

Las técnicas de bioingeniería para el control de la erosión



Talud en la carretera N-323, Jaén-Granada.

Juan María Cuesta, Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Resumen

La erosión de taludes en suelos de carreteras es un problema real, debido en gran medida a la acción de la lluvia. Para controlar la erosión es necesario poder estimar cuantitativamente la pérdida de suelo. Así la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, USLE, es el modelo más ampliamente aceptado y empleado. Esta ecuación aglutina los factores principales del fenómeno de la erosión, como son las fuerzas de ataque (lluvia y escorrentía), la topografía y geometría del talud y la resistencia que opone la superficie del terreno. Y es para actuar sobre estos dos últimos parámetros por lo que surgen los tratamientos de bioingeniería para el control de la erosión: Las estacillas y las esferas de matorral tratan de coser la superficie del talud al mismo. Las fajinas, los

escalones y paquetes de matorral reducen la longitud de los regueros, disminuyendo la velocidad y la capacidad erosiva de las corrientes. En ocasiones, la erosión superficial origina pequeños deslizamientos. En estos casos, no se afecta a ningún parámetro concreto de la Ecuación Universal; y las técnicas de bioingeniería empleadas (paquetes de matorral, reparaciones con material vivo) se orientan a estas reparaciones puntuales. El artículo pretende ser una recopilación y un recordatorio de este tipo de tratamientos frente a la erosión.

Palabras clave: erosión en suelos, tratamiento de taludes, revegetación.

Introducción

Este texto pretende dar una visión de conjunto sobre el problema que supone la erosión de los taludes formados por suelos en las obras lineales, y las medidas que podríamos denominar de bajo costo para atacarla.

Estas medidas comprenden fundamentalmente las técnicas de revegetación en sus diversas variantes.

No se trata de un estudio sobre un sistema novedoso en la materia, sino simplemente se pretende recopilar de manera sucinta lo que supone la bibliografía existente sobre el particular, con el fin último de refrescar las ideas sobre la gravedad del fenómeno de la erosión y la eficacia en la aplicación de este tipo de tratamientos.

El Comité de Obras de tierra, drenaje y explanadas (C12) de la AIPCR debatió este tema en el pasado Congreso Mundial de Carreteras, celebrado en Durban a finales de octubre de 2003.

Por último, conviene citar que existe una gran diferencia en el aspecto económico entre cuando este tipo de medidas se planifican ya en la etapa de Proyecto, y cuando su implantación se debe a la existencia de problemas derivados de la erosión, en cuyo caso los costes se disparan.

Conceptos fundamentales

Concepto de erosión

La erosión, geomorfológicamente hablando, se refiere al conjunto de acciones externas que reducen el relieve por desgaste de materia. (Se habla de erosión eólica, glacial, fluvial y química, en función de los agentes responsables, o de erosión litoral, glacial, etc., según donde tiene lugar).

De todos estos tipos de erosión, nos vamos a referir a la erosión fluvial, que es la que afecta en mayor medida a los taludes de las carreteras.

El proceso de erosión

El término de erosión en *arroyada difusa* o en *regueros* se ha empleado con profusión, porque puede describirse cuantitativamente. La erosión *laminar*, o pérdida uniforme de una delgada capa superficial en una zona amplia, sucede en raras ocasiones, aunque la apariencia superficial parece indicarlo así, porque las tormentas que originaron los regueros son suavizadas por los aperos de labranza.

La erosión en *arroyada difusa* la origina fundamentalmente el golpeo del agua de lluvia y el flujo entre regueros. Su acción es la misma independientemente de la posición en la pendiente. La erosión en *regueros* es causada fundamentalmente por la escorrentía. Como el agua de escorrentía alimenta a los regueros, estos tienden a crecer en la dirección de la pendiente. Por lo tanto, mientras que la erosión en regueros es la más visible de las dos, es el golpeo de la lluvia el que mueve la mayor cantidad de suelo.

Como en todo proceso natural, existen fuerzas que coadyuvan y otras que se oponen. A las primeras las denominaremos fuerzas de ataque, y son las que provocan el desprendimiento y transporte de las partículas del suelo. Estas fuerzas las producen la lluvia y la escorrentía, resultando un mayor poder erosivo cuanto mayor es el

tamaño de las gotas de lluvia y más rápido es el flujo de escorrentía. Las fuerzas resistentes tienden a estabilizar el suelo (incrementando la cohesión o el peso) o a reducir la magnitud de las fuerzas de ataque (aumentando la infiltración, mejorando la cobertura o incrementando el rozamiento de la superficie del terreno). La vegetación desempeña un papel muy importante en la interceptación de la lluvia, en el frenado del movimiento del suelo, en la mejora de la infiltración, en la disminución de las velocidades de escorrentía y en la mejora de la agregación del suelo.

