

Proyectos de I+D+i  
2012-2014



# MANUAL DE TÉCNICAS DE ESTABILIZACIÓN BIOTÉCNICA EN TALUDES DE INFRAESTRUCTURAS DE OBRA CIVIL



Universidad de Córdoba.

Instituto de Agricultura Sostenible, CSIC.

Paisajes del Sur SL/ Bonterra Ibérica, SL



Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía  
CONSEJERÍA DE FOMENTO Y VIVIENDA

Unión Europea

Fondo Europeo  
de Desarrollo Regional







© Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía. Consejería Fomento y Vivienda. Junta de Andalucía. 2014

Universidad de Córdoba. Departamentos de Agronomía e Ingeniería Rural  
Instituto de Agricultura Sostenible, CSIC. Departamentos de Agronomía y Protección Vegetal  
Paisajes del Sur SL/ Bonterra Ibérica, SL

**Dirección Facultativa**

Luis Ramajo Rodríguez

**Dirección Científica/investigador Principal.**

Juan Vicente Giráldez

**Equipo de redacción**

Rafael Madrid

Abraham Rodríguez

Valentín Contreras

Juan Vicente Giráldez

Blanca Landa

Encarnación V. Taguas

Antonio Viedma

Tom Vanwallegem

José Alfonso Gómez

Córdoba, 2014



<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>7</b>
<b>1.1. ¿Cómo afecta la erosión a los taludes de infraestructuras lineales? .....</b>	<b>7</b>
<b>1.2. Aspectos ambientales de la erosión. ....</b>	<b>7</b>
<b>1.3. Objetivos.....</b>	<b>11</b>
<b>2. PROCESOS DE ALTERACIÓN DE TALUDES. ....</b>	<b>11</b>
<b>2.1. Formas erosivas.....</b>	<b>12</b>
<b>2.2. Medida y estimación de la erosión.....</b>	<b>13</b>
<b>3. NORMAS GENERALES DE CONSERVACIÓN. ....</b>	<b>15</b>
<b>3.1. Principios de conservación de suelos y aguas.....</b>	<b>15</b>
<b>3.2. Función de la planta en la estabilización y el control de la erosión de taludes.....</b>	<b>16</b>
<b>4. CRITERIOS DE DISEÑO Y MÉTODOS GENERALES.....</b>	<b>17</b>
<b>4.1. Mejora de las condiciones del suelo.....</b>	<b>17</b>
<b>4.2. Sistemas de cobertura destinados a la protección de taludes. ....</b>	<b>19</b>
<b>4.3. Modificación del perfil del terreno.....</b>	<b>24</b>
<b>4.4. Técnicas de Bioingeniería y estabilización biotécnica para el control de la erosión y la protección de taludes. ....</b>	<b>27</b>
<b>5. ANÁLISIS ECONÓMICO SENCILLO.....</b>	<b>30</b>
<b>6. REVISIÓN DE CASOS PRÁCTICOS.....</b>	<b>33</b>
<b>6.1. Desmontes sin suelo desarrollado .....</b>	<b>33</b>
<b>6.2. Suelo granular con muy poca cohesión en pendientes inclinadas y laderas prolongadas .....</b>	<b>36</b>
<b>6.3. Desmontes con materiales calizos y yesíferos de tamaño fino en zonas de baja precipitación anual.....</b>	<b>39</b>
<b>6.4. Desmontes con materiales finos que pueden provocar deslizamientos .....</b>	<b>41</b>
<b>6.5. Corrección de cárcavas .....</b>	<b>41</b>
<b>7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PARA LA TOMA DE DECISIONES .....</b>	<b>45</b>
<b>8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>46</b>
<b>9. ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>48</b>
<b>10. ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>49</b>
<b>11. ANEXOS .....</b>	<b>50</b>
<b>Anexo I. Visión Global del Proyecto “Estabilización Biotécnica de Taludes: Optimización de Tratamientos en Proyectos de restauración paisajística de Infraestructuras viarias de Andalucía”.....</b>	<b>50</b>
<b>Anexo II. Mapa de toma de decisiones. ....</b>	<b>56</b>



## 1. INTRODUCCIÓN.

Las estructuras viarias, al modificar las condiciones naturales del terreno, para suavizar trazado y pendiente, generan unos desmontes y terraplenes que dejan superficies de suelo o roca desprotegidos y con gran riesgo de erosión. Este manual parte de los resultados del proyecto “*Estabilización biotécnica de taludes: optimización de tratamientos en proyectos de restauración paisajística de infraestructuras viarias en Andalucía*”, desarrollado para la Consejería de Fomento y Vivienda, y subvencionado con fondos FEDER pretende mostrar un conjunto de criterios básicos con ejemplos de aplicación para ayudar a los profesionales en la toma de decisiones para el control de erosión desde la fase de diseño hasta la ejecución de actuaciones en obra civil.

### 1.1. ¿Cómo afecta la erosión a los taludes de infraestructuras lineales?

#### ○ Pérdidas de suelo.

La erosión provoca una pérdida de suelo de los taludes -ya sean terraplenes o desmontes- que ocasionan graves problemas ambientales y estructurales. A medida que esta erosión aumenta, crecen las dificultades para la restauración y el mantenimiento del talud.

#### ○ Producción de sedimentos.

Los sedimentos que arrastra el agua hasta el pie de los taludes pueden provocar:

- Un aumento del coste de mantenimiento de cunetas y márgenes de carreteras, incluyendo las reparaciones en zonas aledañas afectadas.
- La dispersión de contaminantes, procedentes de los gases de combustión de los vehículos (plomo, óxidos de nitrógeno...) que se depositan sobre los taludes y contaminan las aguas superficiales.
- Problemas de seguridad vial por reducir la capacidad de desagüe de cunetas y alcantarillas por lo que el agua y los sedimentos pueden ocupar la calzada.

#### ○ Deterioro del talud.

Igualmente, el aumento de la presión del agua en los poros del suelo o material poroso que constituye el talud puede inducir deslizamientos o, alternativamente, se pueden generar regueros y cárcavas que deterioran al mismo.

### 1.2. Aspectos ambientales de la erosión.



La erosión potencial en una zona determinada, depende principalmente de cuatro factores: *las características del suelo, la cubierta vegetal, la topografía, y el clima* (Tabla 1).

Principales factores que influyen en la erosión	Características del suelo	Distribución de tamaño de partículas (textura)
		Contenido de materia orgánica
		Estructura
		Permeabilidad
	Cubierta vegetal (beneficios que proporciona con respecto a la erosión)	Protección de la superficie del suelo del impacto de las gotas de agua
		Incremento de la resistencia del suelo al esfuerzo de corte de la escorrentía gracias a las raíces
		Mejora de la capacidad de infiltración del suelo
		Aumento de la rugosidad hidráulica que disminuye la velocidad de la escorrentía
		Menor humedad del suelo por la transpiración de las plantas
	Topografía	Pendiente
		Forma
		Longitud
	Clima	Frecuencia de ocurrencia de chubascos
Intensidad de la lluvia		
Duración de los chubascos		

Tabla 1. Factores que influyen en la erosión.

■ **Características del suelo**

En la ejecución de infraestructuras de transporte se retira la capa de suelo que dificulta la formación de la explanada que contendrá la plataforma de la infraestructura. Aunque la práctica exigida es que este suelo se retire, acopie y después se intente verter sobre los taludes y zonas alteradas, en ocasiones este proceso degrada su calidad o no es posible verterlo en la totalidad de las zonas alteradas. En el caso de los terraplenes, en los que se utilizan rellenos de características específicas (Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes, PG-3), no se pueden utilizar materiales de relleno que contengan más de un 2% de materia orgánica y un 1% de sales solubles. Esto implica que se usa un suelo pobre en nutrientes. Esta deficiencia se agrava con la posterior compactación que reduce su capacidad

de infiltración e incrementa la escorrentía superficial, con lo que es más difícil establecer la vegetación.

En los taludes formados por desmontes, al formarse por excavación se deja al descubierto rocas más o menos meteorizadas que son prácticamente inertes.

■ **Clima**

Es una característica externa a la actuación sobre la que no se tiene control y que influye de forma desigual. Así, en los climas húmedos es más común que se produzcan problemas de estabilidad gravitacional, deslizamientos de ladera. En cambio, en el clima semiárido propio de la mitad sureste de España se reciben chubascos menos frecuentes, de corta duración y gran intensidad que provocan una erosión hídrica bastante severa. También ocurren episodios periódicos de sequía que dificultan el establecimiento de la vegetación debido al déficit hídrico.

■ **Topografía**

El problema fundamental de conservación que plantea la geometría de los taludes es la pendiente, en menor medida, la longitud. A mayor pendiente mayor es el riesgo de erosión así como la dificultad para su revegetación. También la orientación de la pendiente ejerce una gran influencia causando importantes diferencias entre solanas y umbrías.

■ **Cobertura vegetal**

La cobertura vegetal actúa como una capa protectora entre los agentes atmosféricos y el suelo atenuando sus efectos, entre ellos la erosión. Los tallos y hojas disipan parte de la energía de la lluvia y del agua que fluye por la superficie por interceptación, de modo que su efecto es menor. Los sistemas radicales, contribuyen a aumentar la resistencia del suelo y su cohesión.

De esta forma, la eficacia de la cubierta en relación con la lluvia, dependerá fundamentalmente de la superficie de suelo cubierto y de la densidad de la vegetación (número de plantas por unidad de superficie) y su altura.

Además, la cubierta vegetal aumenta la aspereza de la superficie, como se puede observar en la Tabla 2, con lo que al reducir la velocidad del flujo de escorrentía disminuye también su energía en la superficie del talud.

<i>Uso del suelo o cobertura</i>	<i>Valor del coeficiente n de Manning</i>
Suelo desnudo: aspereza aleatoria	
< 25 mm	0.010 – 0.030
25 - 50 mm	0.014 – 0.033
50 - 100 mm	0.023 – 0.038
> 100 mm	0.045 – 0.049
Césped, de espaciada a buena cobertura muy corta	0.015 – 0.040

Corta	0.030 – 0.060
Media	0.030 – 0.085
Larga	0.040 – 0.150
muy larga	0.060 – 0.200
Césped con cobertura densa	0.300 – 0.480
Otras formaciones herbáceas densas	0.390 – 0.630
Herbáceas densas formando macollas	0.150
Lespedeza	0.100
Pastos naturales	0.100 – 0.320
Pastos segados	0.020 – 0.240
Malhojo o mulch de paja de trigo	
2,5 t/ha	0.050 – 0.060
5,0 t/ha	0.075 – 0.150
7,5 t/ha	0.100 – 0.200
10,0 t/ha	0.130 – 0.250
Cañas de maíz picadas	
2,5 t/ha	0.012 – 0.050
5,0 t/ha	0.020 – 0.075
10,0 t/ha	0.023 – 0.130
Algodón	0.070 – 0.090
Trigo	0.100 – 0.300
Sorgo	0.040 – 0.110
Hormigón o asfalto	0.010 – 0.013
Cubierta de grava	0.012 – 0.030
Suelo labrado con arado cincel ( <i>chisel</i> )	
residuos < 0,6 t/ha	0.008 – 0.410
residuos 0,6 – 2,5 t/ha	0.100 – 0.250
residuos 2,5 - 7,5 t/ha	0.140 – 0.530
No laboreo	
residuos < 0,6 t/ha	0.030 – 0.070
residuos 0,6 – 2,5 t/ha	0.010 – 0.130
residuos 2,5 - 7,5 t/ha	0.160 – 0.470
Suelo desnudo labrado con vertedera	0.020 – 0.100
Suelo desnudo con pase de cultivador	0.050 – 0.130

Tabla 2. Valores del coeficiente de resistencia de Manning según Petryk y Bosmajian (1975), Temple (1982), y Engman (1986). A mayores valores de resistencia, menor velocidad del agua que fluye por la superficie y menor erosión.

La cobertura mejora el comportamiento del talud frente a los movimientos de masas debido a la cohesión que le proporcionan al suelo las raíces, especialmente de arbustos y árboles. Las raíces finas, aumentan la resistencia

del suelo por la adherencia de sus partículas a ellas. Las gramíneas, leguminosas y arbustos pueden reforzar el suelo hasta profundidades de 1 m, mientras que los árboles pueden llegar a reforzar a profundidades superiores a 3 m.

Debido a lo importante que es conseguir una buena cobertura en los taludes de carreteras para un buen control de la erosión, se proponen técnicas de bioingeniería, como mantas orgánicas, y malhojo (normalmente se usa el término inglés mulch), en las situaciones en las que difícilmente se conseguiría cobertura únicamente con vegetación por lo escarpado del relieve y la ausencia de las mínimas condiciones edáficas necesarias para el desarrollo de la misma.

### 1.3. Objetivos.

La Ley 8/2001 de Carreteras de Andalucía, introduce la figura de Proyecto de Restauración Paisajística y hace hincapié en que la zona adyacente a la carretera (perteneciente a la zona de dominio público) “...deberá quedar debidamente integrada en su medio natural, mediante la implantación de las correspondientes actuaciones de restauración paisajística”. Y en el art. 31 concreta: “El proyecto de restauración paisajística se utilizará para la ejecución de la revegetación del dominio público viario y de su entorno” y “contendrá el diseño completo de la adecuación paisajística y de determinadas medidas correctoras de carácter medioambiental de la ejecución de obras de carreteras”.

Por ello el objetivo de este manual es una revisión de las principales técnicas de *estabilización biotécnica y bioingeniería del suelo* aplicadas al control de la erosión en los taludes de los márgenes de las infraestructuras lineales, con especial énfasis en los ejecutados en desmante al ser la situación más desfavorable, y en la que es más difícil conseguir que prospere la vegetación.

Todo el manual se articula alrededor de los resultados del Proyecto G-GI3000/IDIS, Estabilización biotécnica de taludes: optimización de tratamientos en proyectos de restauración paisajística de infraestructuras viarias en Andalucía desarrollado durante los años 2012-2014 en el que se han evaluado diferentes alternativas en taludes de infraestructuras en Andalucía. Su propósito es orientar a técnicos con diversos ejemplos.

## 2. PROCESOS DE ALTERACIÓN DE TALUDES.

Para comprender como se produce la alteración de los taludes, y cómo pueden evolucionar ante diferentes estrategias de restauración, es necesario conocer cómo actúan sobre ellos los procesos erosivos.

## 2.1. Formas erosivas.

De manera genérica, la erosión del suelo consiste en la pérdida de sus partículas por fragmentación y arranque, con el posterior desplazamiento aguas abajo, por efecto del agua, el viento, la gravedad y el laboreo agrícola o asociado a la ingeniería civil.



Figura 1. Deslizamiento en una carretera.

