

CONTROL DE SEDIMENTOS EN OBRAS CON IMPACTO FLUVIAL PARA EL DESARROLLO DE LA VIGILANCIA AMBIENTAL

Joaquín Navarro Hevia

Dpto. de Ingeniería Agrícola y Forestal. Universidad de Valladolid. Avda. de Madrid 44. 34004-PALENCIA (España). Correo electrónico: jnahev@iaf.uva.es

Resumen

La vigilancia ambiental constituye un procedimiento eficaz para reducir los impactos de obras con movimiento de tierras en las masas de agua. Sin embargo, todavía, en los estudios de impacto ambiental, en las medidas correctoras y en los proyectos de restauración de ríos no se tienen en cuenta métodos suficientemente eficaces para controlar la erosión y reducir los sedimentos, principal contaminante de las aguas. En EE.UU., el empleo de estos métodos es obligatorio con movimientos de tierras de más de 4000 m². Aquí se presenta un resumen de las técnicas presentadas en la II Reunión del Grupo de Hidrología de la SECF con objeto de su incorporación en proyectos de obra civil y forestal que afecten al buen estado de nuestras masas de agua y de su fauna y flora asociada.

Palabras clave: *Control de erosión, Sedimentos, Impacto ambiental, Ríos, Construcción*

INTRODUCCIÓN

La *U.S. Environmental Protection Agency* reconoce que la escorrentía originada por los aguaceros en las zonas perturbadas por movimiento de tierras constituye una amenaza para la calidad del agua y el hábitat acuático. Para proteger las aguas considera en su *Nacional Pollutant Discharge Elimination System* que las obras con una superficie ≥ 4.000 m² son fuente de emisión de aguas contaminantes. Por ello, el constructor está obligado a ejercer, instalar y mantener durante la construcción una serie de Buenas Prácticas de Actuación (BPAs) = *Best Management Practices* (BMPs). La EPA exige: notificación de comienzo y finalización de las obras; proyecto de técnicas, métodos y medidas para controlar la contaminación del agua (*Storm Water Pollution Prevention Plan- SWPPP*) (antes, durante y tras la construcción); plan de inspec-

ción de obras y emisiones; mantenimiento de las obras de control de la contaminación; custodiar la información generada durante la ejecución durante al menos tres años. En nuestro país, controlar la calidad de las aguas afectadas por las obras debe asegurarse a través de la evaluación de impacto ambiental y la vigilancia ambiental. Sin embargo, hoy en día, todavía no parece desarrollarse en los proyectos y labores de control una sensibilidad suficiente para implementar medidas eficaces en la protección y conservación de nuestras aguas.

Según diversos estudios, la mayor fuente de contaminación de las aguas son los sedimentos (GRAY & SOTIR, 1996; FORMAN et al., 2003; FIFIELD, 2005) causados por la erosión hídrica. Los tipos de erosión que originan sedimentos en las obras son: erosión por salpicadura (*splash*); laminar (*sheet erosion*); en regueros (*rills*); en cárcavas (*gullies*); deslizamientos; socavación

de márgenes y del lecho en cunetas, zanjas o canales (Figura 1). De todos modos, la mayor parte de los sedimentos que se originan en estas zonas provienen de la erosión superficial (laminar, regueros y cárcavas). Según MITCHELL & BUBENZER (1980), la erosión en cárcavas puede producir 10 veces más sedimentos que las otras dos formas. Durante los trabajos de construcción de la Autovía Grado-Oviedo, NAVARRO *et al.* (2006) registraron una erosión en desmontes de $44 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ en 9 meses, de los cuales el 84% procedían de profundos regueros ($>7.5 \text{ cm}$); en terraplenes desnudos se midieron tasas de $5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ en 5 meses, debidos a erosión laminar; en algunos puntos de confluencia con los cauces se registró una emisión de sedimentos entre 69 y $500 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ causados por las obras; y en ciertos tramos con tránsito de maquinaria por el lecho se midieron tasas de sedimentación 24 veces superiores a las naturales. En general, la erosión en los terrenos constructivos supera enormemente la que se suele producir en los terrenos agrícolas y forestales (GRAY & SOTIR, 1996; TROEH *et al.*, 1999; FIFIELD, 2004) y sobrepasa las $150 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ (DISEKER & RICHARDSON, 1961; HAIGH, 1987; GRAY & SOTIR, 1996; NAVARRO, 2002; NAVARRO *et al.*, 2002). Por ello, los terrenos constructivos son una fuente de

sedimentos notable si no se controlan (NAVARRO *et al.*, 2008). A parte de la contaminación que producen los sedimentos en suspensión, la mitad de los metales que alcanzan las aguas se transportan con ellos (CALTRANS, 1996).

La mejor medida para evitar la erosión es una adecuada cubierta vegetal, ya que proporciona: protección del suelo contra el impacto de las gotas de lluvia; evita el encostramiento; reduce la cantidad y velocidad de la escorrentía superficial y, por tanto, su capacidad erosiva; los tallos y troncos sobre el suelo capturan sedimentos; las raíces arman el terreno aumentando su estabilidad y resistencia al arrastre (HAMMOND *et al.*, 1992; MORGAN & RICKSON, 1995; GRAY & SOTIR, 1996); también frena la erosión de las semillas. Así, cuando no existe cubierta vegetal en un plazo razonable de tiempo, será necesario acudir a otras medidas como, por ejemplo, la cubrición con mulches. En la Tabla 1 y Figura 2 se adjuntan algunas cifras en cuanto a reducción de la erosión con diferentes cubiertas según MEYER *et al.* (1972), MITCHELL & BUBENZER (1980), BURROUGHS & KING (1989), NAVARRO (2002) y FIFIELD (2005). El manejo del terreno puede ayudar a controlar las pérdidas de suelo en un 10% (aumentar la rugosidad superficial, trabar paja en superficie,...) o acelerarlas hasta un