Estimación de la erosión

Para controlar de un modo efectivo la erosión, es preciso predecir cuantitativamente la cantidad de suelo perdido que tendría lugar en diferentes situaciones prácticas.

El modelo más ampliamente aceptado y empleado en Estados Unidos es la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo o *Universal Soil Loss Equation* (USLE), desarrollada por los científicos del ARS (*Agricultural Research Service*) de EE.UU., W. Weschmeier y D. Smith. Aunque en la actualidad están apareciendo nuevos métodos de estimación de la erosión, la mayoría se basan en los principios de la USLE, por lo que su comprensión resulta bastante importante. La USLE afirma que la pérdida de suelo (en toneladas por hectárea) A, es el producto de seis factores que la originan:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

siendo:

R: índice de erosión por lluvia y escorrentía.

K: factor de erosionabilidad del suelo.

L: factor de longitud de pendiente.

S: factor de grado de inclinación de la pendiente.

C: factor de dirección del cultivo.

P: factor de conservación práctica.

El término R caracteriza el nivel de las fuerzas de ataque, mientras que el resto de factores representan el

grado de las fuerzas resistentes.

Todos los factores de la ecuación, excepto K, se basan en un análisis estadístico de datos recopilados de distintos esquemas. K se determinó empíricamente.

Este modelo se actualizó a su aspecto presente en las décadas de los 50 y 60 por W. Weschmeier, en el que se agrupan los valores L y S en un solo factor denominado topográfico, ya que a mayores pendientes se producen mayores velocidades; y a su vez unas pendientes más largas acumulan la escorrentía en áreas más grandes, resultando también mayores velocidades del flujo. Luego los efectos de ambas se producen en el mismo sentido y por eso se suelen juntar en un único término.

Con posterioridad, Israelsen y otros simplificaron la ecuación anterior para aplicarla a taludes de carretera, estudiando pendientes de hasta 45°. La ecuación resultante es:

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot VM$$

donde A, R y K son los mismos de la ecuación anterior, LS es un parámetro que engloba la geometría del talud y VM es la resistencia de la superficie, bien en estado natural o para considerar la efectividad del tratamiento previsto. Refleja los diversos efectos que los tratamientos vegetativos o mecánicos tienen sobre el control de la erosión. Una superficie recientemente roturada a una profundidad de 150-200 mm se toma como estándar, y se le asigna un valor de VM de 1,0.

Los tratamientos de bioingeniería van a actuar sobre los parámetros LS y/o VM, con el fin de controlar la erosión:

Sobre VM	{	Estaquillas
		Esteras de matorral
Sobre LS	{	Fajinas
		Escalones de matorral
		Paquetes de matorral
Reparación	{	Paquetes de matorral
		Recuperación de cárcavas

Las estaquillas y las esteras de matorral actúan sobre la resistencia de superficie, pues tratan de coser la superficie del talud al mismo.

Las fajinas y los escalones y paquetes de matorral actúan directamente sobre la longitud de los regueros como factor de erosión, reduciéndola; y, por consiguiente también, la velocidad y la capacidad erosiva de la corriente.

En cuanto a los paquetes y reparación de cárcavas con material vivo, no afectan a ningún parámetro concreto de la Ecuación Universal, sino que se orientan a reparaciones puntuales, como veremos a continuación.

Técnicas de bioingeniería

Introducción

La vegetación desempeña un papel muy destacado en la mejora del paisaje, el control de la fluctuación de las temperaturas, el control de la erosión, la regulación de los caudales líquidos e incluso el refuerzo de los suelos por los sistemas radiculares.

Las acciones que cumple la vegetación son las siguientes:

- a) Intercepción del volumen de precipitación que llega al suelo, disipando su energía cinética y controlando la erosión superficial.
- b) Evapotranspiración.
- c) Mayor permeabilidad e infiltración.
- d) Disminución de la escorrentía superficial.
- e) Sujeción del suelo, estabilizando las capas superficiales.

Previamente al establecimiento de las coberturas vegetales para el control de la erosión, se deben realizar unas labores que incluyen la identificación de las especies vegetales, el conocimiento de las condiciones del suelo, las pendientes de los taludes, la erosividad del clima y la respuesta de las coberturas vegetales en taludes o zonas similares a las que se proyectan tratar.