Entre los diferentes procesos cabe citar:

- ***Erosión por salpicadura.***  
Producida por el impacto de las gotas de lluvia al caer sobre la superficie, lo que compacta el interior del cráter y corta los bordes. La capacidad de infiltración disminuye en el centro de los cráteres, y la acumulación de los fragmentos generados por el esfuerzo cortante lateral da lugar a una costra que impide el paso posterior del agua hacia el interior del suelo.
- ***Erosión laminar.***  
Es el resultado de la erosión causada por el conjunto de los impactos de gotas, que actúan de forma difusa y el transporte por una delgada lámina de agua de escorrentía a largo de toda la superficie del suelo.
- ***Erosión por regueros o cárcavas.***  
Cuando las gotas de agua que no se infiltran se congregan y circulan por superficie de manera concentrada suele aumentar el esfuerzo de corte en el fondo de los pequeños canales o regueros, pudiendo dar lugar a cárcavas de mayor tamaño.

- ***Deslizamientos o movimientos en masa.***

Cuando la presión intersticial del agua en el talud, presión neutra, reduce la resistencia por fricción al esfuerzo cortante se inician deslizamientos en masa en que parte del suelo se va ladera abajo.

## **2.2. Medida y estimación de la erosión.**

Aun siendo ampliamente reconocida su importancia, en muchas ocasiones no existe una información precisa sobre la magnitud de la misma, por lo que se introducen brevemente los métodos disponibles.

### **2.2.1. Medidas de la erosión.**

- ***Agujas de erosión***

El uso de referencias artificiales tales como varillas o estacas, permite conocer la pérdida o depósito de suelo en un punto, a través de la variación en la altura de suelo respecto a un nivel de referencia fijado a las mismas. Este método puede ofrecer una referencia aproximada, especialmente en situaciones de erosión intensa. No obstante presenta entre sus dificultades la escasa precisión y el riesgo de pérdida de las propias agujas o, peor aún, distorsión inadvertida de la medida, por vandalismo. Son medidas adecuadas en caso de que necesitemos una estimación del orden de magnitud de la erosión y se disponga de pocos recursos para realizar estas medidas.

- ***Parcelas de erosión***

Las parcelas de erosión permiten estimar la producción de sedimentos en superficies pequeñas cuyos datos podrían extrapolarse a superficies más extensas aunque siempre a escala de ladera. Son medidas basadas en tecnologías robustas pero que conllevan un elevado coste de ejecución debido a su mantenimiento. Son medidas que se recomendarían en situaciones en las que se disponga de suficientes recursos y sea muy importante determinar la erosión con la mayor precisión posible.

- ***Trazadores y evaluación de huellas de tipo diverso***

Los trazadores de sedimento son sustancias añadidas o presentes en el suelo, que por su fácil identificación permiten inferir el movimiento de sus partículas. Estas medidas serían las recomendadas en caso de que nuestro principal objetivo sea determinar los procesos por los que se mueve, deposita y vuelve a movilizar el sedimento a lo largo del talud.

En el caso de huellas, *fingerprinting*, se miden algunas características de los suelos de las distintas zonas de la cuenca o área de descarga, que representan los desplazamientos del suelo de las mismas. Estas medidas permiten determinar el origen del sedimento a lo largo del talud o a diferentes profundidades de suelo en el mismo. En todo caso ambas técnicas son relativamente sofisticadas (y caras), y sólo se recomiendan en caso de que se necesite la procedencia del sedimento y su posterior evolución.

### 2.2.2. Predicción de la erosión mediante modelos. Ecuación universal de la pérdida de suelo.

Una alternativa para una estimación de la erosión cuando no se pueden efectuar medidas es el uso de modelos predictivos. En todo caso la fiabilidad de las predicciones de estos modelos dependen de la rigurosidad es su aplicación y en especial de evaluar en su calibración que se están empleado los parámetros más cercanos a las condiciones de nuestro talud, y que no se está empleando en condiciones para las que no ha sido diseñado ni evaluado. El más usado de los modelos de erosión en ladera (o taludes) es la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo. Una explicación detallada de la aplicación de este modelo a zonas restauradas o en obras civiles se puede encontrar en Toy y Foster (1998), y una sucinta revisión en castellano de Gómez y Fereres (2004).

Se trata de una ecuación empírica desarrollada por el USDA (Departamento de Agricultura del gobierno federal de los EEUU) a finales de la década de los cincuenta, aunque la calibración de cada uno de sus parámetros se basa en variables cuantificables. Este método fue desarrollado en principio para predecir la pérdida media de suelo en zonas agrícolas al este de las Montañas Rocosas. En los años siguientes fue modificado y adaptado para otras regiones de Estados Unidos, incluso para zonas urbanas incluyendo obras de ingeniería civil (Toy y Foster, 1998).

Su objetivo es relacionar la pérdida media de suelo por erosión hídrica en función de los factores erosivos que son similares a los factores de formación de suelo reconocidos por Jenny (1941). La pérdida media de suelo de una parcela se expresa como el producto de los diferentes factores:

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$$

**A** es la pérdida de suelo promedio anual por unidad de superficie, que se mide en toneladas por hectárea y año,  $t \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ .

**R** es el factor agresividad de la lluvia o erosividad. Es función de la energía cinética de la lluvia. Se mide con un índice EI que para cada chubasco es el producto de su energía total (E) por la máxima intensidad en 30 minutos (I).

**K** es el factor erodibilidad o susceptibilidad del suelo a ser desprendido y arrastrado. Es la pérdida de suelo por unidad EI para unas condiciones patrón de los otros factores.

**L** y **S** caracterizan el relieve del terreno, longitud y ángulo de inclinación, respectivamente. La longitud es la máxima distancia que puede recorrer el flujo de escorrentía en la ladera.

**C** es el factor que refleja la cubierta o condición de la superficie del suelo, incluyendo en ella la vegetación y sus restos.

**P** es el factor de protección debido a prácticas de conservación como: barreras vivas, cultivo en terrazas, bancales, etc.

### 2.2.3. Estimación de la erosión por síntomas.

En muchas ocasiones sólo es posible hacer una estimación de la intensidad de la erosión en base a un reconocimiento visual. Aunque aproximado, se trata de una

evaluación que siempre es recomendable y que puede ser de gran utilidad. En el reconocimiento de los taludes (desmontes, principalmente) que se realice, durante la fase de construcción o una vez finalizada, será de gran utilidad la comprobación periódica del estado y grado de erosión, mediante un conjunto de síntomas los que se asigna un valor tal como muestra la Tabla 3:

Código	Indicadores
0	Raíces de árboles o plantas no expuestas; sin costra superficial ni pedestales por salpicadura; más del 70% con cobertura vegetal, próxima al suelo y aérea.
½	Ligera exposición de raíces de árboles o plantas; poca costra superficial; sin pedestales por salpicadura; nivel del suelo ligeramente más elevado pendiente arriba o a barlovento de las plantas y rocas; cobertura vegetal del 30-70%.
1	Exposición de raíces de árboles o plantas, formación de pedestales por salpicadura, montículos de suelo cubiertos con vegetación, con profundidades de 1-10 mm; ligera costra superficial; cobertura vegetal del 30-70%.
2	Exposición de raíces de árboles, pedestales por salpicadura y profundidad de montículo de suelo de 1-5 cm; costra superficial; cubierta vegetal del 30-70%.
3	Exposición de raíces de árboles, pedestales por salpicadura y montículos de suelo de 5-10 cm; costra superficial de 2-5 mm de espesor; hierba embarrada por lavado y volcada pendiente abajo; arrastre de materiales gruesos por el agua y el viento; cobertura vegetal inferior al 30%.
4	Exposición de raíces de árboles, pedestales por salpicadura y montículos de suelo de 5-10 cm de profundidad; arrastre de materiales gruesos; regueros hasta 8 cm de profundidad; suelo desnudo.
5	Cárcavas o regueros con más de 8 cm de profundidad; arrastres por viento y dunas; suelo desnudo.

Tabla 3. Indicadores de estimación de la erosión, adaptados de Morgan (1997).

### 3. NORMAS GENERALES DE CONSERVACIÓN.

Para ilustrar los fundamentos de la conservación del suelo y del agua se exponen de forma sucinta unos principios.

#### 3.1. Principios de conservación de suelos y aguas.

En el momento de plantear una *estrategia* de conservación (prácticas agronómicas, manipulación del suelo o métodos mecánicos) se han de tener en cuenta unos *principios de conservación de suelos y aguas*, que se enumeran en la Tabla 4. Toda actuación se debe guiar por estos principios, tratando de adoptar todos ellos en la medida de nuestras posibilidades y las condiciones particulares de la obra.



### Principios de conservación de suelos y aguas:

1. Ajustar cualquier modificación que se haga del terreno, lo máximo posible al mismo.
2. Organizar dicha modificación de tal modo que la exposición del suelo se reduzca al mínimo, mediante estabilizaciones graduales u otros mecanismos.
3. Retener la vegetación natural siempre que sea posible.
4. Cubrir con vegetación y malhojo o mulchlas superficies desnudas.
5. Desviar la escorrentía de las zonas de suelo descubierto, para no provocar erosión.
6. Reducir al mínimo posible la longitud e inclinación de las laderas.
7. Mantener baja la velocidad del flujo de escorrentía.
8. Preparar cauces revestidos, desagües, y embalses para conducir la escorrentía concentrada o aumentada, conservando el agua en lo posible.
9. Atrapar el sedimento producido lo más próximo posible a su lugar de origen.
10. Inspeccionar periódicamente y mantener las medidas de conservación.

Tabla 4. Principios básicos de conservación de suelo y agua. (Goldman y col, 1986).

Diferentes situaciones darán lugar a la necesidad de adoptar diferentes soluciones. Para ello se adjunta en el Anexo 2 de este manual un diagrama de flujo que ayude a la toma de decisiones identificando los factores clave en el control de erosión en cada situación.

## **3.2. Función de la planta en la estabilización y el control de la erosión de taludes.**

La vegetación ejerce una gran influencia sobre la estabilidad superficial de los taludes, además de representar mejoras de diversidad biológica y paisajística. Esto sugiere la adopción de la vegetación siempre que sea posible entre las medidas de estabilización y control en taludes. Todos estos efectos, o beneficios, de la protección de la vegetación dependen de las condiciones particulares de cada talud y, sobre todo, de su implantación efectiva.

En situaciones de clima árido y semiárido se produce una situación paradójica. Por un lado una cubierta densa de plantas herbáceas, proporciona una de las mejores protecciones contra la lluvia y la erosión eólica, llegando a reducir casi por completo la pérdida de suelo. Sin embargo, en condiciones mediterráneas, la supervivencia de plantas herbáceas en periodos secos es mucho más complicada que la de plantas leñosas. Estas últimas proporcionan un menor número de plantas por unidad de superficie, pero exploran un mayor volumen del suelo lo cual facilita su supervivencia a medio y largo plazo. Un diseño ideal debería ser aquel que permita combinar ambos tipos de vegetación, en especial durante los primeros años en los que la vegetación leñosa es de menor porte, aunque esto no es fácil. La Tabla 5 recoge los beneficios de la vegetación:

<b>INFLUENCIA EN LA EROSIÓN SUPERFICIAL</b>	Protección mecánica	El follaje y los residuos de las plantas disipan la energía de la lluvia y previenen la separación de las partículas del suelo por salpicadura.
	Refuerzo biomecánica del suelo en profundidad	Las raíces retienen las partículas del suelo aumentando su resistencia a la erosión laminar y, sobre todo, al flujo concentrado.
	Retención	El follaje y los tallos incrementan la aspereza del terreno, disminuyendo la velocidad de la escorrentía.
	Infiltración	Las plantas y otros residuos ayudan a mantener la porosidad y permeabilidad del suelo, retrasando el comienzo de la escorrentía.
<b>INFLUENCIA EN LA ESTABILIDAD DEL TALUD</b>	Refuerzo de las raíces	Las raíces refuerzan mecánicamente el suelo transfiriendo la tensión de corte del suelo a una resistencia a tracción sobre ellas.
	Disminución de la humedad del suelo	La transpiración y la interceptación por el follaje, puede reducir la humedad y limitar el aumento de una presión de poro positiva.
	Refuerzo	Los tallos pueden actuar como pilotes de refuerzo o apeo, o los contrafuertes de un arco, para contener las fuerzas de corte.
	Sobrecarga	El peso de la vegetación puede, en algunas circunstancias, incrementar la presión de confinamiento de la capa de deslizamiento del talud.

*Tabla 5. Beneficios de la vegetación respecto a la erosión y la estabilidad.*

#### **4. CRITERIOS DE DISEÑO Y MÉTODOS GENERALES.**

A continuación se describen brevemente diferentes técnicas y métodos para control de la erosión en taludes, y dentro de cada uno de ellos algunos criterios elementales.

##### **4.1. Mejora de las condiciones del suelo.**

Debido a la baja fertilidad de los taludes, resulta conveniente el uso de prácticas que mejoren la capacidad del suelo para que las plantas puedan colonizarlo, teniendo en cuenta que son técnicas que habitualmente se usan como complemento de otras, como pueden ser la hidrosiembra (Figura 2), las mantas orgánicas, y las plantaciones.



Figura 2. Aplicación de hidrosiembra sobre un desmonte.

a. ***Aporte y extendido de tierra vegetal o sustratos artificiales.***

La mezcla de productos orgánicos e inorgánicos, diseñada especialmente para tratamientos de taludes se extiende con un espesor de 20 a 30 cm incluyendo, o no, algún sistema que permita fijarla sobre ellos.

b. ***Fertilizantes.***

Se recomiendan *fertilizantes inorgánicos* que mejoran las proporciones de nitrógeno, fósforo, potasio y nutrientes orgánicos, así como enmiendas orgánicas, que incrementan la materia orgánica y favorecen las propiedades físicas del suelo, (estiércol, compost, lodos de estaciones depuradoras, etc.) que mejoran, además, las propiedades físicas del suelo aumentando su capacidad de retención de agua y desarrollando su estructura. En general se prefieren las enmiendas orgánicas.

c. ***Productos acondicionadores, absorbentes y estabilizantes.***

Estos mejoran la absorción y retención del agua para que se libere lentamente cuando la planta la necesite. Se usan ácidos fúlvicos y húmicos así como estabilizantes químicos.

- ***Ácidos fúlvicos y húmicos.***

Los ácidos fúlvicos son un conjunto de componentes de la fracción orgánica del suelo, fácilmente dispersables en agua capaces de flocular en condiciones de pH y concentración de soluciones de cationes no alcalinos. Los ácidos húmicos, otro grupo de componentes de la fracción orgánica, son generalmente insolubles en agua y disolventes no polares, pero con facilidad para dispersarse en soluciones acuosas de pH alcalino.

Ambos grupos de ácidos mejoran las características del suelo, favoreciendo la absorción de nutrientes, la retención y evacuación del agua, y la actividad radical.

Se pueden aplicar en el riego o como componentes de la mezcla empleada en la hidrosiembra.