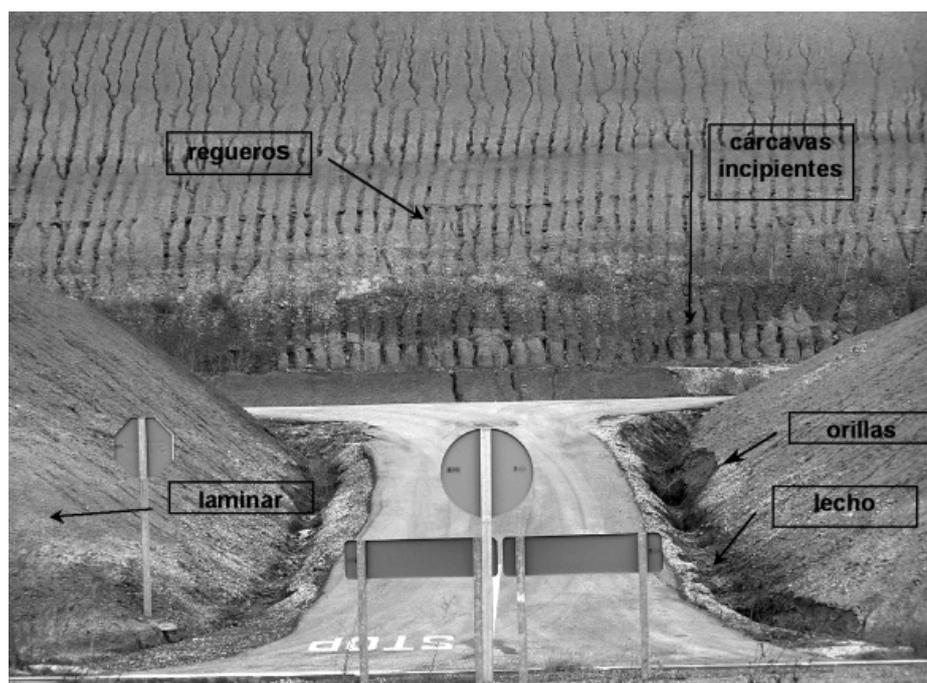


Figura 1. Formas de erosión en taludes constructivos (Burgo de Osma, Soria) próximos al río Ucero

Tipo de cubierta	% reducción
Mulch de paja o heno	
- 1'1 t·ha	75
- 2'2 t·ha	87
- 4'5 t·ha	98
Herbáceas en siembra o tepes	
- 40% de cobertura	90
- 60% “ “	96
- +90% “ “	99
Hidrosiembras	
- 25% - 50% (por el efecto del estabilizador de la mezcla)	80
Arbustos	
- 25% de cobertura	60
- 75% “ “	72
Árboles	
- 25% de cobertura	58
- 75% “ “	64
Mantas de Control de erosión y similares (RECP)	75 – >99%

Tabla 1. Reducción de la erosión con diversas cubiertas (Basado en: MEYER et al., 1972; MITCHELL & BUBENZER, 1980; NAVARRO, 2002; FIFIELD, 2005)

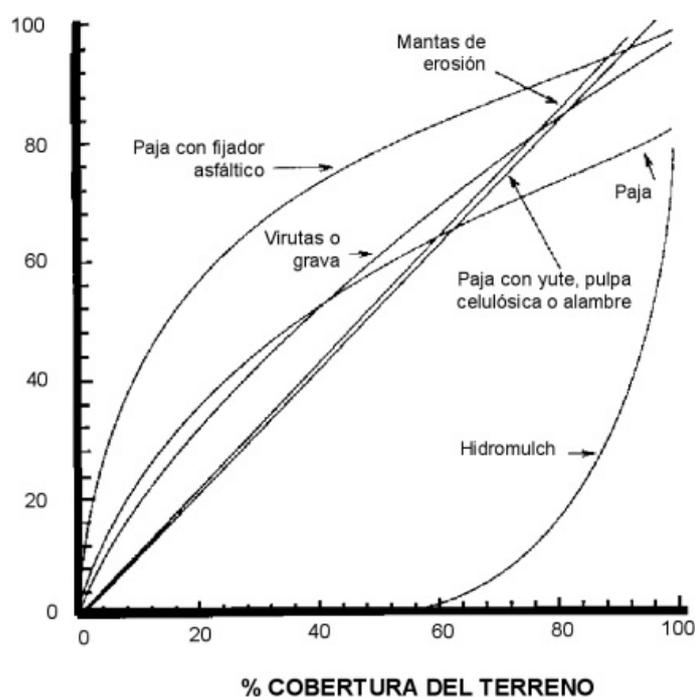


Figura 2. % de reducción en producción de sedimentos según el % de cobertura del terreno (traducido de BURROUGHS & KING, 1989)

30% (compactado y alisado según GOLDMAN et al. (1986) y MEGAHAN et al. (1992).