Las técnicas de bioingeniería, sistemas para el control de erosión, ofrecen una resistencia inmediata a la erosión, debido a la instalación de elementos. Esta resistencia a la erosión, al desplazamiento longitudinal y transversal, aumenta con el tiempo



Salida 17 ab de la carretera A-IV antes de su tratamiento.

conforme se desarrollan las raíces y sujetan el suelo.

El éxito de los tratamientos para el establecimiento de las coberturas vegetales en los taludes se fundamenta en la calidad del material vegetal que germina y produce plantas; la incorporación de la materia orgánica que garantice el soporte biológico del tratamiento; y los elementos que aseguren la estabilidad del tratamiento durante el tiempo necesario para el desarrollo de las raíces, que brindan la estabilidad a las plantas.

Para garantizar la continuidad de las labores de revegetación, se requiere una infraestructura mínima para la producción de plántulas, junto a la localización de áreas de acopio de material vegetal vivo y materia orgánica. Se necesita un inventario de especies autóctonas con viabilidad ecológica, útiles para los tratamientos vegetales en cuanto a tipo de cubrimiento esperado, resistencia de las plántulas a condiciones adversas, cuidados y mantenimientos, distancias de siembra, forma de propagación y dominancia frente a otras especies.

Las bioestructuras están conformadas por varios elementos: unos, como las estacas o mallas, garantizan la seguridad del tratamiento en taludes escarpados; otros, como los *mulches*, aportan materia orgánica, protegen el material vivo de los cambios climáticos permitiendo la hume-

dad suficiente para la germinación y el establecimiento de las plantas; y el último, el material vivo, es la fuente de las plantas encargadas de proteger definitivamente el talud, cuando estas se establecen.

Todos estos tratamientos, denominados comúnmente técnicas de bioingeniería, resultan muy útiles y tienen una buena relación coste/beneficio en el control de la erosión superficial en un buen número de taludes. Es claro que no valen para todos los casos, sino fundamentalmente en la prevención de la erosión superficial; por lo que, si se tienen en cuenta en la fase de proyecto, son una buena medida, a la par que económica.

Se define como *mulch* toda cubierta orgánica o inorgánica, que tiene un efecto protector, aunque normalmente sólo se emplea este término para hacer referencia a materiales orgánicos desmenuzados, como residuos agrícolas (pajas de cereales), forestales (astillas, serrín, cortezas, etc.), fibras naturales, etc. Generalmente se proyectan, junto con productos adherentes, para fijarlos al talud.

Se emplean fundamentalmente como protección frente a la erosión hídrica y eólica; aunque también mejoran el microclima del terreno, lo hacen más favorable para las plantas y evitan que las semillas sean arrastradas pendiente abajo.

Su coste, en general reducido, va desde los 1,85€/m² para el *mulch* de paja y los 5,70€/m² para el *mulch* de madera.

Como otros métodos, las técnicas de bioingeniería tienen limitaciones. Los esquejes vegetativos empleados en estos sistemas son materiales vivos y deben manejarse de manera adecuada para evitar un excesivo estrés, como la sequía o la humedad excesiva. Las plantas deben instalarse en un suelo que tenga cierta humedad, y a una profundidad adecuada. El éxito también depende del tipo de suelo disponible. Los suelos rocosos o con gravas, que carecen de finos o humedad suficientes, no crean un entorno idóneo para el crecimiento de la mayoría de las especies; y los suelos muy compactados podrían evitar el crecimiento radicular.

Estaquillado

Descripción

Consiste en introducir en el suelo estaquillas de plantas leñosas, capaces de arraigar y desarrollar una planta adulta, de longitud y grosor suficiente para que puedan clavarse en el suelo como estacas.

Al arraigar se crea un conjunto de raíces que estabiliza y refuerza el suelo, aumentando la cohesión y reduciendo el exceso de humedad. Se suelen emplear estaquillas de sauce o chopo, que enraizan rápidamente y pueden desarrollarse en sustratos carentes de suelo.

Aplicaciones

Esta técnica está especialmente recomendada para reparar pequeños deslizamientos y asentamientos debidos al exceso de humedad en el suelo, en lugares sin problemas graves de estabilidad. Su empleo es sencillo y adecuado cuando se dispone de poco tiempo y dinero para ejecutar la estabilización.

También se emplea como fijación de otros elementos de control de la erosión, como los geotextiles, las mantas orgánicas, etc.

Esta técnica actúa sobre el factor

VM de la Ecuación Universal, es decir, sobre el control de la erosión; y, aunque como hemos comentado, resulta adecuado para reparar pequeños deslizamientos, su efectividad es mucho menor que la de las esteras de matorral que veremos a continuación. Es este caso los valores de VM están en el entorno de 0,40; mientras que para las esteras los valores de VM son aproximadamente de 0,05.