- **Estabilizantes**

Son productos químicos, naturales o sintéticos, que mejoran las propiedades físicas del suelo.

Incluidos en las hidrosiembras, reducen la pérdida de agua por evaporación, protegen a las semillas para facilitar su germinación y, al descomponerse liberan elementos nutritivos útiles para las plantas.

Se aplican a dosis entre 8-12 gm<sup>-2</sup>. Los *estabilizantes sintéticos*, son polímeros líquidos combinados con agentes de humidificación, secadores, etc. Se descomponen por oxidación con el oxígeno de la atmósfera, el calor y la radiación UV y se transforman en C, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O u otras sustancias no dañinas para el medio ambiente. Incrementan la cohesión entre las partículas finas, mejoran la porosidad del suelo, disminuyen las pérdidas y mejoran la infiltración del agua en el suelo.

Para la aplicación de estas técnicas se necesita maquinaria para mezclarlas de forma uniforme con el suelo salvo las que pueden incorporaren la hidrosiembra. Su aplicación dependerá de las características de la maquinaria disponible.

## 4.2. Sistemas de cobertura destinados a la protección de taludes.

Son sistemas o productos que ayudan a la revegetación de taludes con características desfavorables, como puede ser una gran pendiente o suelos extremadamente degradados. Aumentan la aspereza de la superficie del suelo para mitigar la erosión.

### a. *Mulching (acolchado).*

El mulching, en castellano malhojo o acolchado, consiste en crear una cobertura del suelo con distintos materiales, orgánicos o inorgánicos. El *mulch inorgánico* puede estar formado por rocas volcánicas, caucho reciclado o algunos geotextiles. Este material no se descompone con facilidad, aunque si mejora la estructura del suelo.

En cambio, el *mulch orgánico*, formado por una gran variedad de compuestos como los rastrojos de cosechas, paja, cañas de maíz, hojas o cortezas de árboles, astillas o virutas de madera, puede mejorar la calidad del suelo al descomponerse.

La cubierta protege del impacto de las gotas de lluvia y reduce la velocidad de la escorrentía, al tiempo que reduce la temperatura del suelo y conserva su humedad.

Esta técnica está contraindicada para taludes con grandes pendientes o muy desprotegidos si no se incluye algún sistema auxiliar que lo fije e impida que el viento, la pendiente o un aguacero desplacen el material hacia el pie de los mismos.

Una variante es la *hidromanta o hidromulch*, que es una mezcla de fibras, como madera, paja, y otros con un estabilizante proyectados sobre el talud con hidrosebradora que permite la correcta fijación de la mezcla al terreno. Ésta actúa como una capa protectora, manteniendo las semillas en contacto

con el suelo y preservando a la superficie de los agentes erosivos, evitando la lixiviación de aditivos. Atenúa los valores extremos de temperatura y redistribuye el agua recogida por las plántulas en periodos de estrés hídrico reduciendo así la intensidad de la evaporación del agua en el suelo.

### b. *Plantación vegetal en barrera*

Un método muy efectivo es el uso de barreras vegetales perpendiculares a la línea de máxima pendiente. Para ello se deben utilizar especies perennes, capaces de adaptarse a las condiciones del talud incluida capacidad de producción de biomasa. Se debe prestar atención a que estas plantas estén autorizadas evitando el uso de especies exóticas sin verificar previamente con los servicios correspondientes para evitar la introducción de una especie invasora.

En numerosos lugares de Asia y Sudamérica hay ejemplos de uso de estas barreras con vetiver (*Chrysopogon zizanioides*).

Esta planta es una gramínea perenne y unas raíces finas y compactas que pueden llegar a los 3 m de profundidad creando una masa radical muy ramificada y esponjosa, y es capaz de soportar sequías relativamente prolongadas. Se suele plantar en los taludes en hileras separadas siguiendo las curvas de nivel de la pendiente. Con el tiempo, los sedimentos arrastrados por la escorrentía, se acumulan sobre la barrera de las plantadillo que conduce a una terraza natural que constituye un filtro de contaminantes y nutrientes, como muestra la Figura 3.

Para una correcta disposición, la distancia entre barreras vegetales puede establecerse con los criterios de la Tabla 5. En ella se ve que, para diferentes pendientes, la distancia que hay entre hileras para una distancia vertical de 1 m.

En la práctica, se estima que una distancia vertical entre hileras de 2 m es adecuada. Conviene prestar atención al hecho de que estas barreras vegetales deben ser lo suficientemente densas para que la escorrentía no pueda atravesarlas formando un reguero. Esta densidad depende del diámetro de tronco de la planta usada, pero en general oscila entre varios cientos de plantas por m<sup>2</sup>, si se trata de herbáceas, a un mínimo de 10 por m<sup>2</sup> si se trata de leñosas con un diámetro de tronco superior a 3 cm.

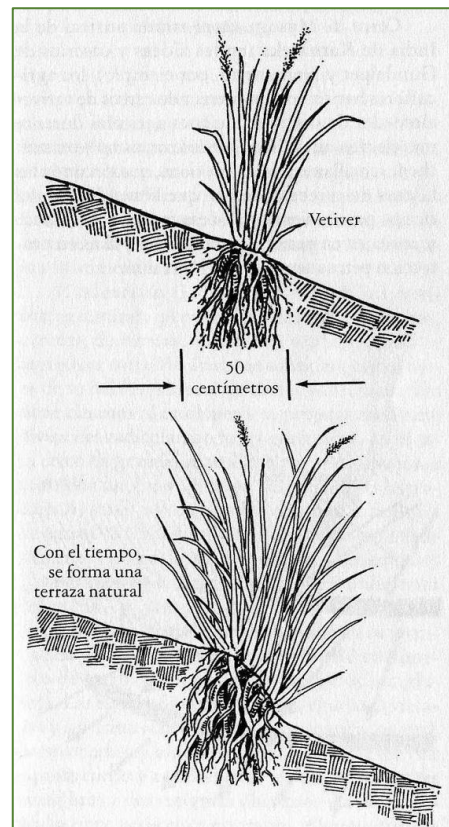


Figura 3. Formación de terraza natural con Vetiver (de Alegre 2007).

Pendiente		Distancia entre hileras, <i>en verdadera magnitud</i> (m)
Grados	%	
1	1.7	57.3
2	3.5	28.7
3	5.3	19.1
4	7.0	14.3
5	8.8	11.5
10	17.6	5.8
15	27.0	4.0
20	36.4	3.0
25	46.1	2.4
30	57.7	2.0
35	70.0	1.7
40	84.0	1,6
45	100.	1.4

Tabla 6. Distancia entre bandas de cultivo para las diferentes pendientes, tomadas de Alegre (2007).

### c. Mantas orgánicas.

Son materiales relacionados con los geotextiles, constituidos por un entrecosido de mallas y fibras naturales (fibra de coco, yute, paja, esparto...) o sintéticas. Se utilizan para el control de la erosión superficial, como soporte de suelos, de siembras o hidrosiembra, ayudando a mejorar el establecimiento y enraizamiento vegetal.

Se recomienda el uso de mantas con mallas y fibras más degradables (como las de paja) en superficies con problemas de erosión ligeros y de cierta facilidad para la implantación vegetal; mallas y fibras duraderas como las de coco, esparto u otras, en pendientes muy acentuadas, con grandes riesgos de erosión y de gran dificultad para restauración vegetal; y las de mezcla de mallas y fibras duraderas y degradables(coco y paja), en terrenos con riesgo medio de erosión y situaciones intermedias de dificultad para la implantación vegetal.

Existen en el mercado mantas orgánicas con mallas reforzadas, tridimensionales, cosidas a otros geotextiles o geomallas, e incluso con semillas incorporadas.

### d. Mallas o redes orgánicas.

Al igual que las mantas, son productos formados por fibras naturales o sintéticas en los que, por definición, la superficie de los huecos con respecto

a los hilos que conforman la malla es proporcionalmente mayor que en las mantas.

Se utilizan como refuerzo de otros productos geotécnicos, como pueden ser las mantas, o en terrenos con materiales de granulometría gruesa como gravas o pizarras, (Figura 4). La Figura 5 muestra un esquema de instalación de manta y malla orgánica en un talud.

El uso de mantas y mallas orgánicas en combinación con otras técnicas de bioingeniería como las empalizadas, las estacas vivas o los lechos de ramas es bastante habitual.



Figura 4. Instalación de una malla orgánica en un talud.

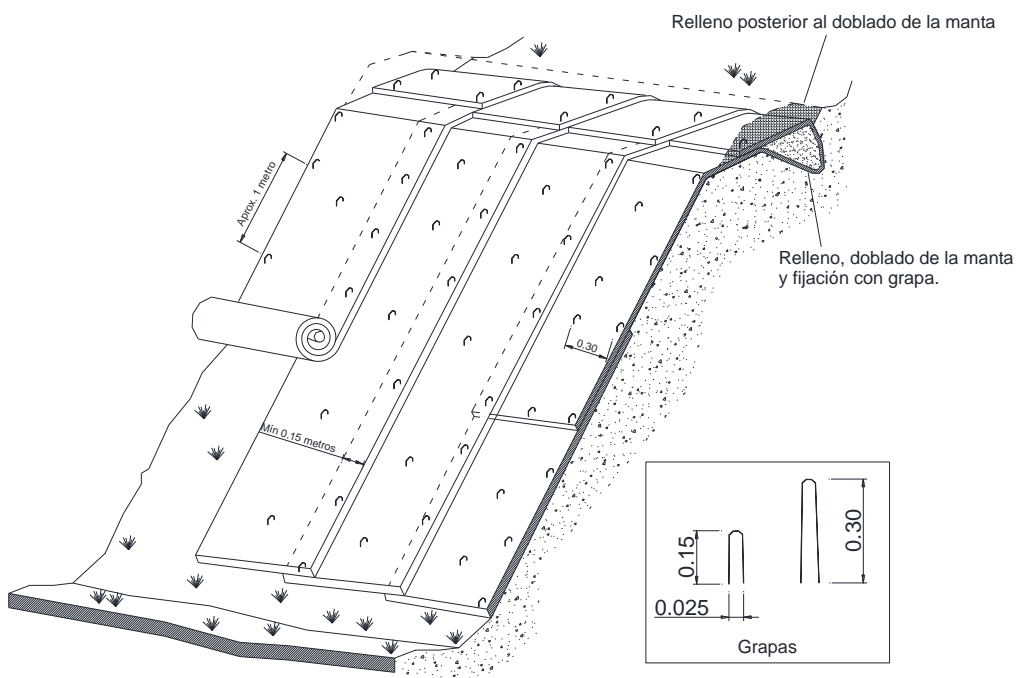


Figura 5. Instalación de mallas o mantas orgánicas.

e. *Geoceldas.*

Son un sistema de confinamiento celular de elementos geosintéticos tridimensionales formados por una estructura alveolar de tiras de poliéster, polietileno o polipropileno de alta densidad, perforadas para facilitar el movimiento lateral de las partículas de suelo o agregados, Figura 6.

El sistema de cavidades o alveolos permite retener materiales o incorporar diversos tipos y cantidades de suelos en función de la altura de las celdas. El sistema de fabricación de las geoceldas, la densidad de celdas por metro cuadrado y el uso de tendones, permite su refuerzo y el uso en fuertes pendientes. De esta forma las celdas constituyen un espacio estable que permite el desarrollo de la vegetación.

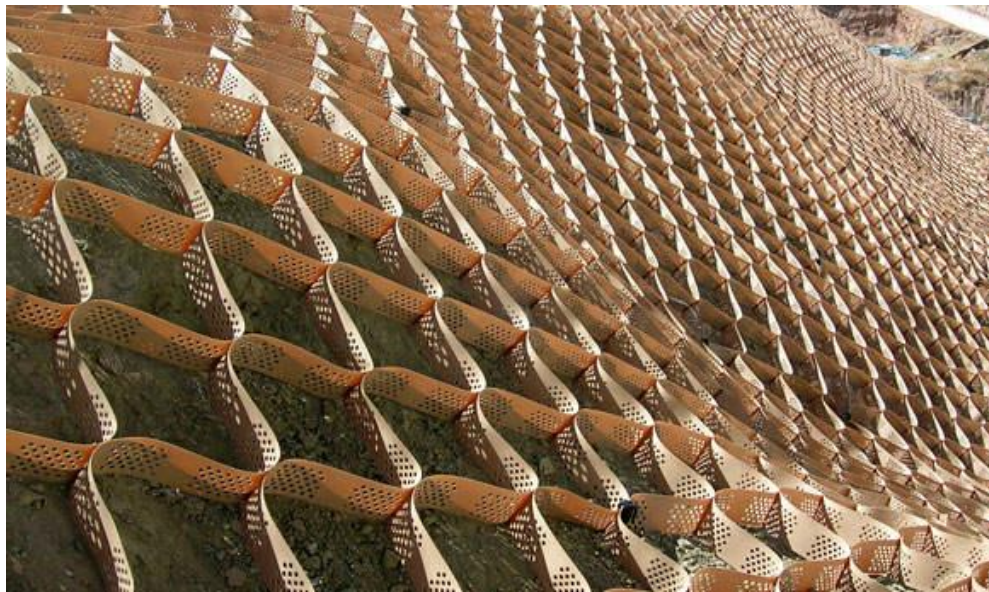


Figura 6. Detalle de una geocelda.

f. *Geomallas volumétricas.*

Son sistemas tridimensionales formados por varias mallas termosoldadas a los que se les aplica tratamientos para resistir las radiaciones ultravioleta. Se pueden usar en grandes pendientes, por lo que está indicado para desmontes, donde no sea posible aportar suelo para mejorar el substrato. Se adoptan también en combinación con otras técnicas de bioingeniería como las estacas vivas o los lechos de ramas.





Figura 7. Instalación de una malla volumétrica.

### 4.3. Modificación del perfil del terreno

En este apartado se describen algunos métodos mecánicos, que modifican la geometría del talud para controlar el movimiento del agua, reduciendo la velocidad de la escorrentía y con ella el esfuerzo cortante sobre la superficie del suelo, y aumentar el almacenamiento de agua en los horizontes superficiales del mismo.

Se pueden considerar unas pautas como paso previo a la aplicación de otras técnicas o como *“buenas prácticas”* a emplear durante la construcción de la vía. Con ellas se llegan a reducir, e incluso eliminar dependiendo de la situación, los costes de los tratamientos posteriores para el mantenimiento o estabilización del talud.

- El perfil del talud puede suavizarse, para darle una apariencia más natural y facilitar el asentamiento de la vegetación siempre que ello no suponga una mayor afección a zonas de valor natural, por el incremento que suponen de superficie ocupada.
- Ejecución de una zanja transversal interceptora de la escorrentía.
- Formación de una, o varias, pequeña bermas o terrazas para reducir la energía de la escorrentía.
- Realizar un adecuado acopio del suelo original retirado en la fase de desbroce, durante del movimiento de tierras, extendiéndolo posteriormente sobre las superficies de taludes y áreas afectadas
- Evitar superficies planas, excesivamente refinadas por la maquinaria, dejando rugosidades que retengan la tierra vegetal y las semillas.