Las obras con movimiento de tierras deben diseñarse, planearse, ejecutarse y explotarse minimizando la erosión y los sedimentos en las corrientes de agua. Desafortunadamente en

nuestro país, nos encontramos todavía con una falta considerable de recursos y sensibilidad, sin reparar en que este problema no es puntual o estético (NAVARRO et al., 2008), sino que repercute a corto, medio y largo plazo en diversos sectores medioambientales y económicos: col-

matación de embalses, puertos, ríos y estuarios; perjuicios en la energía hidroeléctrica, en los bombeos de regadío, la productividad de piscifactorías (SANZ *et al.*, 2008), etc.; en el drenaje de cunetas y pasos de agua de las infraestructuras; la turbidez, los metales pesados, el sellado de frezaderos, la pérdida de alimento, etc.; la contaminación de aguas potables, el impacto paisajístico; el valor recreativo de las aguas; etc. Para conseguir buenos resultados en los proyectos con los métodos de control de erosión y sedimentos en las obras, hay que resaltar la importancia de las relaciones entre los agentes implicados (contratista y director ambiental) y de alcanzar los objetivos ambientales (SAIZ *et al.*, 2006). Es responsabilidad del Constructor:

- 1- COMPRENDER que debe ejecutar las obras con el MÍNIMO IMPACTO.
- 2- INSTALAR, INSPECCIONAR y MANTENER las BPAs.
- 3- TRANSMITIR a sus empleados la importancia de la vigilancia ambiental y enseñar lo necesario en cuanto a control de erosión y sedimentos. El Director Ambiental tiene que:
- 1- ESTAR HABILITADO en la MATERIA.
- 2- COMPRENDER EL PLAN de control a ejecutar con el Constructor y durante la obra.
- 3- CONOCER SUS LIMITACIONES (su habilidad para dialogar, acordar y controlar (sin vigilar) de acuerdo con los medios a su disposición y el objeto del proyecto son importantes para evitar conflictos).
- 4- COMUNICAR con fluidez adecuada para advertir sobre los problemas, disfunciones y consecuencias del mal funcionamiento de las medidas, para corregir en tiempo y forma y evitar sanciones y/o conflictos.
- 5- ACORDAR REUNIONES Y VISITAS de INSPECCIÓN regularmente con los implicados.
- 6- HACER COMPRENDER que la obra es un todo y que la vigilancia ambiental no es una restricción. Su cumplimiento, según lo dispuesto en el proyecto, es bueno para todos. Si cada uno ejercita su papel con responsabilidad y se cumplen las medidas ambientales la reducción de sedimentos en nuestras aguas disminuiría en un 50%. Una buena parte de los problemas que surgen durante la construcción tiene solución con los materiales, equipos y procesos de ejecución presentes durante la misma. No obstante, las medidas de control de erosión y sedimentos propuestas se van a agrupar en dos tipos: *medidas*

estructurales o de control del sedimento y medidas no estructurales o de control de la erosión.

MEDIDAS ESTRUCTURALES: CONTROL DE SEDIMENTOS

Son los *sistemas de retención de sedimentos* y las *barreras* principalmente. Entre los primeros se engloban las *áreas de sedimentación*, *balsas de decantación* y las *trampas de sedimentos*. Su función es crear las condiciones para permitir la decantación del sedimento transportado por la escorrentía. Cuando se diseñan correctamente proporcionan:

- 1- Almacenamiento del volumen de escorrentía generado.
- 2- Zonas de reposo para conseguir la sedimentación de las partículas.
- 3- Laminación de caudales y emisión de un flujo más uniforme hacia las aguas naturales.

Según FIFIELD (2004) existen 3 tipos de sistemas de retención:

Tipo I: retienen partículas de $\varnothing \leq 0'045$ mm (limos gruesos y arcillas). Son las áreas de sedimentación y las **balsas de decantación**. Las primeras son grandes áreas donde la escorrentía permanece periodos suficientes para depositar todo tipo de partículas. Requieren grandes superficies e inversiones, por lo que quedan restringidas a casos muy particulares. Lo normal son las balsas de decantación (Figura 3), cuando la superficie a drenar es >2 ha (GOLDMAN, 1986), diseñadas a partir de la escorrentía generada por la $P_{\max,d}$ de periodo de retorno 2 años (FIFIELD, 2005).

Tipo II: retienen partículas de \varnothing entre 0'045 mm y 0'14 mm (limo muy grueso a arena fina). Son las **trampas de sedimentos** (Figura 4) que se recomiendan si la superficie a drenar es <2 ha.

Tipo III: retienen partículas cuyo $\varnothing > 0'14$ mm (arenas medias a gruesas). Se asimilan a los sistemas de barrera: pacas de paja, pantallas, bermas, etc. Son los más empleados como BPAs, pero su eficacia es pequeña siendo adecuados con baja escorrentía y como medidas temporales. Tanto las balsas de decantación como las trampas de sedimentos no retienen el 100% de los sólidos en suspensión. Sin embargo, correctamente ejecutadas, pueden retirar $\geq 75\%$ de sedimento, según la naturaleza de los terrenos y de la lluvia. Cuando son muy arcillosos, se recomienda instalar una trampa de sedimentos de doble cámara o una balsa de



Figura 3. Pequeña balsa de decantación en la autovía de Valladolid-Salamanca



Figura 4. Trampa de sedimentos deficientemente instalada, con vertedero inadecuado en la que se está produciendo la salida de material al cauce por falta de mantenimiento

decantación ya que, en este caso, el coeficiente de retención suele ser $<75\%$.

Entre los **sistemas barrera** o sistemas de retención tipo III destacan:

Pacas de paja: Pueden instalarse como barreras de sedimentos o como estructuras de retención para estabilizar canales. Deben colocarse en una zanja de 10 cm de profundidad, anclarse con estacas y rellenarse parcialmente su trasdós (≈ 10 cm) para que sean efectivas (Figura 5). Cuando se instalan al pie de un talud, tienen que distanciarse para incrementar su capacidad. No deberían permanecer >12 meses en el terreno. El material retenido debe retirarse si quedan 15 cm hasta la parte superior.