Cuando las estaquillas se han desarrollado, la cubierta vegetal contribuye a estabilizar el talud, y favorece su colonización por otras especies del entorno.

Materiales y colocación

Para el estaquillado se emplean ejemplares sanos, mayores de 2 años, con corteza fina, sin ramas laterales y sin estrías. Su diámetro oscila entre 2 y 8 cm, con una longitud entre 50 y 100 cm; y, en todo caso, ésta debe ser suficiente para que llegue hasta el nivel freático en el periodo de estiaje.

Se corta el extremo inferior en ángulo para facilitar su introducción en el suelo, mientras el extremo superior se deja plano para poder clavarlas con un golpe de martillo. Se dejan los extremos de las yemas de crecimiento hacia arriba (aproximadamente una tercera parte de la estaquilla queda por encima de la superficie), y el suelo se compacta a su alrededor.

Se sitúan al trespelillo con una densidad aproximada de 3-5 estaquillas/m².

Coste

El coste de cada una de estas estaquillas, de unos 30 cm de longitud, es de 0,50 €; 1,00 €, si su longitud es de 70 cm; y 1,50 €, si es de aproximadamente 90 cm de longitud, sin incluir el transporte en ninguno de los casos.

Esteras de matorral

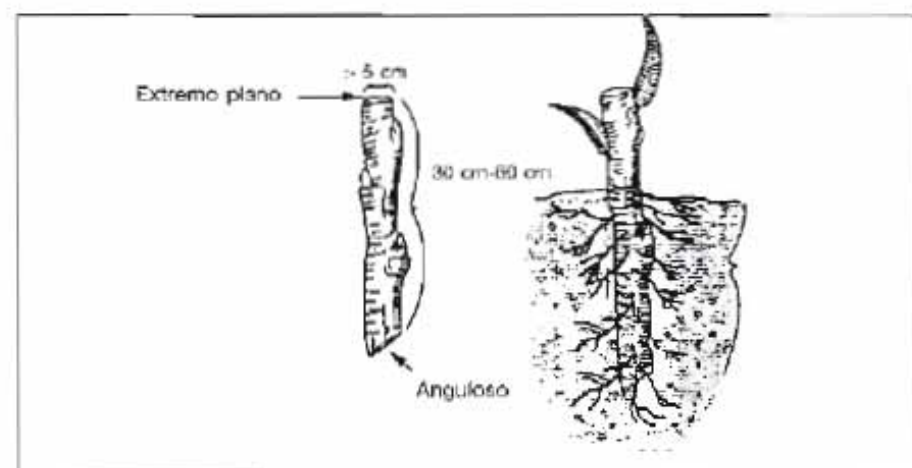
Descripción

Consiste en recubrir el talud con una capa de ramas atadas y entrelazadas de manera que formen una especie de colchón o estera, o simplemente extendidas sobre el terreno y ancladas a él mediante estacas de madera o estaquillas y alambre. Esta técnica está especialmente indicada para el tratamiento de las orillas de ríos y arroyos, donde la pendiente no sobrepasa 3H: 1V o 4H: 1V.

Aplicaciones

Las esteras protegen inmediatamente al talud de la acción de la corriente, y desarrollan con el tiempo una espesa franja de vegetación arbustiva. Por otro lado, el rozamiento de la corriente con la estera reduce la velocidad de la primera en el contacto con el talud, y por consiguiente la energía erosiva del agua (menor VM en la Ecuación Universal, que está entre 0,004 y 0,02).

Las ramas retienen los materiales y sedimentos arrastrados por la corriente, y crean un colchón protector que aísla la orilla de la acción directa del agua y del oleaje.



Materiales y colocación

Se emplean ramas de sauce, álamo y otras especies de tipo ribereño, de fácil enraizamiento y adaptadas a condiciones de encharcamiento periódico. Para el anclaje de las ramas se utilizan estacas de la misma especie, estacas de madera maciza o clavos metálicos y alambre galvanizado de doble torsión.

Se debe despedregar y limpiar la zona donde se va a instalar la estera, para lograr una superficie uniforme que permita un buen contacto entre las ramas y el suelo.

A continuación, se excava una zanja de 20-30 cm de profundidad bajo el nivel mínimo estacional de la lámina de agua. Las ramas se sitúan dentro de la zanja, con el extremo interior orientado a la cara del talud y perpendicularmente al perfil de la orilla. El conjunto de ramas junto a los alambres de sujeción y anclaje debe tener un grosor mínimo de 10 cm. El extremo inferior de las ramas se sujeta con troncos, piedras de escollera o fajinas.