Es muy posible que estas *“buenas prácticas”* no resuelvan por sí solas el problema, aunque su uso contribuye a aumentar la eficacia de cualquier técnica adicional que se

aplique. En este caso se ha de recurrir a otras técnicas para mejorar la estabilización y reducir la erosión del talud, como pueden ser:

*a. Terrazas (o bermas)*

Las terrazas son taludes contruidos perpendicularmente a la línea de máxima pendiente del talud para interceptar la escorrentía superficial, reducir la longitud de la pendiente (terrazas de drenaje), cuando es necesario conservar el agua (terrazas de absorción), cuando se necesita cultivar en taludes de gran pendiente (bancales), o cuando la elevada longitud y pendiente del talud de obra civil sugiere su necesidad para poder tener un control efectivo de la erosión y la escorrentía.

En el ámbito de los taludes de carreteras, se puede utilizar esta técnica cuando la pendiente es muy pronunciada. Con una serie de bancales, se puede reducir la pendiente y, con ello, la energía de la escorrentía, consiguiendo un mejor almacenamiento de agua, Figura 8. Con ello se puede crear una superficie que sea más propicia para que se establezca una cobertura vegetal. Hay que tener siempre en cuenta que estas terrazas acabarán desaguando en uno de sus laterales, por lo que la zona de salida del agua debe reforzarse para evitar la formación de regueros o cárcavas.

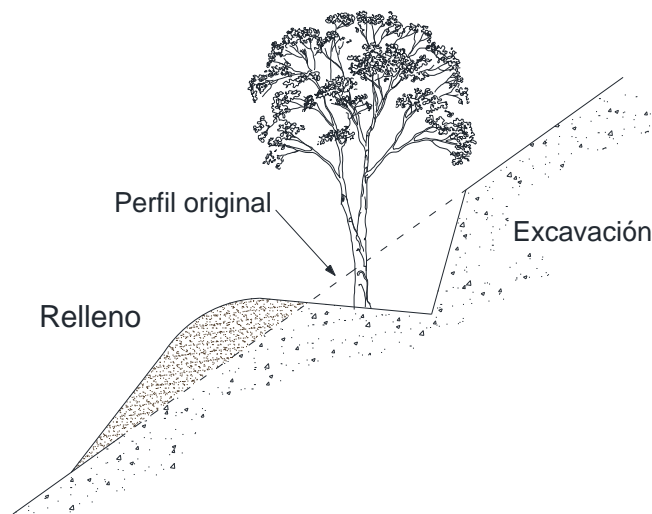


Figura 8. Detalle de ejecución de una terraza o bancal.

El espaciamiento entre terrazas se puede calcular de forma sencilla de acuerdo con el criterio de Istanbulluoglu y col. (2002) para evitar que se inicien regueros como se muestra aquí:

En condiciones estables, el caudal de escorrentía ( $q$ ) y la longitud de la pendiente ( $L$ ) se pueden relacionar con la intensidad de lluvia,  $r$ , la velocidad de infiltración,  $i$ , y el coseno del ángulo de la ladera con el horizonte,  $\theta$ , mediante la expresión

$$q = r_e L \cos \theta$$

La diferencia entre la intensidad de lluvia y la velocidad de infiltración es la intensidad del exceso de lluvia,  $r_e$ . Asimismo el esfuerzo cortante que el flujo de escorrentía ejerce

sobre el suelo,  $\tau$ , en función de la densidad del agua,  $\rho$ , la aceleración de la gravedad,  $g$ , el calado,  $h$ , y la pendiente del talud,  $S=\text{tg } \theta$ , es

$$\tau = \rho g h S$$

Expresando el caudal como producto de la velocidad media del flujo de escorrentía,  $v$ , por el calado,  $h$ , y, estimando la velocidad con la ecuación de flujo uniforme y turbulento de Manning, se deduce

$$q = r_e L \cos \theta = h v = \frac{h^{5/3} S^{1/2}}{n}$$

De ahí se extrae una relación entre el calado,  $h$ , y el caudal,  $q$

$$h = \left( \frac{r_e L n \sin \theta}{S^{1/2}} \right)^{3/5}$$

El esfuerzo cortante umbral para el inicio de la erosión,  $\tau_{*cr}$ , puede ser el valor que se usa en el transporte de sedimentos como carga de fondo,  $\tau_{*cr}=0.047$ , convertido a unidades SI, Pa, con ayuda del diámetro representativo de las partículas del suelo,  $D$ , y de la densidad sumergida específica,  $R=1.65$ , como

$$\tau_{cr} = \tau_{*cr} R \rho g D$$

Despejando la longitud,  $L$ , se obtiene la distancia máxima entre canales de desviación de la escorrentía o terrazas, con

$$L = \frac{(\tau_{*cr} R D)^{5/3}}{r_e n S^{7/6} \cos \theta}$$

A modo de ejemplo para un talud como los de Cartaya descritos en el Apéndice, para una intensidad de lluvia en una hora que cabe esperar con un periodo de retorno de 1 año,  $r=48 \text{ mm h}^{-1}$ , y suponiendo que esta lluvia no se infiltra en el talud recién formado, el exceso de lluvia será, en unidades SI,  $r_e=1.33 \cdot 10^{-5} \text{ m s}^{-1}$ , para un diámetro representativo  $D=1 \text{ mm}=10^{-3} \text{ m}$ , con un coeficiente de resistencia de Manning  $n=0.01=0.01 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ , en unidades SI, con una pendiente del 50%,  $\cos \theta=0.894$ , y  $S=0.5$ , la longitud a lo largo de la ladera entre terrazas sería  $L=2.65 \text{ m}$ .

Como se puede ver en la gráfica, para un diámetro de partícula menor,  $D = 0.5 \text{ mm}$ , la distancia es  $L = 0.836 \text{ m}$ . Mientras que para un valor mayor, como en el límite de la arena,  $D = 2 \text{ mm}$ , la distancia aumenta hasta  $L=8.43 \text{ m}$ .



Tabla 7. Un método sencillo para estimar la separación entre terrazas (Istanbulluoglu y col. 2002).

### *b. Microcuencas*

Son pequeñas depresiones formadas en el terreno, aguas arriba de la especie arbustiva o leñosa que se haya plantado en el talud, para interceptar y acumular parte de la escorrentía que escurre y mantener la humedad de la zona adyacente a la planta, con lo que se mejoran sus expectativas de crecimiento en el talud. Estas microcuencas pueden rebosar, por lo que conviene diseñarlas para controlar su desagüe. Hay que evitar, en el caso de varias microcuencas, que éstas viertan su escorrentía sobre el mismo reguero si no está bien protegido por vegetación u otro tipo de cubierta.



Figura 2. Semilunetas o pozas para conservar suelo y agua en una ladera de olivar

## **4.4. Otras técnicas de Bioingeniería y estabilización biotécnica para el control de la erosión y la protección de taludes.**

### *a. Estacas vivas o estaquillado (Live staking)*

Estaquillas o ramas de plantas leñosas con un grosor suficiente para hincarlas en el suelo y una longitud, entre 0.50–1.0 m, capaces de enraizar y desarrollarse. Sus raíces estabilizarán el suelo, reforzándolo y cohesionándolo, incrementando significativamente la resistencia al deslizamiento.

Se pueden utilizar también en combinación con una red o malla orgánica.

### *b. Fajinas vivas (fascines)*

Son estructuras cilíndricas con especies leñosas que se colocan en la dirección de las curvas de nivel del talud y se fijan a la superficie del terreno con ayuda de estacas, Figura 10. Normalmente, se colocan sobre unas zanjas de poca profundidad, practicadas a tal efecto.



Figura 3. Detalle de fajinado con biorrollos en talud.

Dependiendo de las características del talud, se pueden colocar al tresbolillo, para disminuir la longitud de escorrentía y minimizar los procesos erosivos, o darles una pequeña inclinación en los laterales para evacuar posibles excesos de agua.

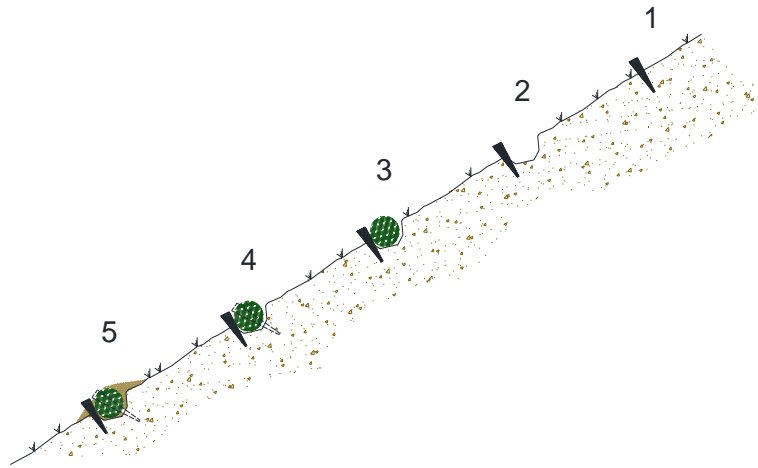


Figura 4. Fases de ejecución de fajinas vivas. Elaboración propia a partir de Morgan (1997)

Las etapas para la colocar fajinas vivas, según la Figura 11, son:

- 1) Clavado de estacas siguiendo las curvas de nivel.
- 2) Excavación de la zanja donde se colocarán los rollizos.
- 3) Colocación de las fajinas de leñosos que se calvan para fijarlas.
- 4) Relleno de las fajinas con suelo, dejando un 10-20 % sin cubrir.

### c. Biorrollos

Los biorrollos son también estructuras cilíndricas, compuestas por un saco de red de coco, polipropileno, polipropileno multifilamentado, poliéster de alta tenacidad, nylon u otras fibras, de gran resistencia a la acción del agua, que se encuentra rellena de diferentes fibras orgánicas como el coco, la paja, el esparto o fibras sintéticas como el polipropileno, que suele ser fotodegradable. Se pueden suministrar semillados, en cuyo caso, llevan en la parte posterior un papel especial que evita la pérdida de las semillas. Las dimensiones disponibles oscilan entre 0.10 y 0.50 m de diámetro y 3 o 6 m de longitud.

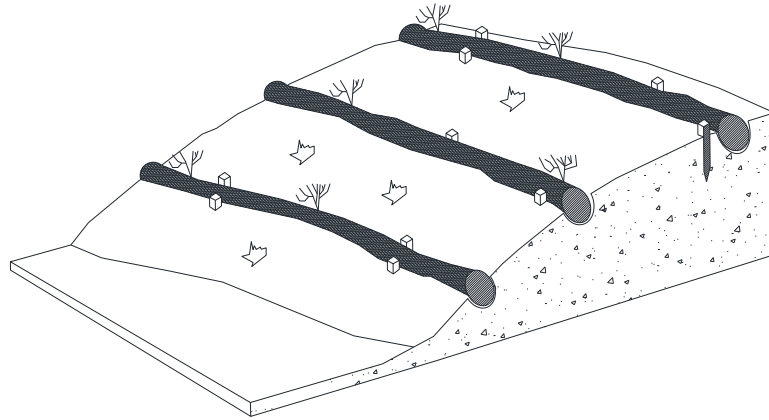


Figura 5. Perspectiva del sistema de escalonado (con matorral o biorrollos)

Se usan como alternativa al uso de fajas vivas con una instalación similar (Figura 12). Son también muy convenientes en la restauración de cárcavas y barranqueras, siendo crucial en este uso un anclaje apropiado que evite su socavación o desplazamiento por el agua de escorrentía. Tienen las ventajas de su fácil aplicación, su adaptabilidad a la instalación en zonas con pendiente, su impacto visual bajo y su fácil combinación con mantas orgánicas, favoreciendo la retención de sedimentos y la reducción de la energía de la escorrentía.

*d. Escalonado de matorral (contour brush-layering)*

Este sistema consiste en introducir en el suelo ramas verdes de arbustos o de especies leñosas, que tengan la posibilidad de enraizar, en líneas sucesivas horizontales a lo largo de las líneas de igual nivel del talud y tal y como muestra la Figura 13.

Este método se puede usar durante la construcción del talud o posteriormente a su ejecución, como un tratamiento para el control de la erosión.

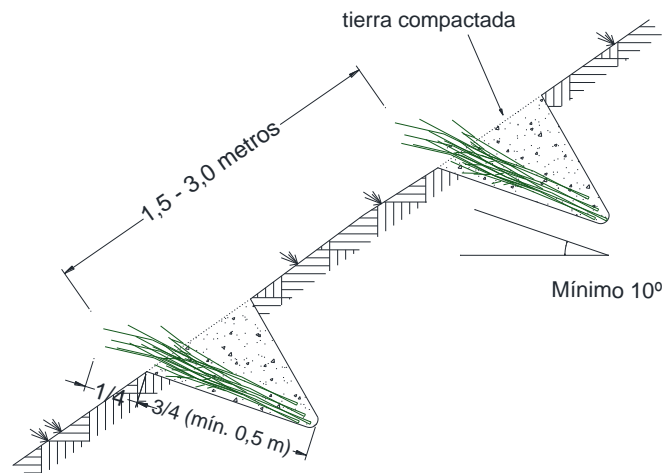


Figura 6. Detalle de la ejecución de un escalonado de matorral. Elaboración propia a partir de Grey y Leiser (1992)

## 5. ANÁLISIS ECONÓMICO SENCILLO.

Aparte del criterio técnico, toda actuación técnica se ve condicionada por el presupuesto necesario y la necesidad de su optimización. Para completar la información se incluye en la Tabla 7 un cuadro de precios a la fecha de esta redacción y a título orientativo, ya que su la aplicación práctica de estas técnicas depende de numerosos factores como: pendientes, accesibilidad, superficie a tratar, radio curvatura del talud, situación inicial del talud, nivel de acabado exigido, etc.

Se enumeran a continuación los principales sistemas o técnicas a las que se ha hecho referencia en este manual o han formado parte de los ensayos que se realizaron durante 2 años en distintos desmontes de carreteras, adscritas a la Junta de Andalucía.