Pantallas de retención (pantallas filtro de fango): Un geotextil se ancla en el terreno mediante estacas, barras o redes metálicas formando un apantallamiento que retiene la escorrentía y el sedimento. La parte inferior del geotextil debe enterrarse en una pequeña zanja para que la escorrentía no fluya por debajo. Deben inspeccionarse y repararse tras cada episodio de escorrentía. El material retenido se evacuará cuando se acumule más de la mitad de la altura de las pantallas.

Barrera de berma continua: es una medida temporal de confinamiento de sedimentos para escorrentías pequeñas. Es un saco continuo relleno de arena o grava, de unos 30 cm de ancho x 20-40 cm de alto y longitud variable, que se fija al terreno con anclajes. Se instalan al pie de laderas o zonas en construcción; presen-

tan menor capacidad de retención que las anteriores. Se instalan antes y durante la construcción. Existen máquinas que los ejecutan directamente en el lugar de emplazamiento. También se pueden construir con biorrollos de fibra vegetal. Para un buen funcionamiento debe asegurarse un buen contacto entre la barrera y el terreno. Debe verificarse que no existen roturas y retirarse el sedimento con frecuencia para evitar desbordamientos.

Barreras flotantes antiturbidez: son pantallas subacuáticas que detienen los sedimentos de una obra en la orilla del agua. De unos flotadores cuelga un geotextil hasta el lecho. Éste permite el movimiento del agua pero no de los sedimentos. Debe instalarse antes y durante las fases de construcción y siempre que no haya corrientes u oleaje que puedan derribarla o trasladar los sedimentos más allá de la barrera. Cuando finaliza la obra, la barrera se retira después de los sedimentos atrapados (Figura 6).

Barreras de agua: conforman una zona seca de trabajo a modo de ataguía. También trabajan como balsa de decantación, trampa de sedimentos o barreras de agua/sedimentos. Se instalan antes de las obras y se mantienen mientras dura la obra. Como balsa de decantación se verificará: dónde y cómo se descargan las aguas retenidas y dónde se llevan los sedimentos acumulados. Si trabaja como ataguía: se comprueba que no penetre agua en la zona de trabajo. Una vez que se han terminado los trabajos, antes de retirar la barrera deben haberse estabilizado los terrenos (Figura 7).



Figura 6. Pantalla flotante para control de sedimentos por construcción de una minicentral en el río Umia

Figura 5. Incorrecto emplazamiento e instalación de pacas de paja. Los sedimentos pasan al río Nora alrededor, entre y por debajo de las pacas

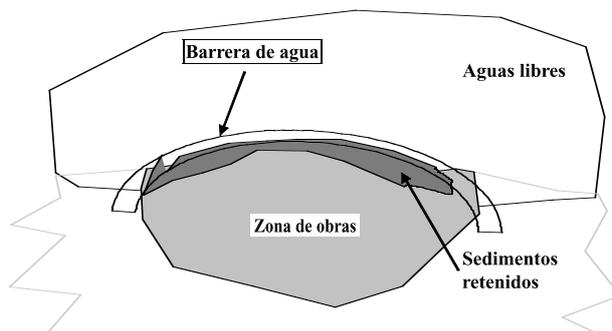
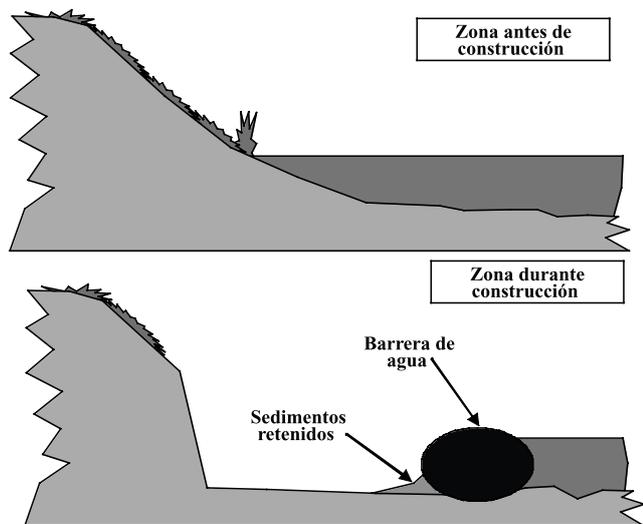


Figura 7. Perfil y planta de la instalación de una barrera de agua

Barreras para alcantarillas: se colocarán sin que provoquen encharcamientos alrededor de la zona a proteger, pero retendrán los sedimentos impidiendo que penetren. Se usarán cuando el terreno alrededor de los drenajes esté desnudo (Figura 8) y permita su instalación. Se ejecutan con pacas de paja, pantallas filtrantes o mediante bolsas filtro. Las dos primeras deben emplazarse siguiendo las instrucciones descritas previamente. Los detalles se adjuntan en la Figura 8. Las **bolsas filtro** atrapan partículas en suspensión de diámetro grueso de los flujos que entran en una alcanta-

rilla. Se colocan en las obras, una vez construido todo el drenaje, dentro de las alcantarillas (Figura 9). Se instalan cuando funciona el sistema de recogida de aguas pluviales y las actuaciones de remodelado del terreno han finalizado; también durante la nueva construcción en la zona de edificios, etc. No deben colocarse terminadas las obras o cuando se están realizando intensas labores de excavación. Tampoco cuando se prevén fuertes heladas. Se vigilará cuándo están llenas, pues dejan de ser operativas, y que no se hayan desprendido al interior de la conducción.