Por último, se clavan unas estacas o estaquillas de madera maciza que atraviesan la capa de ramas; y se ata a ellas el alambre galvanizado de 3 mm de grosor, de manera que se forme una red por encima de las ramas. Este alambre debe quedar bien tensado, para que sujete firmemente la capa de ramas. Las estaquillas deben sobresalir de dicha capa de ramas.

Una vez instalada completamente, la capa de ramas se recubre parcialmente con una capa de tierra de entre 3 y 5 cm de espesor.

Coste

El coste de este tratamiento es de unos 13,5 €/m², para esteras de entre 5 cm y 7,5 cm de grosor; y de aproximadamente 27 €/m², para esteras de entre 7,5 cm y 10 cm de grosor.

Fajinas

Descripción

Consiste en el clavado de estacas de madera o hierro, a los que se fi-

ESTERAS DE MATORRAL



El estaquillado resulta adecuado para pequeños deslizamientos, pues su efectividad es mucho menor que la de las esteras de matorral

cial del mismo hasta el enraizamiento de las plantas, bien para conseguir geométricamente desniveles, que permitan un relleno que sirva de soporte a las plantas,

Aplicaciones

Estabilizan y protegen los taludes frente a los deslizamientos superficiales (0,25-0,75 m de profundidad), y permiten escalar la pendiente de los taludes si es muy pronunciada.

Las raíces que se van desarrollando en las fajinas provocan la contención de las capas superficiales del suelo, evitando la formación de cárcavas y regueros, a la vez que se reduce la longitud efectiva de la pendiente, al quedar dividida en tramos más pequeños por las sucesivas fajinas.

Además, los materiales de escorrentía quedan retenidos en las fajinas, y reducen las necesidades de conservación de las cunetas.



Situación de fajinas en la A-3, en Moratalaz (Madrid).

Materiales y colocación

En las fajinas se emplean tallos y ramas de leñosas con gran capacidad de enraizamiento, que deben ser flexibles, largas, rectas y con yemas de crecimiento activas que se disponen paralelas al perfil del talud, y se entierran someramente.

Para construir las fajinas se utilizan ramas de 1 a 9 m de longitud, con un diámetro comprendido entre 15 y 30 mm, que se agrupan en haces. Las dimensiones son muy variables en función de la zona de actuación; aunque resultan recomendadas las longitudes de 2 a 10 m, y de 15 a 30 cm de diámetro.

Para anclar las fajinas se suelen emplear estacas de madera maciza de entre 0,50 y 1,00 m de longitud.

— longitud variable (2-10 m) —



Haces de ramas, atados firmemente cada 375-450 mm

Para su colocación, se excava una zanja transversal al talud, de longitud ligeramente superior a la fajina; y cuya profundidad será aproximadamente la mitad de diámetro de la misma.

Posteriormente se sitúa la fajina en el fondo de la zanja, y se fija por medio de estacas de madera que se clavan en el suelo. En las zonas de solape de las fajinas, es conveniente disponer más estacas. La cara superior de dichas estacas ha de quedar enrasada con la cara externa de la fajina.

Desde la base del talud hasta la coronación, se van disponiendo filas de fajinas al tresbolillo. Para completar el tratamiento, conviene recubrir el espacio existente entre las fajinas para prevenir la erosión. Si la pendiente es igual o inferior a 5H: 2V es suficiente con extender paja o *mulch*; y, si ésta es superior, debe recurrirse a mantas o redes orgánicas.

Coste

El coste de las fajinas es de 16 € a 30 € por metro, para una separación de 1,20 m.

Escalones de matorral

Descripción

Esta técnica consiste en situar en pequeñas zanjitas a lo largo de la pendiente de un talud una serie de ramas de especies leñosas capaces de enraizar, de manera que formen una especie de escalones o terrazas.

A diferencia de las fajinas, las ramas se orientan perpendicularmente al perfil del talud, y se entierran unos dos metros dentro de él. La orientación perpendicular es más favorable a la estabilidad frente al deslizamiento. Las ramas actúan así como refuerzo, a la vez que frenan la escorrentía y reducen su potencial erosivo.

Aplicaciones

Esta técnica produce inmediatamente efectos positivos en cuanto al control de la erosión, el refuerzo del suelo y la estabilidad del talud fren-

te a deslizamientos someros.

El talud queda dividido en escalones, disminuyendo así la longitud efectiva de la pendiente, y con ello la capacidad erosiva de la escorrentía (como se vio anteriormente, actúa sobre la L de la Ecuación Universal).