Unidades	Sistema	Importe (€)/unidad
<b>MANTAS ORGÁNICAS</b>		
m <sup>2</sup>	Suministro e instalación manta orgánica 3 redes de refuerzo de esparto tipo: E3R Bonterra o similar	3,711
m <sup>2</sup>	Suministro e instalación manta orgánica 3 redes de refuerzo de coco tipo: K3R Bonterra o similar	3,601
m <sup>2</sup>	Suministro e instalación manta orgánica tridimensional de esparto tipo: E3D Bonterra o similar	4,404
m <sup>2</sup>	Suministro e instalación manta orgánica tridimensional de coco tipo: K3D Bonterra o similar	4,364
m <sup>2</sup>	Suministro e instalación manta orgánica de coco tipo: K Bonterra o similar	2,572
m <sup>2</sup>	Suministro e instalación manta orgánica de esparto tipo: E Bonterra o similar	2,739
<b>MALLA VOLUMÉTRICA</b>		
m <sup>2</sup>	Suministro e instalación malla volumétrica sintética tipo: Bontmat Bonterra o similar	7,413
<b>MALLA – RED de COCO</b>		
m <sup>2</sup>	Suministro e instalación red de coco tipo: RK4 Bonterra o similar	2,586
m <sup>2</sup>	Suministro e instalación red de coco tipo: RK7 Bonterra o similar	2,876
<b>BIORROLLOS</b>		
ml	Biorrollo esparto de 30 cm tipo: Be3 Bonterra o similar	42,723
ml	Biorrollo esparto de 15 cm tipo: BE15 Bonterra o similar	24,296
ml	Biorrollo coco de 30 cm tipo: BK3 Bonterra o similar	42,723
ml	Biorrollo coco de 15 cm tipo: BK15 Bonterra o similar	24,081
ml	Gavión flexible estructurado red de p.p. multifilamento tipo: GVGR Bonterra o similar	55,503
<b>PLANTACIONES</b>		
m <sup>2</sup>	Suministro y proyección de hidrosiembra en dos pasadas	0,769
m <sup>2</sup>	Suministro y proyección de hidromanta	1,509
m <sup>2</sup>	Suministro y proyección de tinte de roca	1,108
ud	Suministro y plantación de planta en alveolo forestal de 200 cc	2,990

	para restauración tamaño 15-30 cm	
<b>OTROS</b>		
ml	Fajinada de estacas de pino y ramas entrelazadas	22,38
km	Preparación de 1 Km. de terrazas en suelos sueltos.	172,88

Tabla 8. Precio unitario de distintos tratamientos (año de referencia 2014).

• **Descripción de las partidas valoradas:**

- Suministro e instalación manta orgánica 3 redes de refuerzo de esparto tipo: E3R Bonterra o similar.

m<sup>2</sup> de estabilización de taludes muy inclinados, mediante cobertura con manta orgánica de fibras de esparto (100%), armada con tres redes de polipropileno, solapada 10 cm y fijada al suelo con garrotas de acero corrugado dispuestas al tresbolillo. Incluso apertura de zanjas de anclaje, grapado y relleno posterior, herramientas y medios auxiliares. Semillas no incluidas. Medida la superficie ejecutada.

- Suministro e instalación manta orgánica 3 redes de refuerzo de coco tipo: K3R Bonterra o similar.

m<sup>2</sup> de estabilización de taludes muy inclinados, mediante cobertura con manta orgánica de fibras coco 100%, armada con tres redes de polipropileno, solapada 10 cm y fijada al suelo con garrotas de acero corrugado dispuestas al tresbolillo. Incluso apertura de zanjas de anclaje, grapado y relleno posterior, herramientas y medios auxiliares. Semillas no incluidas. Medida la superficie ejecutada.

- Suministro e instalación manta orgánica tridimensional de esparto tipo: E3D Bonterra o similar.

m<sup>2</sup> de estabilización de taludes muy inclinados, mediante una malla de fibra de esparto 100%, con un gramaje de 250 g/m<sup>2</sup>, reforzada y armada con dos redes de polipropileno, solapada 10 cm y fijada al suelo con garrotas de acero corrugado dispuestas al tresbolillo. Incluso apertura de zanjas de anclaje, grapado y relleno posterior, herramientas y medios auxiliares. Semillas no incluidas. Medida la superficie ejecutada.

- Suministro e instalación manta orgánica tridimensional de coco tipo: K3D Bonterra o similar.

m<sup>2</sup> de estabilización de taludes muy inclinados, mediante una malla de fibra de coco 100%, con un gramaje de 400 gm<sup>-2</sup>, reforzada y armada con dos redes de polipropileno, solapada 10 cm y fijada al suelo con garrotas de acero corrugado dispuestas al tresbolillo. Incluso apertura de zanjas de anclaje, grapado y relleno posterior, herramientas y medios auxiliares. Semillas no incluidas. Medida la superficie ejecutada.

- Suministro e instalación manta orgánica de coco tipo: K Bonterra o similar.

m<sup>2</sup> de estabilización de taludes muy inclinados, mediante cobertura con manta orgánica de fibras coco 100% de 300 gm<sup>-2</sup> de densidad más capa porta semillas más semillas 35 gm<sup>-2</sup>, armada y reforzada con doble red de polipropileno con tratamiento UV, solapada 10 cm y fijada al suelo con garrotas de acero corrugado dispuestas al tresbolillo. Incluso apertura de zanjas de anclaje, grapado y relleno posterior, herramientas y medios auxiliares. Medida la superficie ejecutada.

- Suministro e instalación manta orgánica de esparto tipo: E Bonterra o similar.

m<sup>2</sup> de estabilización de taludes muy inclinados, mediante cobertura con manta orgánica de fibras de esparto (100%), armada con doble red de polipropileno con tratamiento UV, solapada 10 cm y fijada al suelo con garrotas de acero corrugado dispuestas al



tresbolillo. Incluso apertura de zanjas de anclaje, grapado y relleno posterior, herramientas y medios auxiliares. Medida la superficie ejecutada.

- Suministro e instalación malla volumétrica sintética tipo: Bontmat Bonterra o similar.

m<sup>2</sup> de estabilización de taludes inclinados, mediante la instalación de malla volumétrica de polipropileno, formada por monofilamentos sintéticos enredados y soldados en sus puntos de contacto, solapada 10 cm y fijada al suelo con garrotas de acero corrugado dispuestas al tresbolillo. Incluso apertura de zanja de anclaje, grapado, y relleno posterior, herramientas y medios auxiliares. Medida la superficie ejecutada.

- Suministro e instalación red de coco tipo: RK4 Bonterra o similar.

m<sup>2</sup> de suministro e instalación de red de coco, tipo RK4 Bonterra o similar, formada por fibras de coco 100 %, con un gramaje de 400 gm<sup>-2</sup>, de dimensiones 2 x 50 m y 9 mm de espesor, con un tamaño de cuadrícula 35 x 35 mm, Medida la superficie ejecutada.

- Biorrollo esparto de varios diámetros tipo: Be3 Bonterra o similar.

ml de suministro y colocación de biorrollo compuesto por malla exterior de fibra de coco 100%, polipropileno multifilamento o nylon, formando una bolsa con estructura cilíndrica, rellena de fibras de esparto, de diámetros 10, 15, 20, 30, 40 o 50 cm. Incluso parte proporcional de material de fijación. Medida la longitud colocada.

- Biorrollo coco de 30 cm tipo: BK3 Bonterra o similar.

ml de suministro y colocación de biorrollo compuesto por malla exterior de fibra de coco 100%, polipropileno multifilamento o nylon, formando una bolsa con estructura cilíndrica, rellena de fibras de coco, de diámetros 10, 15, 20, 30, 40 o 50 cm. Incluso parte proporcional de material de fijación. Medida la longitud colocada.

- Suministro y proyección de hidrosiembra en dos pasadas

m<sup>2</sup> de hidrosiembra en terreno en pendiente, mediante hidrosembadora de 6.000 l, montada en un camión de 2 ejes de 12 t, sobre una superficie mayor de 1.000 m<sup>2</sup> y menor de 2.000, realizada con un primer riego a base de una mezcla de semillas de herbáceas (95 %) y de arbustos (5 %), abono mineral NPK de liberación lenta, mulch, estabilizante orgánico para suelos con hidrocoloides vegetales y retenedor de agua, tapado con segundo riego con mulch, incluidas herramientas y medios auxiliares. Medida la superficie ejecutada.

- Suministro y proyección de hidromulch o hidromanta

m<sup>2</sup> de suministro y proyección de hidromulch o hidromanta, formada por varias fibras de madera larga, junto con un estabilizante, para uso con hidrosembadora en dosis de 175 a 230 gm<sup>-2</sup>. Medida la superficie ejecutada.

- Suministro y proyección de tinte de roca

m<sup>2</sup> de suministro y proyección de tratamiento con colorante a base de óxidos, para envejecimiento de taludes rocosos y superficies de hormigón, mediante proyección hidroneumática a razón de 1 L de producto cada 60-80 m<sup>2</sup>, medida la superficie en planta ejecutada en obra.

- Suministro y plantación de planta en alveolo forestal de 200 cc para restauración tamaño 15-30 cm.

ud de suministro y plantación de planta en alveolo forestal de 200 cm<sup>3</sup> de 1 savia, de tamaños comprendidos entre 15 y 30 cm, en pendientes inferiores al 50 %, para restauración de taludes,. Incluida planta y transporte de materiales a obra, apertura de hoyo, colocación de la planta, cubrición con la tierra extraída, mezclada con abono

orgánico, creación de microcuenca y primer riego. Medida la unidad ejecutada sobre talud.

- Fajinada de estacas de pino y ramas entrelazadas (\*)

ml de fajinada formada por estacas de pino de 1 m de longitud y 8 cm de diámetro, hincados en el suelo 50 cm, entre los que se entrelazan una fajina construida con ramas, hasta formar una pantalla de 50 cm de altura, construida para reducir la escorrentía superficial. Incluso herramientas y medios auxiliares.

- Fajina viva zanja con medios mecánicos (\*\*)

ml de construcción y colocación de fajinas vivas a base de material vivo de *Salix spp*, incluyendo replanteo de la fajina sobre el terreno, apertura de zanja de 0.30 m de profundidad y 0.30 m de ancho con medios mecánicos, recolección de las ramas vivas de sauce en parada vegetativa en el entorno de la propia obra, traslado hasta la zona de la actuación, construcción de haces de un diámetro mínimo de 0.25 m y atado con alambre galvanizado, colocación de la fajina en la zanja y anclado al terreno mediante piquetas de acero corrugado, y posterior tapado con unos 3 cm de espesor del mismo material extraído en la apertura de la zanja, incluso medios auxiliares y limpieza, medida la superficie totalmente ejecutada en obra. Precio aproximado: 14.95 €/ml.

- Estaquillado con material. del entorno (\*\*)

ud de suministro y colocación de estaquillas de *Salix spp*, de 0.50 m de longitud mínima y 2 cm de diámetro mínimo, procedentes del entorno de la propia obra y recogidas en las 24 h previas a su colocación, incluyendo el corte y recolección de las estaquillas leñosas con capacidad de echar brotes, en parada vegetativa, afilado de su extremo inferior, traslado al punto a tratar, y colocación de las mismas clavándolas en tierra, de manera que sobresalgan menos de 10 cm, en caso necesario, se abrirá el agujero previamente con una piqueta de acero corrugado o similar, incluso reposición de marras, medida la unidad ejecutada en obra. Precio aproximado: 2.76 €/ud.

(\*) *Extraído del Banco de Precios del Colegio de Ingenieros de Montes de Madrid.*

(\*\*) *Extraído de la Base de precios de Paisajismo, 2013.*

## 6. REVISIÓN DE CASOS PRÁCTICOS.

Como resultado del proyecto de investigación “Estabilización biotecnia de taludes: optimización de tratamientos en proyectos de restauración paisajística de infraestructuras viarias en Andalucía”, se incluye en esta sección la descripción de algunos ensayos realizados en taludes de características diversas situados en diferentes entornos de la región.

### 6.1. Desmontes sin suelo desarrollado

Este es el caso en el que los movimientos de tierras necesarios para generar el perfil de la carretera, crea taludes de desmonte en los que se ha eliminado la capa de suelo original, en los que no suele ser posible establecer una cobertura vegetal adecuada, a corto plazo.

Esta situación corresponde a los taludes de desmonte de la carretera A-92, en la localidad almeriense de Fiñana, sobre el km 332 y con una pendiente media del 85%, siendo uno de los ensayos en el proyecto G-GI3000/IDIS, como se puede ver en la Figura 14.

En estos ensayos se pudo constatar que el material del desmonte está formado principalmente por arenas francas con un contenido muy bajo de materia orgánica y de carbonatos. Se trata de un terreno muy pedregoso. Es fácil distinguir la transición desde la parte superior, con un suelo rojizo, a la zona rocosa y que corresponde con la parte en la que la cota de excavación ha ido aumentando y se han eliminado todos los horizontes del suelo original.



Figura 7. Desmonte A-92, Fiñana (Foto extraída de Google Maps®)

Esta falta de nutrientes es, de por sí, una desventaja para el establecimiento de una cobertura vegetal sin tener en cuenta otros condicionantes como la litología, pendiente, etc. Sólo se observaron pequeños restos de vegetación en el talud, en concreto, de la serie tomillar nitrófilo (*Artemisioglutinosa* – *Santolinetumrosmarinifoliae*), Figura 15.



Figura 8. Desmonte de la A-92 en Fiñana (Almería).

En los ensayos que se realizaron con las distintas técnicas (hidrosiembra, plantación, malla orgánica tridimensional, malla orgánica 100% coco y malla volumétrica), entre febrero y mayo de 2013, no se observó una diferencia significativa, en el crecimiento de

vegetación, entre los distintos tratamientos y la parcela de control, sin tratamiento alguno.

La inapreciable producción de sedimentos hace pensar que el establecimiento de vegetación no es en este caso relevante en el control de la erosión. En el periodo de febrero a mayo de 2013, se obtuvieron valores máximos de  $1 \text{ g m}^{-2}$ , en la parcela en la que se realizó la Plantación, valores de 20 g en la parcela de control y nulos en la mayoría de las parcelas con tratamientos de mallas o mantas orgánicas, como se puede ver en la Figura 28, en el Anexo I.

Esta hipótesis se comprobó en los ensayos de lluvia simulada, con los que se pretendía estudiar la eficacia de los tratamientos para la reducción de la escorrentía, y la consiguiente pérdida de suelo. Durante el ensayo no se recogió escorrentía superficial ya que el agua se infiltraba en el terreno.

Un año después, en mayo de 2014, se realizó un muestreo de las parcelas con sus distintos tratamientos observándose que la cobertura vegetal permanecía inalterada e incluso disminuyó para la mayoría de las técnicas adoptadas. La mayor parte de las plantas que se habían establecido pertenecían al banco de semillas del talud.



Figura 9. Parcelas de ensayo con distintos tratamientos en A-92, Fiñana.

La falta de escorrentía, que no provoca pérdida de suelo ni producción de sedimentos, junto con un estado aceptable de la superficie de la pendiente, sin síntomas aparentes de erosión por regueros o cárcavas, plantea algunas cuestiones.

Si el estado del talud es bueno y no se produce escorrentía que provoque una pérdida de suelo y la generación de sedimentos que pudieran acumularse o aterrar las cunetas, puede plantearse si es necesario aplicar técnicas que pueden resultar costosas cuyos resultados pueden ser inapreciables, al menos desde el objetivo de defensa contra la erosión.