Protección de accesos (Firmes antibarro): proporcionan una estructura temporal que minimice la tierra adherida a los vehículos de la obra cuando salen hacia carreteras. Se construye con gravas de 5-10 cm formando una capa de 15 cm de grosor, 3-4 m de ancho y 15 m de largo. Existen prefabricados en forma de enrejado, que aseguran el vibrado de los neumáticos antes de su salida a la circulación vial. También se pueden improvisar con perfiles metálicos, vigas de madera o de hormigón. Se colocan a la salida de las

obras antes de comenzar el movimiento de tierras y se mantendrán mientras dura el proyecto, no siendo útiles terminado éste, si se han ejecutado medidas de revegetación o desaparece el tránsito.

**MEDIDAS NO ESTRUCTURALES:
CONTROL DE EROSIÓN**

Suelen ser: control de la escorrentía, empleo de la vegetación, *mulching* y estabilización de

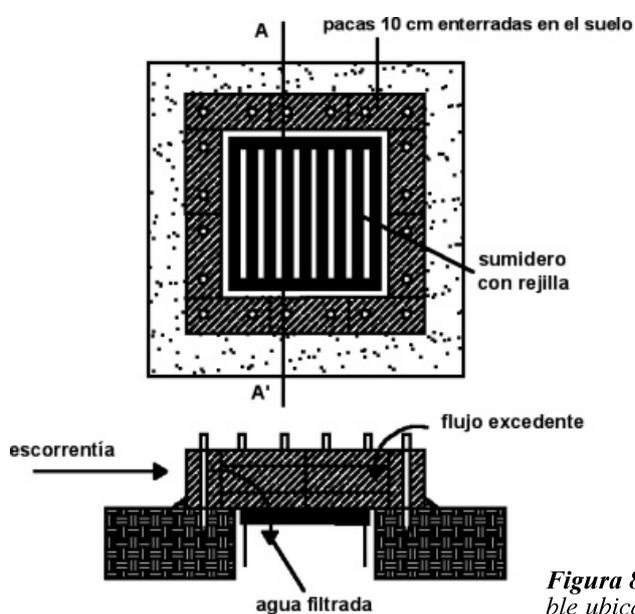


Figura 8. Croquis de un sistema de barrera de pajas de paja y posible ubicación en obras de la Autovía Grado-Oviedo

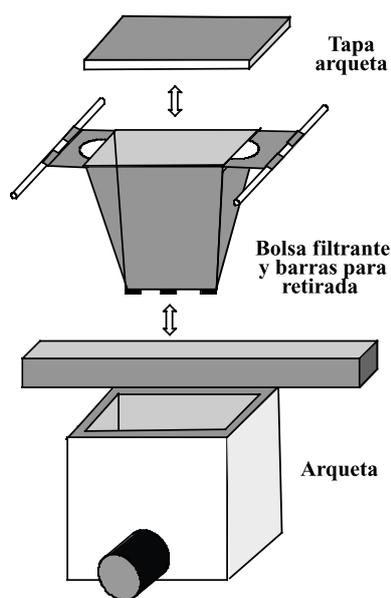


Figura 9: Instalación de una bolsa filtro para alcantarillas



Figura 10. Cordón de vegetación



Figura 11. Zanja de interceptación (Cerro del Cristo, Palencia)

suelos. Son más eficientes que las anteriores, ya que una reducción de la erosión repercute en la producción de sedimentos. Por ello, la medida principal consiste siempre en alcanzar un adecuado grado de control de erosión en la obra. Mientras que se consigue o cuando no es posible, entonces las medidas de control de sedimentos se hallan plenamente justificadas.

Control de la escorrentía: Dentro de estas medidas distinguimos: 1- Protección de salidas y entradas de agua, vertederos, disipadores y embocaduras. 2- Cunetas y bajantes. 3- Cordones de vegetación (Figura 10). 4- Zanjas de interceptación (Figura 11). 5- Terrazas. 6- Empalizadas según curvas de nivel.

Empleo de la vegetación: Es el mejor método de control, por lo que se recomienda mantener la vegetación existente en la zona o revegetar los taludes creados durante la obra. Existen diferentes métodos para conseguir un buen grado de cobertura vegetal que no se pueden explicar aquí pero se realizan algunas consideraciones:

- *Plantación de tepes de hierba:* En climas húmedos donde existe una buena producción es rápido y relativamente económico. En zonas secas puede resultar muy caro porque no se asegura el arraigo si no se apoya con riegos.
- *Siembra:* Es la alternativa más frecuente para pendientes <10-15% (en superiores será

necesario usar geotextiles orgánicos o hidro-siembras para evitar la erosión de las semillas). Debemos seleccionar bien la mezcla de semillas, de modo que tengamos suficientes especies que permanezcan en el terreno. Una mezcla de gramíneas, leguminosas y/u otras herbáceas propias de la zona ($15-20 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$) en proporción similar a los terrenos naturales ofrecerán los mejores resultados. Es necesaria una buena preparación del suelo, dejando mullidos unos 15 cm de suelo por lo menos, cuestión que pocas veces se realiza y se semilla sobre escombros de obra, sobre el terreno compacto por la maquinaria, sin uniformizar regueros y cárcavas, etc.