Las ramas introducidas en el talud refuerzan el suelo; la vegetación desarrollada a partir de dichas ramas drena los suelos excesivamente húmedos y favorece la infiltración en suelos secos.

Materiales y colocación

Se emplean ramas de sauce, aliso o chopo de entre 20 y 50 mm de diámetro y longitud suficiente para que lleguen al final de la zanja.

La excavación se realiza desde el pie del talud hacia la cabecera, de forma que el material excavado en la zanja superior sirva de relleno a la inmediatamente inferior.

Las zanjitas deben tener una anchura de 0,5 a 1 m con una contrapendiente de 10-20° hacia el talud. Las ramas se introducen en la zanja perpendicularmente al talud, dejando una cuarta parte de su longitud fuera de la zanja. Las ramas se colocan entrecruzadas de manera que formen una especie de estera entre 75 y 200 mm de espesor.

Una vez introducidas las ramas en las zanjitas, éstas se rellenan con tierra, y se compactan para evitar las bolsas de aire. Las yemas de crecimiento sobresalen ligeramente del terreno.

Tras la instalación del primer escalón se procede a instalar el siguiente por arriba, a una distancia recomendada de aproximadamente 1 m.

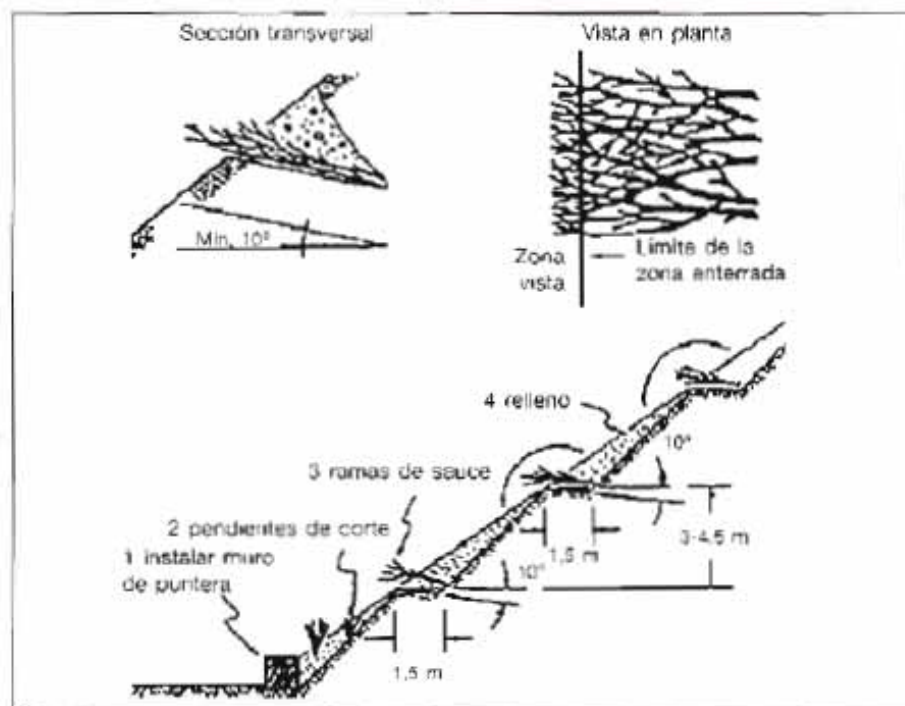
La superficie entre las zanjitas adyacentes debe protegerse de la erosión. Si la pendiente del talud es inferior a 3H: 1V, bastará con sembrar la superficie y echarle una capa de *mulch* de fibra larga; y, si es superior, conviene emplear una red o una manta orgánica.

Coste

El coste aproximado de este tratamiento es de 11,00 €/manejo, pa-



Detalle de la fajina anterior.



ra manojos de 90 cm; 14,00 €/manejo, para manojos de 1,20 m; 18,00 €/manejo, para manojos de 1,50 m; y 21,00 €/manejo, para manojos de 1,80 m.

La elección entre fajinas y escalones de matorral, según Gray y Leiser (1982), debería estar basada en criterios económicos, de estabilidad potencial del relleno y de disponibilidad de plantas adecuadas. Por lo general, se tiende a considerar que los escalones de matorral son más baratos que las fajinas. Los escalones de matorral estabilizan un relleno a mayores profundidades; pero necesitan una mayor cantidad de plantas que las fajinas.