En este caso, habría que valorar si el impacto que se ha producido en el entorno de la infraestructura con la formación del desmonte justifica las obras de restauración paisajística, pues al no producir efectos negativos sobre la vía y sus instalaciones de desagüe, no representa peligro alguno para la circulación vial ni supone un sobrecosto en el mantenimiento de la vía en este tramo. Esta es la filosofía del *Talud Royal* en la

que en taludes de zonas muy estables la actuación se limita a la limpieza de materiales inestables y alguna pequeña modificación para favorecer su integración en el paisaje. Sin embargo, otros criterios de carácter estético o paisajístico pueden aconsejar el tratamiento de estos taludes.



Figura 10. Vista del Desmorte de la A-92, en Fiñana, desde la coronación del talud.

## 6.2. Suelo granular con muy poca cohesión en pendientes inclinadas y laderas prolongadas

Es un talud en desmorte en un terreno arenoso con muy poca cohesión entre sus partículas y una pendiente media del 50%. La superficie se erosiona con gran facilidad. Es el caso de los taludes de la carretera A-5058, en Cartaya (Huelva), formados por materiales arenosos del litoral atlántico.



Figura 11. Desmorte A-5058, Cartaya (Huelva)

Como se puede observar en las Figuras 18 y 19, el agua ha erosionado intensamente el talud, formando regueros y cárcavas muy profundas y generando una gran masa de sedimento en el pie del desmonte.

Los análisis físico-químicos mostraron unos bajos contenidos de materia orgánica y un pH ligeramente ácido. Estas características dificultan la revegetación del talud.

Previo a la instalación de los distintos tratamientos, se observó que el talud apenas contaba con cobertura vegetal, exceptuando algunos terófitos efímeros, como el senecio y algunas de las especies del monte blanco en la zona de la cabecera, donde la pendiente es menor.

En la toma de datos de mayo de 2013, se observó que en las parcelas donde se había instalado los sistemas de malla orgánica, malla volumétrica y manta orgánica tridimensional tenía una fracción de cobertura que rondaban el 50 %, lo cual era un dato esperanzador. Pero un año después, en mayo de 2014, tras un año hidrológico seco, el porcentaje de cobertura había descendido considerablemente para todos los tratamientos,

Con respecto al estudio de la pérdida de suelo y generación de sedimento, se ha podido observar que en los sistemas de coberturas artificiales, se recoge menos sedimento que en la parcela de control o con los sistemas de plantación e hidrosiembra, lo que sería positivo para evitar una acumulación excesiva en la cuneta y sistemas de drenaje de la vía. Con los sistemas de mallas y mantas orgánicas, se produjeron, en el periodo de febrero a mayo de 2013, una media de  $2,5 \text{ g m}^{-2}$ , mientras que las otras parcelas (plantación, siembra y control) presentaron un promedio de  $228 \text{ g m}^{-2}$  llegando hasta los  $572 \text{ g m}^{-2}$  en una de las parcelas de plantación. Estos datos se muestran en la Figura 28 del Anexo I.



Figura 12. Detalle de cárcavas en talud A-5058, en Cartaya (Huelva)

Las soluciones han de reducir la masa de sedimento que se genera mejorando la estabilidad del talud y creando una capa orgánica y fértil sobre el suelo para que se establezca la vegetación:

- a. En cuanto al refuerzo de la capa superficial del talud, se pueden aplicar técnicas como el escalonado de matorral. Con este sistema se consigue en ambientes húmedos que las raíces de los esquejes introducidos en las zanjas,

confieran cierta resistencia a la capa más superficial del terreno. Por otro lado, las bandas de matorral actuarán como elemento interceptor de la escorrentía, disminuyendo el sedimento que llega al pie del talud. Este sistema, se puede combinar con la colocación de una malla o manta orgánica para mejorar.

- b. Para crear una capa de tierra vegetal homogénea (de 10 – 20 cm) el sistema más empleado sería el de geoceldas rellenas de tierra vegetal, sobre una manta orgánica que evite su acarcavamiento subsuperficial, donde ya se posibilitaría la siembra o plantación.
- c. Otros sistemas tridimensionales sintéticos u orgánicos que sean capaces de recibir varios centímetros de sedimento sobre los que sembrar o plantar, aun siendo una solución más económica que la anterior, pueden lograr objetivos mínimos de establecimiento vegetal.
- d. Alternativamente se pueden construir pequeñas terrazas o bermas, a lo largo de la pendiente del talud, con lo que se mitiga la energía de la escorrentía superficial y se forman pequeñas depresiones que ayudarán a la implantación vegetal, reteniendo el sedimento para que no llegue hasta la cuneta de la carretera. Como en el caso anterior, este procedimiento se puede combinar con una malla orgánica que mejoraría los resultados.
- e. Se podría optar por la construcción de un entramado con vegetación “Vegetated Crib” (Gray y Leister 1982) o muro Kreiner. Este muro consiste en una pequeña zanja, con la pendiente invertida con respecto al talud, a modo de terraza hasta llegar a un estrato más estable, en la que se introduce un entramado de troncos rellenando la base con un sustrato de rocas, a modo de “cimentación”. Dentro del entramado de troncos, se insertan fajinas o esquejes vivos, capaces de enraizar y se completa con suelo a modo de muro de pie, tal y como se ve en la Figura 20.

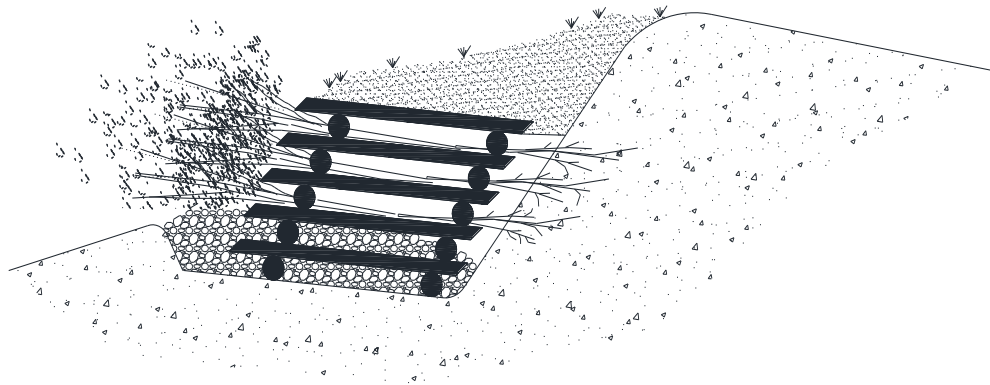


Figura 13. Vegetated Live Crib Wall. Elaboración propia a partir de Gray y Sotir (1996).

- f. Junto con las soluciones propuestas, es posible que, dependiendo de la efectividad de cada una de ellas, sea necesario la construcción de un pequeño muro de pie de talud que ayude a contener los sedimentos y a retener un volumen de suelo al disminuir la pendiente de caída del talud que facilitará el establecimiento vegetal. La cobertura de mantas y mallas orgánicas que eviten la erosión del suelo de aportación es siempre necesaria.

### 6.3. Desmontes con materiales calizos y yesíferos de tamaño fino en zonas de baja precipitación anual

Se trata de desmontes formados por materiales finos de procedencia caliza o yesífera, poco susceptibles de formar suelo y sometidos a un gran estrés hídrico debido a la escasez e irregularidad de las precipitaciones, propio del clima semiárido de la zona sur de España.



Figura 14. Desmorte tramo de infraestructura ferroviaria, Eje Marchena- Pedrera, (Osuna I)

En esta tipología se encuadrarían los taludes, pertenecientes al proyecto, situados en una infraestructura ferroviaria en las cercanías de Osuna (Sevilla) y Aguadulce (Sevilla), este último denominado en el proyecto Osuna II, con pendientes medias del 40% y el 65% respectivamente. Se puede observar en la Figura 21 como la erosión hídrica ha formado pequeños regueros en la superficie del talud de Osuna, debido a que el material tiene poca cohesión. En la Figura 22 se muestra el desmorte de Aguadulce (Osuna II) con unas características parecidas al de Osuna I.

En los análisis realizados se detectó que ambos tenían un pH ligeramente básico y porcentajes muy bajos de nitrógeno y materia orgánica, aunque contaban con unos porcentajes mayores de carbonato cálcico que otros taludes ensayados en el proyecto, superando el 30 % en Osuna I y alrededor de 50 % en Osuna II.

En las medidas realizadas en mayo de 2013, después de la instalación de los distintos tratamientos, a finales de 2012, no se observaron diferencias significativas en los porcentajes de cobertura vegetal entre los distintos tratamientos ni entre estos y la parcela de control. Sin embargo se detectó una menor producción de sedimentos con los tratamientos de mallas y mantas orgánicas (valores promedio alrededor de  $11 \text{ g m}^{-2}$ ) con respecto a las parcelas en las que no se había aplicado sistema de protección de la superficie del talud, control siembra o plantación, con valores promedio alrededor de  $416 \text{ g m}^{-2}$ .

Un año después, en mayo de 2014, en un año seco, los porcentajes de cobertura vegetal no sólo no aumentaron, sino que disminuyeron, sin diferencias apreciables entre los distintos tratamientos y la parcela testigo.





*Figura 15. Desmonte de Aguadulce "Osuna II", en Osuna (Sevilla)*

Estos resultados, hacen pensar que sería necesaria la aplicación de otros sistemas si se quiere conseguir cobertura vegetal, como sistema para luchar contra la pérdida de suelo. Pero se podría combinar con los sistemas de mallas y mantas orgánicas utilizadas, ya que se observa que pueden ser sistemas eficaces para el control de la pérdida de suelo, por los pocos sedimentos que se recogieron en las parcelas con estos sistemas, en el primer periodo de seguimiento.

- Soluciones a adoptar:

Las actuaciones sobre esta tipología de talud deberían ir encaminada a interceptar el agua de escorrentía para mejorar la humedad del suelo e impedir que el sedimento llegue a la cuneta, y a crear una capa orgánica y fértil sobre el suelo donde se establezca la vegetación:

- a. En primer lugar, se podría modificar el perfil del talud, creando terrazas, formando una pequeña pendiente en contra de la del talud, con una excavación y un relleno, como se mostraba en la Figura 8. Con ello se acumula agua y sedimentos que, junto con las plantas conseguirán formar suelo.
- b. Una alternativa a la opción anterior sería la formación de alcorques en las plantaciones con lo que estos actuarían como diques que contendrían parte de la escorrentía para mantener la humedad del suelo próximo a la planta, en este caso, una especie leñosa.
- c. También se puede optar por la formación de bandas de escalonado de matorral, o fajinados (una alternativa a las fajinas son los biorrollos de coco o esparto). Con estas bandas se reduce la velocidad de la escorrentía y se intercepta parte del sedimento y el agua, aumentando la humedad de la capa superficial del terreno, para favorecer el crecimiento de la planta. Con lo que se fomentará también la formación de suelo en el talud. Estas bandas o fajinas pueden recoger también una cierta cantidad de sedimento sobre el que realizar la plantación y en función de la pendiente del talud, puede ser necesaria el establecimiento de una manta orgánica debajo para evitar su descalzamiento.
- d. Por último, en taludes con mucha pendiente, se puede optar por la instalación de geoceldas que sirvan de estructura retenedora para la

incorporación de tierra vegetal, y así mejorar las propiedades del suelo, facilitando el desarrollo vegetal.

Todos estos procedimientos se pueden acompañar de mantas o mallas orgánicas, que ayuden a retener parte del sedimento y la escorrentía para favorecer la generación de un suelo apto para el establecimiento de la vegetación.

#### 6.4. Desmontes con materiales finos que pueden provocar deslizamientos

En la parte suroriental de la cuenca del Guadalquivir (campiña de Córdoba, Écija, Montoro, etc.), hay taludes en infraestructuras viarias, de materiales finos, como las arcillas y las margas, en los que el agua que se infiltra y absorbe en los materiales superiores aumenta la presión neutra del terreno disminuyendo la resistencia del talud, lo que puede provocar deslizamientos de tierras.

Entre las actuaciones que se pueden acometer para reducir los riesgos de deslizamientos, están:

- a. Formación de desagües superficiales para encauzar la escorrentía y evitar que un exceso de infiltración en el talud. La adopción de un sistema de desagüe somero evacua el agua infiltrada hacia el exterior.

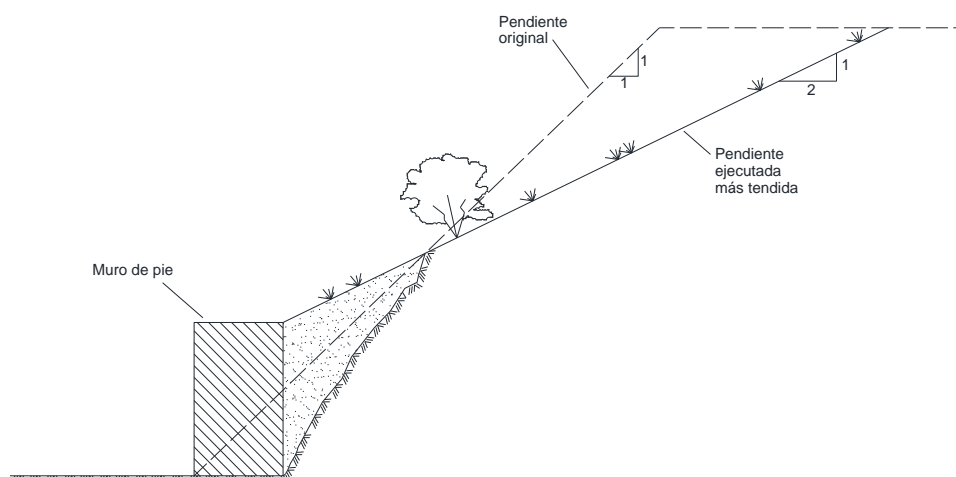


Figura 16. Esquema de instalación de muro de pie en talud.

- b. Sistemas para retener las tierras o minimizar las posibilidades de que se produzca un deslizamiento. Así, se puede ejecutar una escollera o un muro de pie en la base del talud, que ayudará a mantener las tierras y modifica el perfil natural, suavizando la pendiente, como se puede ver en la Figura 23. Esto mejorará la estabilidad del talud y evitará que un posible deslizamiento llegue hasta la vía de circulación.

#### 6.5. Corrección de cárcavas

En ocasiones, el trazado de una vía de circulación, modifica los sistemas naturales de desagüe de la zona. Ello puede incidir negativamente, concentrando flujos de agua que pueden provocar pérdidas de suelo intensas en zonas puntuales del entorno de la vía.