- *Hidrosiembra:* Las pendientes >15% deben sembrarse mediante métodos hidráulicos. La proyección mediante un cañón hidráulico desde una cisterna (Figura 12) de agua ($1 \text{ ó } 2 \text{ l}\cdot\text{m}^{-2}$); mulch de fibra vegetal ($200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$); fertilizante ($1 \text{ kg de estiércol}\cdot\text{m}^{-2}$); estabilizadores y semillas ($15-20 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$) permite establecer una cubierta en un tiempo entre 15 días a 1 mes. Si el riesgo de lluvia torrencial es alto, conviene proteger las hidrosiembras con geotextiles orgánicos. En zonas húmedas, las hidrosiembras se hacen en una sola fase, mientras que en zonas secas, para que las semillas no queden encima del mulch y se deshidraten debe aplicarse en dos fases:



Figura 12. Hidrosembradora en las minas a cielo abierto de Barruelo de Santullán (Palencia)



Figura 13. Red orgánica de coco

fase 1 = mulch + semillas + estabilizador + fertilizante + agua; fase 2 = mulch + estabilizador + agua.

Mulching: En la Tabla 1 y Figura 2 se han indicado algunas dosis de *mulches* y su grado de control de la erosión. En seco tienen que fijarse mediante georedes o redes metálicas; en húmedo, mediante proyección hidráulica con un estabilizador. Para que sean efectivos (paja, heno,...) hay que alcanzar coberturas entre 80%-100%. El material procedente de claros, desbroces, siegas,..., próximos a la zona de trabajo es muy eficaz y bajo en coste. Estos materiales suelen aportar semillas propias de la zona y ayudan a la revegetación (MONTALVO et al., 2004). El *mulch* es eficaz hasta que se alcanza un grado de revegetación adecuado, a partir de ese momento las plantas trabajarán contra la erosión. Los *mulches* sin semillas son interesantes para estabilizar temporalmente terrenos desnudos hasta su revegetación definitiva.

RECPs (Rolled Erosion Control Products): son geotextiles orgánicos o de fibra vegetal (biodegradables entre 1 a 5 años, excepcionalmente 10 años) más *geotextiles sintéticos* de dos dimensiones (2 D, biodegradables o no). También se conocen como alfombras orgánicas o redes para control de erosión. Reducen la erosión >99% en los dos primeros años (NAVARRO, 2002; NAVARRO Y PANDO, 2002) y crean condiciones adecuadas para ayudar a la revegetación. Incrementan la infiltración, reduciendo la escorrentía. También mejoran las temperaturas sobre el terreno, mantienen la humedad y sujetan la tierra vegetal y las semillas en fuertes declives (NAVARRO et al., 1997). A su vez estos materia-

les pueden ser tejidos, redes (Figura 13), o no tejidos, mantas (Figura 14). Se confeccionan con paja, heno, fibra de coco, sisal, yute, fique, esparto, fibra de madera, fibras plásticas (polipropileno, nylon,...), o mezclas. Son eficaces si:

- 1- Antes de su instalación se realiza una buena siembra o hidrosiembra.
- 2- Se asegura un perfecto contacto entre los RECPs y el terreno.
- 3- Se solapan al menos 10 cm entre los RECPs y siempre colocando encima el final de un rollo sobre el principio del otro siguiendo la dirección de los vientos dominantes.
- 4- Se asegura los RECPs en cabecera mediante una zanja de 15 cm de profundidad y se grapa adecuadamente según la pendiente (2 grapas·m² en taludes 1:1, (BONTERRA, 1998; 2006) y la profundidad según la compactación del terreno. Si está muy suelto se recomiendan grapas >20 cm; en terrenos compactos ≈15 cm.
- 5- Se estudia su empleo en terrenos pedregosos o rocosos o sobre superficies impermeables, muy reguerizadas o con vegetación previa bajo ellas.

La Tabla 2 muestra la durabilidad, composición y campo de aplicación de diversos tipos.

Refuerzo ligero con RECPs: Cuando el agua fluye a través de zanjas o cunetas sin revestimiento, canales, ríos degradados,..., la velocidad del flujo puede causar erosión del lecho y las márgenes. También el oleaje es causa de erosión en las orillas de embalses, lagos, lagunas, costas... Las soluciones clásicas son escolleras, corazas de gaviones, hormigón armado, etc. Sin embargo los sistemas de refuerzo ligero con



Figura 14. Instalación de mantas orgánicas de esparto en taludes de ferrocarril (Palencia)

Tipo de geotextil	Duración (años)	Composición (%)	Pendiente recomendada	Pluviometría
Manta paja (300-500 g)	2	100	≤4:1	moderada
Manta de fique (360 g)	2	100	Se ha utilizado en todo el rango en Colombia y Brasil	Se ha empleado en un amplio rango en Colombia y Brasil
Manta paja-coco (250-400 g)	2-3	50-50	≤ 3:1 a 1:1	media
Manta paja-coco (250-400 g)	2-3	70-30	2:1 a 1:1	intensa
Manta paja-esparto (325-425 g)	3	70-30	2:1 a 1:1	intensa
Manta coco (225-350 g)	3-4	100	2:1 a 1:1	intensa
Manta coco (500 g)	4	100	≥ 1:1	intensa
Manta coco+red de coco	4	100	≥ 1:1	intensa
Manta esparto (350-450 g)	3-4	100	≥ 1:1	intensa
Red de yute (600 g)	2-3	100		
Red de coco (350-400 g)	7-10	100	suaves	moderada
Red de coco (500 g)	10	100	moderadas	media-intensa
Red de coco (700 g)	10	100	altas	intensa

Tabla 2. Tipos de mantas y redes orgánicas y campo de aplicación. (Basado en NAVARRO, 2002, a partir de BONTERRA, 1998; PROJAR, 1995; DUQUE, 2002)

RECPs son una alternativa interesante. Dado que la vegetación es el mejor controlador de la erosión posible, en los canales o cunetas resulta complicado llevar a cabo una revegetación cuando fluye una corriente de diferente magnitud y frecuencia. El uso de RECPs permite mantener la tierra y las semillas hasta que éstas germinen evitando la erosión (Figura 15) y proporcionando una resistencia adicional mientras no se degraden (DUQUE, 2002). Si se utilizan RECPs de fibra, será la vegetación posteriormente quien se encargará de defender el terreno. No obstante, si

se quiere una mayor resistencia, serán mejor los RECPs sintéticos. El éxito depende de cumplir las especificaciones técnicas que facilitan los proveedores. Conviene prestar especial atención a la dirección de los solapes para que la corriente no levante los geotextiles.