Paquetes de matorral

Descripción

Esta técnica se emplea para reparar las depresiones originadas por pequeños deslizamientos, y consiste en llenarlas con capas alternas de ramas de matorral y tierra compactada. Es válido sólo en deslizamientos menores de 1 m de profundidad o 2 m de anchura.

Aplicaciones

Como hemos dicho, se emplean en la reparación de pequeños deslizamientos. Al instalarse, las ramas

refuerzan el suelo; cuando se desarrollan frenan la escorrentía y disipan su energía erosiva, mientras que las raíces dan cohesión al suelo. Este tratamiento no actúa sobre ningún parámetro de la Ecuación Universal, sino que se emplea en reparaciones puntuales de pequeños deslizamientos.

Materiales y colocación

Se emplean ramas con capacidad de enraizamiento, de 10 a 50 mm de diámetro y longitud suficiente para que lleguen al fondo de la depresión y sobresalgan ligeramente por el extremo superior. También se emplean estacas de madera maciza de longitud suficiente para atravesar completamente la profundidad del deslizamiento, y 75 a 100 mm de diámetro.

Se comienza la instalación por el punto más bajo del deslizamiento, hincando las estacas de madera verticalmente con una separación entre 15 y 30 cm.

Se sitúa una capa de ramas entrelazadas entre 10 y 15 cm en el fondo del deslizamiento, entre las estacas verticales, perpendicularmente a la cara de talud y con las yemas saliendo de éste.

Las siguientes capas se disponen según la figura, con el extremo final más bajo que el extremo que tiene las yemas de crecimiento. Cada capa de ramas se cubre con otra de tierras compactadas. Completada la instalación, el perfil final del relleno debe enrasar con la superficie del talud, sobresaliendo ligeramente las ramas por encima de él.

Coste

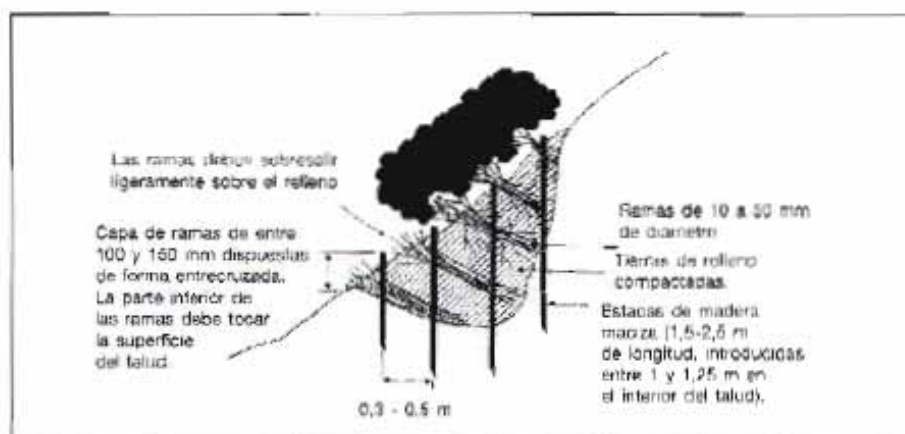
El coste de este tratamiento es de aproximadamente 35 euros. Los esquejes con raíces (vendidos en grupos de 50 plantas) tienen un valor en el entorno de 1,00 euros.

Reparación de cárcavas con material vivo

Descripción

Técnica similar a la anterior; pero más adecuada para reparar depresiones originadas por erosión superficial, como regueros profundos y cárcavas. Consiste en rellenar el reguero o cárcava con capas alternas de ramas y tierras compactadas.

Las ramas refuerzan inmediatamente el suelo, disminuyendo la velocidad del agua de escorrentía, a la



vez que actúan como una barrera-filtro que retiene el material arrastrado. Como en el caso anterior, este tratamiento actúa en reparaciones puntuales, y no afecta a los valores de los parámetros de la Ecuación Universal.

Colocación

Se emplean ramas de 10-50 mm de diámetro, suficientemente largas para alcanzar el terreno no alterado del fondo de la cárcava o reguero, y sobresalir del perfil de la pendiente construida.

Se inicia la instalación por la parte más baja de la zona de actuación, disponiendo las ramas perpendicularmente al talud en capas de 70-100 mm de espesor. Las ramas deben entrecruzarse, orientando los extremos con las yemas de crecimiento hacia la cara del talud y con el otro extremo más bajo que el de crecimiento.