En taludes formados por materiales disgregados con longitudes apreciables pueden aparecer regueros de tamaño más o menos grande que no suelen degenerar en grandes cárcavas (ver Figura 19). Sin embargo, se pueden formar cárcavas en las zonas de concentración de escorrentía en los taludes en los que no se han ejecutado sistemas de desagüe, o en los que su ejecución no se ha terminado bien, Figura 24.



Figura 17. Cárcava producida por un desagüe mal ejecutado.

En estos casos el control de cárcavas debe seguir los criterios generales descritos con detalle en otros documentos técnicos (e.g. Gómez et al., 2011) Estas actuaciones están encaminadas a frenar el crecimiento e intentar restaurar las cárcavas que se presenten en un talud, sustituyendo la cárcava por una superficie en la que la escorrentía fluirá de manera controlada.

De esta forma, se pueden citar los **Principios básicos para el control de cárcavas**:

1. Mejorar las condiciones de la zona desde donde vierte el agua a la cárcava para reducir la escorrentía (por ejemplo aumentando la cobertura por vegetación).
2. Desviar, si fuera necesario, toda o parte de la escorrentía que entra en la cárcava. Un ejemplo donde esto puede ser necesario es en cárcavas formadas a causa de cunetas mal diseñadas.
3. Estabilizar la cárcava mediante medidas estructurales (casi siempre por diques de retención), Figura 23, y si fuera necesario revegetación. El espaciamiento óptimo de estos diques se resume en la Tabla 8.

Pendiente cárcava (%)	2	6	10	16	20	24	30	40
Altura dique (m)								
0.1	17	6	3	2	2	1	1	1
0.3	50	17	10	6	5	3	2	2
0.5	83	28	17	11	8	4	3	3
0.7	117	39	23	15	12	6	5	4
0.9	150	50	30	19	15	8	6	5

1.1	183	61	37	23	19	9	8	6
1.3	217	72	44	27	22	11	9	7
1.5	250	83	50	32	25	13	10	8
1.7	283	95	57	36	29	15	12	9
1.9	317	106	64	40	32	17	13	10

Tabla 9. Espaciamiento óptimo, en metros, entre diques de retención. Adaptada de Coppin y Richards (1990).

Estos diques se pueden construir de diferentes materiales: gaviones de piedra, obras de fábrica, empalizadas rellenas de material vegetal o biorrollos. El coste, su duración, y su pervivencia en eventos extremos (se recomienda diseñarlos para caudales con periodos de retorno de 25 años) son elementos clave a la hora de escoger entre estas alternativas. Estos diques deben ser estables al vuelco y al deslizamiento, en condiciones no olvidemos de saturación y empuje de agua, por lo que aquellos diseños basados en dique de materiales pesados (piedra, fábrica) tienen una mayor estabilidad. En el caso de optar por materiales de menor densidad, empalizadas vegetales, gaviones flexibles y biorrollos similares a los empleados en el LIFE+ EUTROMED, etc. Es muy importante prestar atención a su anclaje para evitar arrastres de las estructuras, y a al desarrollo de la implantación vegetal, que lamine la escorrentía y estabilice definitivamente la cárcava como desagüe.



Figura 18. Ejemplos de diques de retención en cárcavas.

Es conveniente mantener los diques ejecutados mediante revisiones periódicas, o tras un periodo de chubascos intensos o prolongados. Se deben retirar los restos de vegetación como troncos o ramas que hayan podido depositarse después de una avenida y mantener el aliviadero limpio de sedimentos que pudieran reducir su capacidad de desagüe.



## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PARA LA TOMA DE DECISIONES

Para la toma de decisiones a la hora de plantearse un tratamiento de taludes, es necesario seguir las líneas del mapa de decisiones que aparece en el Anexo 2.

Del estudio de la efectividad del control de la erosión del suelo en desmontes de la taludes de infraestructuras viales de Andalucía, cuyos resultados se desprenden del Anexo 1, tras los dos primeros años de la actuación demostrativa, el uso de coberturas artificiales (mantas y redes orgánicas, y mallas sintéticas) se han mostrado significativamente más eficaces que la parcela testigo y las coberturas naturales (plantaciones e hidrosiembras), salvo en aquellos suelos formados mayoritariamente por materiales sedimentarios y en clima semiárido (Fiñana, Almería), en los que no se han observado diferencias entre dichos tratamientos.

Se puede concluir del análisis de la simulación de lluvia realizada sobre 3 de las 4 zonas de parcelas ensayadas en el referido estudio en taludes de infraestructuras en Andalucía, que las coberturas artificiales en estos suelos, aparte de controlar eficazmente la erosión, reducen la escorrentía y aumentan la capacidad de detención superficial e infiltración del agua de lluvia, lo que disminuye el riesgo de inundación.

Sin embargo el desarrollo de la cobertura vegetal no ha sido tan patente. Sólo se han observado porcentajes de cobertura que permitan esperar un establecimiento vegetal definitivo en el talud de Mancha Real (Jaén), en mayo de 2014 (un año y medio después de la implantación y tras un largo periodo de sequía), si bien en la parcela tratada solo con hidrosiembra se obtuvieron porcentajes similares a los de los tratamientos con coberturas artificiales. No obstante es preciso evaluar este criterio en un periodo de tiempo más largo para apreciar la evolución tanto de la vegetación implantada artificialmente como de la colonización por especies espontáneas o naturales, ya que pueden existir tendencias de implantación diferentes sobre los tratamientos realizados.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- C.O.D.I.T. Agrícolas de Cataluña, P. A. (1999) *Normas Tecnológicas de Jardinería y Paisajismo (NTJ)*. CODIT Agrícolas de Cataluña, Barcelona.
- Alegre, J. (2007). *Manual de uso y manejo del pasto vetiver*. Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento de Perú, Universidad Nacional Agraria de la Molina, La Molina, Perú.
- Brandstetter, E. (2013). *Construction Stormwater Best Management Practices Manual*. Oregon Department of Environmental Quality. 1200-C NPDES General Permit, Portland, Oregon, USA.
- Coppin, N., Richards, I. G. (1990). *Use of vegetation in civil engineering*. Butterworth-Heinemann, Londres.
- Eubanks, C., Meadows, D. (2002). *A soil bioengineering guide for streambank and lakeshore stabilization* (Vol. 683). USDA Forest Service, Technology and Development Program, Washington.
- Goldman, S. J., Jackson, K., Bursztynsky, T. A. (1986). *Erosion and sediment control handbook*. McGraw-Hill, Nueva York.
- Gómez, J.A., Fereres, E. (2004). Conservación de suelo y agua en el olivar andaluz en relación al sistema de manejo de suelo. Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía, Sevilla. Disponible en [http://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337170141Conservacixn\\_de\\_suelo.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337170141Conservacixn_de_suelo.pdf).
- 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. Sevilla. <http://digital.csic.es/handle/10261/49395> [http://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337159509Manual\\_del\\_operador\\_x\\_carcavax.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337159509Manual_del_operador_x_carcavax.pdf)
- Gray, D. H., Leiser, A. T. (1982). *Biotechnical slope protection and erosion control*. Van Nostrand Reinhold, Nueva York.
- Gray, D. H. (1996). *Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization: a practical guide for erosion control*. John Wiley, Nueva York.
- Instanbulluoglu, E., Tarboton, D.G., Pack, R.T., Luce, C. 2002. A probabilistic approach for channel initiation. *Water Resour. Res.* vol. 38, doi: 10.1029/2001WR000782.
- Jenny, H. (1994). *Factors of soil formation: a system of quantitative pedology*. Dover, New York.
- Ley 8/2001, de 12 de julio, de Carreteras de Andalucía. BOJA nº 85 de 26 de Julio de 2001. Sevilla.
- Lewis, L. (2000). *Soil Bioengineering: An alternative for Roadside Management: A Practical Guide*. San Dimas Technology & Development Center, 7700– Transportation Management 0077 1801 - SDTDC, Washington.
- Lewis, L., Salisbury, S. L., Hagen, S., Maurer, L. A. (2001). *Soil bioengineering for upland slope stabilization*. *WSDOT Research Project WA-RD, 491*. Washington State Department of Transportation, PO Box 47329, Olympia, Washington.

Mataix, C. (2003). *Técnicas de revegetación de taludes*, en: *Restauración de ecosistemas mediterráneos*, p.p 189, 226. Universidad de Alcalá de Henares.

Morgan, R. P. C. (2009). *Erosión y Conservación del Suelo*. Mundi-Prensa, Madrid.

Morgan, R. P., Rickson, R. J. (2003). *Slope stabilization and erosion control: a bioengineering approach*. Taylor & Francis, Londres.

Toy T.J., Foster, G.R. eds. 1998, *Guidelines for the use of the revised universal soil loss equation (RUSLE) Version 1.06 on Mined Lands, Construction Sites, and Reclaimed Lands*. The Office of Technology Transfer Western Regional Coordinating Center Office of Surface Mining. Denver. Disponible en: <http://faculty.cveg.uark.edu/edwards/Classes/CVEG%203223/Handouts/rusle%20guidelines.pdf>

Valladares, F., Balaguer, L., Mola, I., Alcántara, A. E., Arias, V. A. (2011). *Restauración ecológica de áreas afectadas por infraestructuras de transporte: bases científicas para soluciones técnicas*. Fundación Biodiversidad, Madrid.



## 9. ÍNDICE DE TABLAS.

<i>Tabla 1. Factores que influyen en la erosión. ....</i>	<i>8</i>
<i>Tabla 2. Valores del coeficiente de resistencia de Manning según Petryk y Bosmajian (1975), Temple (1982), y Engman (1986). A mayores valores de resistencia, menor velocidad del agua que fluye por la superficie y menor erosión.....</i>	<i>10</i>
<i>Tabla 3. Indicadores de estimación de la erosión, adaptados de Morgan (1997). ....</i>	<i>15</i>
<i>Tabla 4. Principios básicos de conservación de suelo y agua. (Goldman y col, 1986). ....</i>	<i>16</i>
<i>Tabla 5. Beneficios de la vegetación respecto a la erosión y la estabilidad. ....</i>	<i>17</i>
<i>Tabla 6. Distancia entre bandas de cultivo para las diferentes pendientes, tomadas de Alegre (2007). ....</i>	<i>21</i>
<i>Tabla 7. Un método sencillo para estimar la separación entre terrazas (Istanbulluoglu y col. 2002. ....</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 8. Precio unitario de distintos tratamientos (año de referencia 2014). ....</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 9. Espaciamiento óptimo, en metros, entre diques de retención. Adaptada de Coppin y Richards (1990). ....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 10. Algunos datos de los ensayos .....</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 11. Características físico-químicas de los suelos de los taludes.....</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 12. Cantidad de sedimento recogida en mayo de 2014.....</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 13. Tabla de porcentaje de cobertura vegetal en mayo de 2014. ....</i>	<i>55</i>

## 10. ÍNDICE DE FIGURAS.

<i>Figura 1. Deslizamiento en una carretera.</i>	12
<i>Figura 2. Semilunetas o pozas para conservar suelo y agua en una ladera de olivar</i>	27
<i>Figura 3. Detalle de fajinado con biorrollos en talud.</i>	28
<i>Figura 4. Fases de ejecución de fajinas vivas. Elaboración propia a partir de Morgan (1997).</i>	28
<i>Figura 5. Perspectiva del sistema de escalonado (con matorral o biorrollos)</i>	29
<i>Figura 6. Detalle de la ejecución de un escalonado de matorral. Elaboración propia a partir de Grey y Leiser (1992)</i>	29
<i>Figura 7. Desmonte A-92, Fiñana (Foto extraída de Google Maps®)</i>	34
<i>Figura 8. Desmonte de la A-92 en Fiñana (Almería).</i>	34
<i>Figura 9. Parcelas de ensayo con distintos tratamientos en A-92, Fiñana.</i>	35
<i>Figura 10. Vista del Desmonte de la A-92, en Fiñana, desde la coronación del talud.</i>	36
<i>Figura 11. Desmonte A-5058, Cartaya (Huelva)</i>	36
<i>Figura 12. Detalle de cárcavas en talud A-5058, en Cartaya (Huelva)</i>	37
<i>Figura 13. Vegetated Live Crib Wall. Elaboración propia a partir de Gray y Sotir (1996).</i>	38
<i>Figura 14. Desmonte tramo de infraestructura ferroviaria, Eje Marchena- Pedrera, (Osuna I)</i>	39
<i>Figura 15. Desmonte de Aguadulce “Osuna II”, en Osuna (Sevilla)</i>	40
<i>Figura 16. Esquema de instalación de muro de pie en talud.</i>	41
<i>Figura 17. Cárcava producida por un desagüe mal ejecutado.</i>	42
<i>Figura 18. Ejemplos de diques de retención en cárcavas.</i>	43
<i>Figura 19. Gráfica de textura de los distintos suelos</i>	52
<i>Figura 20. Porcentaje de cubierta vegetal a mediados de mayo de 2013.</i>	53
<i>Figura 21. Pérdida de suelo acumulada hasta mayo de 2013</i>	54

## 11. ANEXOS

### Anexo I. Visión Global del Proyecto “Estabilización Biotécnica de Taludes: Optimización de Tratamientos en Proyectos de restauración paisajística de Infraestructuras viarias de Andalucía”.

Se incluye aquí una breve exposición del Proyecto de investigación que ha dado origen a este manual.

- **Objetivos**

El objetivo principal de este estudio ha sido la comparación, bajo diferentes condiciones, de un conjunto de técnicas basadas en la cobertura del suelo para comprobar la eficacia de diversos métodos de protección de suelos en taludes producidos por desmonte en obras públicas.

El objetivo general indicado se plasma en dos objetivos específicos:

- a. Medición de la eficacia del control de la erosión del suelo en taludes con respecto al testigo (suelo desnudo sin tratamiento), de cada uno de los productos de estabilización de taludes (PET), y de los materiales vegetales vivos (MVV) empleados (hidrosiembra y plantación).
- b. Evaluación de la sostenibilidad de las medidas de control de la erosión del suelo según criterios económicos, edáficos y ecológicos, en particular, atendiendo al fomento de la biodiversidad vegetal en la superficie y en el perfil del suelo, incluyendo la población microbiana.

- **Materiales y métodos**

Se planteó un ensayo con diferentes productos de estabilización de taludes (PET) y materiales vegetales vivos (MVV) aplicados a la estabilización de desmontes de infraestructuras viarias en *6 zonas distintas de Andalucía*, con diferentes características climáticas y edáficas.

En cada uno de los seis taludes objeto de estudio, se realizaron 6 parcelas (1 por tratamiento) con 2 repeticiones; un total de 72 parcelas. Las parcelas tenían unas dimensiones de 10 m en la dirección de la pendiente y 2 m en dirección transversal. Sobre estas parcelas se midió de manera continuada la generación de sedimento con lluvia natural mediante trampas de sedimentos siguiendo el modelo descrito en Hudson (1993). Igualmente se caracterizaron, mediante una campaña de simulación de lluvia, simulando lluvia sobre cada una de las parcelas. Para estos ensayos de simulación se construyó un simulador de lluvia portátil para su uso en desmontes siguiendo el modelo descrito por Sumner y col. (1996).

