albus	Espaguera amarguera	x	x				x	x
Berberis vulgaris subsp. australis	Agracejo	x	x				x	x
Buxus sempervirens	Boj	x	x	x	x	x	x	x
Calicotome intermedia	Erguén							
Calicotome villosa	Erguén	x	x	x	x	x		
Chamaerops humilis	Palmito	x	x	x	x	x	x	x
Cistus albidus	Jara estepa	x	x	x	x	x	x	x
Cistus ladanifer	Jara pringosa	x	x	x	x	x	x	x
Cistus monspeliensis	Jaguarzo	x	x	x	x	x	x	x
Coriaria myrtifolia	Emborrhacacabras	x	x				x	x
Corylus avellana	Avellano	x	x				x	x
Crataegus monogyna	Majuelo	x	x	x	x	x	x	x
Cytisus grandiflorus	Escobón	x	x	x	x	x	x	x
Cytisus multiflorus	Escobón blanco	x	x			x	x	x
Cytisus scoparius	Retama de escobas	x	x			x	x	x
Erica arborea	Brezo	x						
Erica australis	Brezo colorado	x	x			x		
Erica scoparia	Brezo de escobas	x	x	x	x	x		
Hedera helix	Hiedra	x	x	x	x	x	x	x
Jasminum fruticans	Jazmin de monte	x	x	x	x	x	x	x
Juniperus oxycedrus	Enebro	x	x	x	x	x	x	x
Juniperus phoenicea	Sabina	x	x	x	x	x	x	x
Lavandula stoechas	Cantueso	x	x	x	x	x	x	x
Lonicera implexa	Madreselva	x	x			x	x	x
Lonicera periclymenum	Madreselva	x	x	x	x	x	x	x
Lycium europaeum	Cambrón	x	x	x	x	x	x	x
Myrtus senegalensis subsp. europaea	Arto							
Myrtus communis	Arrayán	x	x	x	x	x	x	x
Nerium oleander	Adelfa	x	x	x	x	x	x	x
Phyllirea angustifolia	Labiérnago	x	x	x	x	x	x	x
Phyllirea latifolia	Labiérnago	x	x			x		
Phlomis purpurea	Matagallos	x	x	x	x	x	x	x
Pistacia lentiscus	Lentisco	x	x	x	x	x	x	x
Pistacia terebinthus	Cornicabra	x	x			x	x	x
Prunus spinosa	Endrino	x	x			x	x	x
Punica granatum	Granado	x	x	x	x	x	x	x
Quercus coccifera	Coscoja	x	x	x	x	x	x	x
Retama monosperma	Retama blanca	x	x	x	x	x	x	x
Retama sphaerocarpa	Retama amarilla	x	x	x	x	x	x	x
Rhamnus alaternus	Aladierno	x	x	x	x	x	x	x
Rhamnus lycioides subsp. lycioides	Espino negro		x				x	x
Rhamnus lycioides subsp. oleoides	Espino negro	x	x	x	x	x		
Rosa canina	Rosal silvestre	x	x	x	x	x	x	x
Rosa sempervirens	Rosa mosqueta	x	x	x	x	x	x	x
Rosmarinus officinalis	Romero	x	x	x	x	x	x	x
Rubus ulmifolius	Zarza	x	x	x	x	x	x	x
Salix spp.	Mimbreras	x	x	x	x	x	x	x
Sambucus nigra	Sauco	x	x	x	x	x	x	x
Spartium junceum	Retama de olor	x	x	x	x	x	x	x
Tamarix africana	Taraje	x	x	x	x	x	x	x
Tamarix canariensis	Taraje	x	x	x	x	x	x	x
Tamarix gallica	Taraje	x	x	x	x	x	x	x
Teline linifolia	Escobón blanco	x	x	x	x	x	x	x
Teucrium fruticans	Olivilla	x	x	x	x	x	x	x
Viburnum tinus	Durillo	x	x	x	x	x	x	x
Vitex agnus-castus	Sauzgatillo	x	x	x	x	x	x	x
Vitis vinifera subsp. sylvestris	Parra o vid silvestre	x	x	x	x	x	x	x
Ziziphus lotus	Azofaifo							