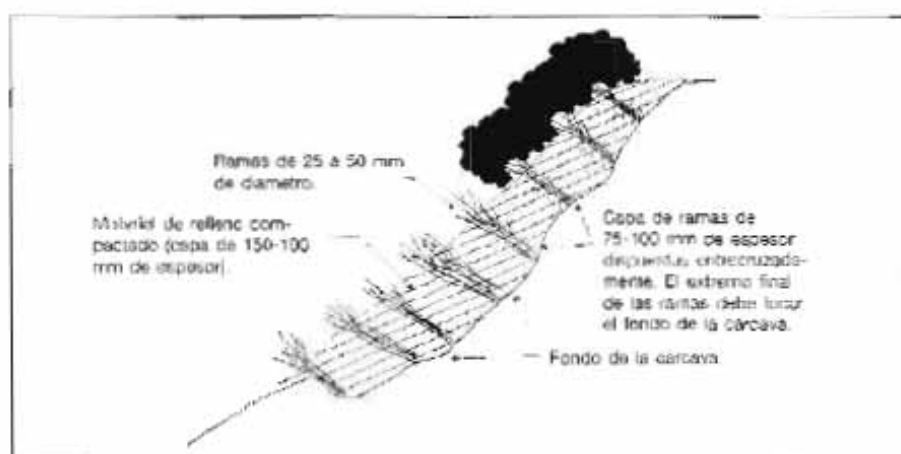
Cada conjunto de ramas se cubre con una capa de tierras de 150-200 mm de espesor, que posteriormente se compacta.

Coste

El coste de este tratamiento está en unos 76 euros en una cárcava de 3 m de longitud, por 0,60 m de anchura y 0,60 m de profundidad, empleando ramas vivas podadas de sauce de 1,20 m de longitud y más de 5 cm de diámetro, separadas cada 1,00 m aproximadamente.

Cuadro-resumen

Tipo de protección y dónde es aplicable	A qué problemas se dirigen									
	Disminución de la fuerza	Incremento de la resistencia	Protección inmediata	Orillas de ríos	Lineas de costa	Taludes planos = 2:1	Hundimientos locales	Presencia de materiales naturales	Habitat de fauna	Habitat acuático
Nombre										
Estaquillado		X	X	X	X	X	X	X	X	X
Fajinas vivas		X	X	X	X	X	X	X	X	X
Paquetes de matorral	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Esteras de matorral		X	X	X	X	X	X	X	X	X



Bibliografía

- Camden, J. and Chairman (1986): "A Practical Guide to Restoration". R.M.C.
- Coppin, N. J. y Richards, I. G. (1990): "Use of Vegetation in Civil Engineering". Cria-Butterworths.
- Coppin, N. J. and Bradshaw, A. D. (1982): "Quarry Reclamation". Mining Journal Books.
- Clark, P. J. (2002): "Soil Bioengineering/Biotechnical Engineering-Design Guidance". New York Department of Transportation.
- Comercial Projar, S. A.: "Información Técnica". <http://www.projar.es>
- Darmer, G. (1991): "Landscape and Surface Mining. Ecological Guidelines for Reclamation". Library of Congress Cataloging in Publication Data.
- E. P. M., S. A. (1989): "Manual de restauración de terrenos y evaluación de impactos ambientales en minería". Serie: Ingeniería Geoambiental. ITGE.
- Gray, D. H. y Sortir, R. B. (1996):

"Bioengineering Slope Stabilization. A Practical Guide for Erosion Control". John Wiley & Sons, INC.

Guthrie, R. H. et al (1998): "Bioengineering Unstable Slopes on Vancouver Island: Effective New Techniques". 8th International IAEG Congress, Vancouver, Canadá.

King County Surface Water Management (1993): "Guidelines for Bank Stabilization Projects in the Riverine Environment of King County". Department of Public Works, Surface Water Management Division, Seattle-Washington.

Larry, D. (2003): "Soil and Water Conservation Management". ASM 521, Purdue University.

Leiser, A.T. (1998): "Biotechnology for Slope Protection and Erosion Control". University of California.

Mataix, C. et al (1999): "Manual de estabilización y revegetación de taludes". Editor Carlos López Jimeno.

Morgan, R. P. C. y Rickson, R. J. (Ed) (1995): "Slope Stabilization and Erosion Control: A Bioengineering Approach". Chapman and Hall.

Romana, M. (2003): "Taludes en Obras Lineales". Cursos de Doctorado. ETS. Ingenieros de Caminos, C y P. Universidad Politécnica de Madrid.

P. Stone, R. y Hilborn, D. (2000): "Universal Soil Loss Equation (USLE)". Ontario Ministry of Agriculture and Food. <http://www.gov.on.ca/OMAFRA/english/engineer/facts/00-001.htm#tab6>

Tenax, S.A.: "Información Técnica". <http://www.projar.es>