Los tratamientos que se ensayaron en cada una de las parcelas para cada talud, fueron:

- a. Productos de estabilización de taludes:
  - i. Mantas orgánicas (coco, esparto).
  - ii. Mantas naturales (coco).
  - iii. Mantas tridimensionales sintéticas (polipropileno).
- b. Materiales vegetales vivos:
  - i. Hidrosiembra.
  - ii. Plantación de arbustos.

iii. Suelo desnudo (testigo).

- Características de los taludes:

Localización	Coordenadas (m)	Materiales	Pendiente (%)	Precipitación media anual, mm
Huelva (Cartaya)	x: 668.099 y: 4.124.828	Materiales arenosos del litoral atlántico	50	500
Sevilla (Osuna 1)	x: 311.977 y: 4.121.833	Materiales finos (margas y yesos)	40	581
Sevilla (Osuna 2)	x: 317.215 y: 4.122.200	Materiales finos (margas y yesos)	65	581
Jaén (Mancha Real)	x: 443.438 y: 4.184.643	Materiales finos (margas)	60	541
Granada (Guadix)	x: 491.666 y: 4.125.367	Materiales finos (arcillas, launas y filitas)	95	479
Almería (Fiñana)	x: 509.491 y: 4.113.688	Materiales finos (arcillas, launas y filitas)	85	444

Tabla 10. Algunos datos de los ensayos

- Análisis y caracterización de los suelos de los taludes.

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE TALUDES OBJETO DE ESTUDIO											
			CIC	Carb.	m.o.	N	pH	Arcilla	Arena	Limo	Clase textural
			eqc/kg	%		Org.	1/2.5				
Osuna 2	ar	A1	0.170	51.8	0.18	0.01	8.50	31.5	23.5	45.0	Franco-Arcilloso
	me	A2	0.176	58.8	0.13	0.01	8.76	35.8	5.9	58.3	Franco-Arcillo-Limoso
	ab	A3	0.224	33.9	0.13	0.01	8.51	30.8	21.2	48.0	Franco-Arcilloso
Fiñana	ar	F1	0.083	9.3	0.29	0.02	8.84	13.6	68.9	17.5	Franco-Arenoso
	me	F2	0.054	2.0	0.17	0.01	8.91	5.7	84.1	10.2	Arena-Franca
	ab	F3	0.054	1.3	0.14	0.01	9.11	4.4	81.6	14.0	Arena-Franca
Guadix	ar I	G1	0.128	2.2	0.27	0.03	8.07	17.4	53.7	28.9	Franco-Arenoso
	ar II	G2	0.104	3.8	0.21	0.03	8.32	14.0	51.1	34.9	Franco
	ab	G3	0.078	1.3	0.24	0.03	8.28	11.6	71.5	16.9	Franco-Arenoso
Huelva	ar	H1	0.076	0.0	0.16	0.01	5.08	24.6	73.0	2.4	Franco-Arcillo-Arenoso

	me	H2	0.065	0.0	0.15	0.01	4.25	20.0	79.6	0.4	Franco-Arcillo-Arenoso
	ab	H3	0.041	0.0	0.10	0.01	4.82	12.6	86.8	0.6	Arena-Franca
Mancha Real	cab	M1	0.191	36.2	0.13	0.01	8.58	24.1	40.9	35.0	Franco
	me	M2	0.230	41.9	0.12	0.02	8.75	32.2	26.2	41.6	Franco-Arcilloso
	ab	M3	0.167	43.5	0.17	0.02	8.31	21.7	43.5	34.8	Franco
Osuna 1	ar	O1	0.233	39.2	0.16	0.03	8.67	22.3	7.0	70.7	Franco-Limoso
	me	O2	0.224	37.0	0.13	0.03	8.58	38.1	3.9	58.0	Franco-Arcillo-Limoso
	ab	O3	0.209	36.1	0.15	0.03	8.45	39.9	5.7	54.4	Franco-Arcillo-Limoso

Tabla 11. Características físico-químicas de los suelos de los taludes.

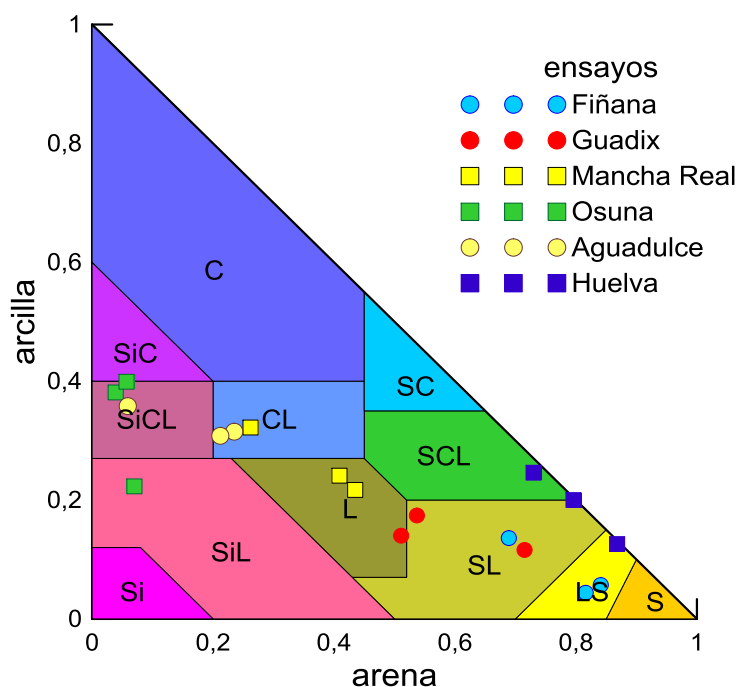


Figura 19. Gráfica de textura de los distintos suelos

### • Resultados

La instalación de los tratamientos, sobre las parcelas de cada uno de los desmontes se completó a finales del año 2012 (mediados del mes de noviembre y principios de diciembre).

Los tratamientos de hidrosiembra presentaban una cubierta vegetal moderada en invierno y a mitad de mayo. Para esta fecha, el porcentaje de cobertura vegetal estaba entre el 25 y el 35 %, con una desviación típica relativamente grande.

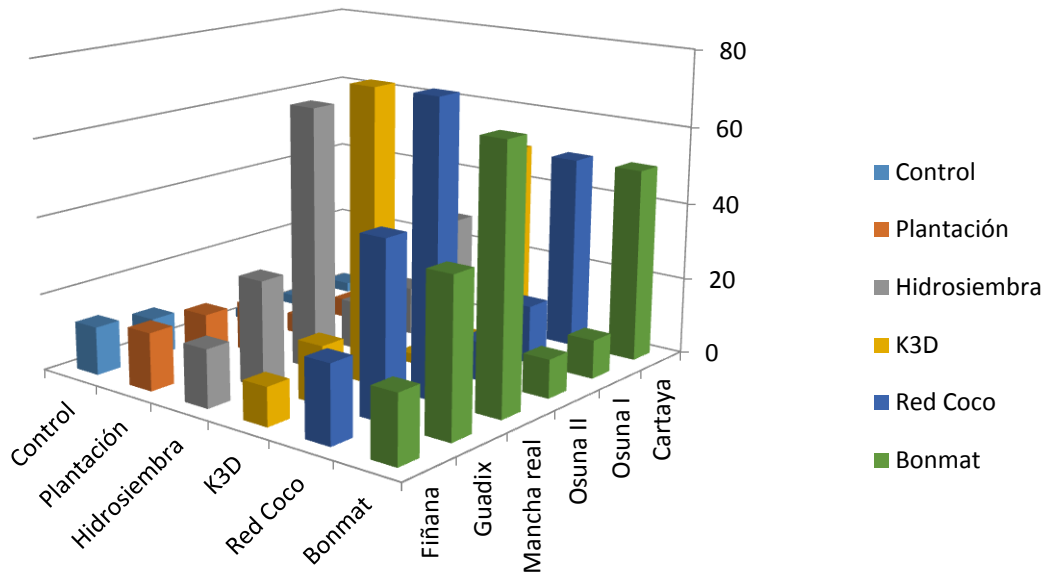


Figura 20. Porcentaje de cubierta vegetal a mediados de mayo de 2013

Esta variabilidad se produce por las diferentes características de los taludes, no habiendo diferencias significativas entre los distintos tratamientos. La plantación y la parcela de control presentaban un porcentaje de cubierta vegetal más bajo, tal como se esperaba, de entre un 5 y un 10 %. Había una gran variabilidad en los patrones de distribución de plantas, dentro de las parcelas, con diferencias de un lugar a otro.

La pérdida de suelo durante la temporada de lluvias, que osciló entre los 294 y los 778 mm, desde primeros de octubre hasta finales de mayo de 2013, presentó un gran variabilidad, desde los 2.5 hasta los 1800  $\text{gm}^{-2}$  (de Fiñana y Mancha Real, respectivamente), como se puede observar en la Figura. 28.

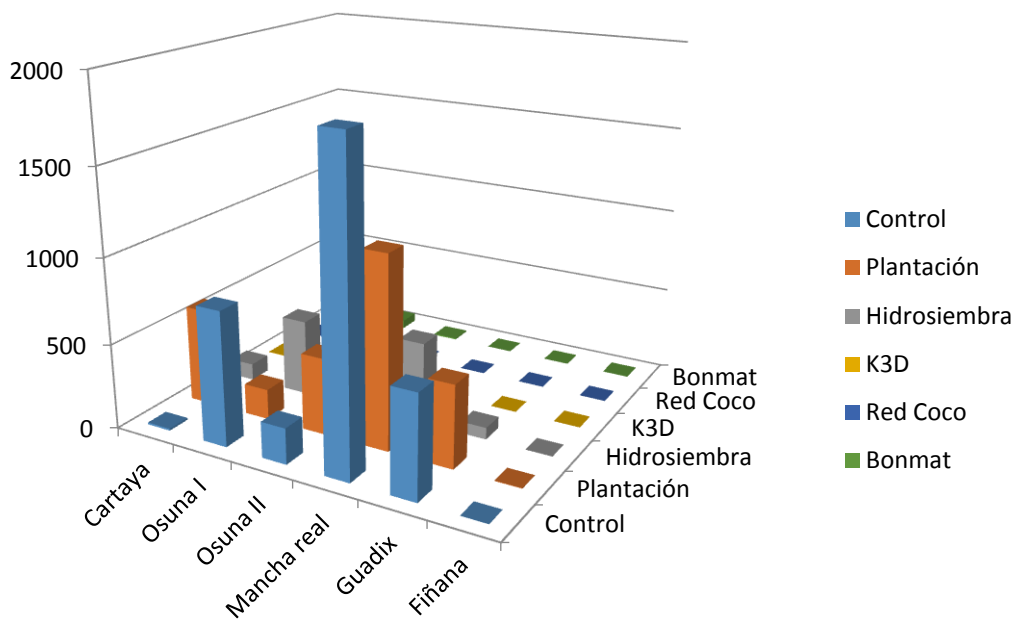


Figura 21. Pérdida de suelo acumulada hasta mayo de 2013

Todos los tratamientos con coberturas artificiales sufrieron pérdidas medias de suelo muy bajas, para todas las localizaciones. No había diferencias significativas entre los diferentes tratamientos en estos dos grandes grupos.

Las simulaciones llevadas a cabo durante el verano evidenciaron la falta de escorrentía en Fiñana y que a su vez fue la zona que menos sedimento generó durante la temporada de lluvias, un promedio de  $0.7 \text{ gm}^{-2}$ . Mientras, en Mancha Real, Huelva y Guadix los resultados fueron cualitativamente comparables con los observados con la lluvia natural.

En los ensayos con lluvia simulada, los tratamientos con cubiertas artificiales sufrieron pérdidas de suelo de  $16 \text{ g m}^{-2}$ , mientras que en los tratamientos sin ellas se perdieron  $2297 \text{ gm}^{-2}$ . El intervalo de máximas pérdidas de sedimentos oscilaba, en esta ocasión, con relación a los resultados de lluvia natural, con los máximos valores medidos en Huelva y Guadix.

Durante el año hidrológico 2013-2014, Tabla 11, los resultados obtenidos en las parcelas que no sufrieron vandalismo, fueron cualitativamente similares a los obtenidos en 2012-2013. Esto es, pérdidas elevadas y similares en los tratamientos sin acolchado (control, siembra o plantación) y una reducción significativa con cualquiera de los tres tipos de acolchado. El ensayo de Fiñana continuó sin generar pérdidas apreciables.

Tratamiento	MANCHA REAL	FIÑANA	GUADIX	CARTAYA
	(kgcm <sup>-2</sup> )			
Control	0.503	0	0.0621	1.331
Plantación	0.390	0	0.0515	1.237
Hidrosiembra	0.479	0	0.0528	0.967
K3D*	0.0712	0	0	0.368
Red coco	0.040	0	0	0.385
Bonmat	0.118	0	0	0.287

Tabla 12. Cantidad de sedimento recogida en mayo de 2014.

\*El tratamiento K3D corresponde al tratamiento con Manta de Coco con mallas negras de p.p. poco fotodegradables Tipo Kn Bonterra para el talud de Mancha Real

La Tabla 12 presenta los resultados de cobertura vegetal en todos los ensayos, a finales de mayo de 2014, tras un año de fuerte sequía en toda la región. En ellos se aprecia cómo, con la excepción de Mancha Real, (mantas o hidrosiembra), los porcentajes de cobertura por vegetación eran reducidos.

parcela	Tratamiento	OSUNA I	OSUNA II	MANCHA REAL	FIÑANA	GUADIX	CARTAYA
1	Control	<1	<1	±5	±5	±10	<1
2	Plantación	±10	±15	±15	±10	±15	±5
3	Hidrosiembra	<5	±5	±70	±10	±20	±10
4	K3D*	<1	<10	±40	±10	±25	±5
5	Red coco	<5	±20	±40	±15	±30	±5
6	Bonmat	<5	<1	±30	±20	±20	±5
7	Red coco	<5	<5	±45	±10	±30	±5
8	K3D*	<1	<5	±70	±5	±10	±5
9	Bonmat	±1	±10	±60	±20	±10	±5
10	Hidrosiembra	<5	<5	±40	±15	±20	±5
11	Plantación	±15	±10	±15	±15	±10	<5
12	Control	<1	<5	±5	±15	±5	<1

Tabla 13. Tabla de porcentaje de cobertura vegetal en mayo de 2014.

\*El tratamiento K3D corresponde al tratamiento con Manta de Coco con mallas negras de p.p. poco fotodegradables Tipo Kn Bonterra para el talud de Mancha Real



# Anexo II. Mapa de toma de decisiones.