Mantas de tierra reforzada (TRMs): Son mantas o redes de polipropileno, nylon, ..., (*geotextiles sintéticos tridimensionales (3D)*) que permiten crear un espesor de tierra reforzada y revegetada. También se manufacturan de fibras vegetales, pero su durabilidad es menor.



Figura 15. Restauración de un canal en Colombia con redes sintéticas (2 D) entre oct. 2001 y en. 2002 (cortesía del Ing. Juan Guillermo Duque)

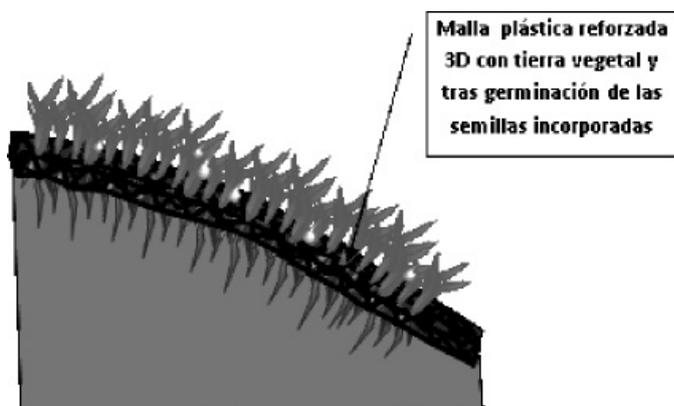


Figura 16. Revegetación de un talud con TRMs (3D)

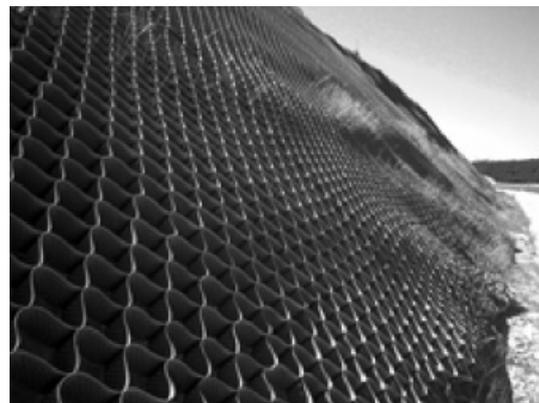


Figura 17. Geoceldas en la autopista Palencia-Santander



Figura 18. Bloques cerámicos huecos en Ribas de Campos (Palencia)

Resisten pendientes acusadas y fuertes velocidades de corriente ($5-6 \text{ m}\cdot\text{s} \approx 20 \text{ h}$) (PRESTO, 2000). Resultan eficaces en la protección de ciertas laderas y márgenes de ríos, canales, etc. Se coloca primero el TRM, se distribuye la semilla y se aplica inmediatamente la tierra vegetal sobre la matriz para asegurar la germinación (Figura 16). Si ésta no es rápida, hay riesgo de que la corriente erosione la tierra y semillas. En climas áridos, donde el retraso en germinar puede ser alto, se puede aplicar primero la semilla, luego una capa ligera de *mulch* (paja, heno) y luego colocar la manta. También se podrían ejecutar como en el caso anterior y proteger luego con una manta de paja o coco. La instalación es semejante a los RECPs.

Sistemas de confinamiento celular: Cuando las condiciones de corriente o la morfología de un talud no admiten los TRMs, se puede emplear este sistema de refuerzo en celdas o bloques huecos de estructuras sintéticas (*geoceldas*) o *bloques cerámicos* (Figuras 17 y 18). Se

colocan en fuertes pendientes para crear un espesor de suelo revegetable superior a unos 10 cm, cubrir y revegetar escolleras, proteger márgenes de ríos, zonas húmedas y costas, o para construir pasos de maquinaria en ríos (para vadearlos sin destruir el lecho) o terrenos poco coherentes (dunas).

BIBLIOGRAFÍA

- BONTERRA; 1998. *Catálogo de materiales, métodos y productos*. Granada. Bonterra Ibérica.
- BONTERRA; 2006. *Catálogo de Productos para Restauración de Áreas Degradadas*. Bonterra Ibérica. Granada.
- BURROUGHS, E.R. & KING, J.G.; 1989. *Reductions of soil erosion on forest roads*. Intermountain Research Station. Technical Report INT-264. Forest Service. USDA.
- CALTRANS; 1996. *Caltrans Storm Water Quality Handbooks. Construction Staff Guide*.

- California department of Transportation. Sacramento. CA.
- DISEKER, E.G. & RICHARDSON, E.C.; 1961. Roadside sediment production and control. *Transactions of the ASAE* 4(1): 62-64, 68.
- DUQUE, J.G.; 2002. Control de erosión utilizando productos de fibra natural, fique. *En: J. Suarez (ed.), Memorias 1^{er} Simp. Latinoamer. Control de Erosión*. Formato CD-R.: 1-4. Bucaramanga, Colombia.
- FIFIELD, J.S.; 2004. *Designing for Effective Sediment and Erosion Control on Construction Sites*. Forester Communications Inc. Santa Barbara, CA.
- FIFIELD, J.S.; 2005. *Field Manual on Sediment and Erosion Control*. Forester Communications Inc. Santa Barbara, CA.
- FORMAN, R.T.T.; SPERLING, D.; BISSONETE, J.A.; CLEVINGER, A.P.; CUTSHALL, C.D. & DALE, V.H.; 2003. *Road Ecology*. Island Press. London.
- GOLDMAN, S.J.; JACKSON, K. & BURSZTYNSKY, T.A.; 1986. *Erosion and Sediment Control Handbook*. McGraw-Hill Company, New York.
- GRAY, D.H. & SOTIR, R.B.; 1996. *Biotechnical and Soil Bioengineering Slope Stabilization*. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- HAIGH, M.J. 1987. Roadbank sediment yield in Central Oklahoma. *In: CNRS Processus et mesure de l'erosion*: 221-227. CNRS. Nancy.
- HAMMOND, C.; HALL, D.; MILLER, S. & SWETIK, P.; 1992. Level I Stability analysis (LISA) documentation for version 2.0. *General Technical Report INT-285*. Forest Service. Intermountain Research Station. Ogden, UT.
- MEGAHAN, W.F.; MONSEN, S.B.; WILSON, M.D.; LOZANOS, N.; HABER, D.F. & BOOTH, G.D.; 1992. Erosion control practices applied to granitic roadfills for forest roads in Idaho: cost effectiveness evaluation. *Land Degradation and Rehabilitation* 3: 55-65.
- MEYER, L.D.; JOHNSON, C.B. & FOSTER, G.R.; 1972. Stone and woodchip mulches for erosion control and construction sites. *J. Soil Water Conservation* 27(6): 265-269.
- MITCHELL, J.K. & BUBENZER, G.D.; 1980. Soil loss estimation. *In: M.J. Kirby & R.P.C. Morgan (eds.), Soil Erosion*: 17-62. John Wiley & Sons. New York.
- MONTALVO, J.; CASAL, P.; PESTAÑA, M. Y NAVARRO, J.; 2004. Nuevos biomateriales de estabilización de desmontes y laderas. *En: IV Simposio Nacional sobre Geotecnia Vial*. Santander.
- MORGAN, R.P.C. & RICKSON, R.J.; 1995. *Slope stabilization and erosion control: a bioengineering approach*. E & FN SPON. London.
- NAVARRO, J.; SERRANO, C.; UGALDE, M.; ORIA DE RUEDA, J.A. Y JONTE, M.A.; 1997. Utilización de geotextiles en la corrección de cárcavas del Cristo del Otero (Palencia). *En: F. Puertas y M. Rivas (eds.), Actas del I Congreso Forestal Hispano-Luso Irati 97, II*: 443-448. Gráficas Pamplona. Pamplona
- NAVARRO, J.; 2002. *Control de la erosión en desmontes originados por obras de infraestructura viaria: Aplicación al entorno de Palencia capital*. Tesis Doctoral. E.T.S.I. Montes. U.P. de Madrid. Archivo Digital de la Univ. Politéc. de Madrid. Madrid
- NAVARRO, J. Y PANDO, V.; 2002. Estudio comparativo de cinco tratamientos de control de erosión en desmontes del ferrocarril en Palencia (España). *En: I Simposio Latinoamer. Control de Erosión*: 10 p. Bucaramanga. Colombia.
- NAVARRO, J.; SAN MARTIN, R. & JONTE, M.A.; 2002. Erosion rates in railroad cuts around Palencia (Spain), *In: J.L. Rubio, R.P.C. Morgan, S. Asins & V. Andreu (eds.), Proceedings of the Third International Congress Man and Soil at the 3th Millennium*: 1401-1414. Geoforma. Logroño.
- NAVARRO, J.; VÉLEZ, M.; ROJO, A. Y CRUZ, P.; 2006. Estudio de la revegetación, producción y emisión de sedimentos durante las obras de la autovía oviedo-salas (Asturias). *En: I Congreso Nacional de Medio Ambiente en Carreteras*. Santander.
- NAVARRO, J.; SANZ, F.J. & SÁIZ, A.; 2008. Soil erosion and sediment yields in some construction areas in Spain and its impact on rivers. *On- and off-site environmental impacts of runoff and erosion. Abstract book*. Final COST 634: p. 82. International Conference, Aveiro. Portugal.
- PRESTO; 2000. *Perforated Geoweb Cellular Confinement System*. Presto Products Company. WI.
- PROJAR, S.A.; 1995. *Catálogo de Comercial Projar, S.A*. Comercial Projar. Valencia.

- SÁIZ, A.; NAVARRO, J.; VÉLEZ, M., Y CRUZ, P.; 2006. Dirección y vigilancia ambiental en carreteras. Análisis y propuestas de mejora. *En: I Congreso Nacional de Medio Ambiente en Carreteras*. Santander.
- SANZ, F.J.; NAVARRO, J.; SERNA, L. & SÁIZ, A.; 2008. Economic effects of suspended sediments on a rainbow trout farm in Umia river (Galicia, Spain). *In: On- and off-site environmental Impacts of runoff and erosion. Abstract book. Final COST 634 International Conference: 31*. Aveiro, Portugal.
- TROEH, F.R.; HOBBS, J.A. & DONAHUE, R.L.; 1999. *Soil and Water Conservation. Productivity and Environmental Protection*. Third Edition. Prentice-Hall Inc. New Jersey.