

La erosión hídrica en los desmontes de la N - 610 y N - 611 en la circunvalación de la ciudad de Palencia

POR JOAQUIN NAVARRO HEVIA
Ingeniero de Montes.
MARCO A. JONTE LASTRA
Ingeniero Técnico Forestal.



Foto 1. Aspecto general del tramo estudiado

1.-Introducción

Un adecuado sistema de vías de comunicación terrestre constituye uno de los pilares fundamentales en el desarrollo económico y social de las regiones. La calidad de vida de sus habitantes mejora ostensiblemente al efectuarse el tráfico de personas y mercancías de forma más cómoda, económica y segura. Sin embargo, la construcción de las estructuras viarias supone casi siempre una fuerte alteración del medio por el que

discurren. Se modifica el paisaje primitivo al realizarse importantes movimientos de tierras, se destruyen suelos agrícolas o forestales, se fragmenta el territorio, se afecta a la flora y a la fauna, se altera el drenaje de las aguas superficiales y subterráneas, etc. (NAVARRO y col., 1995).

Entre los impactos más destacados se halla la creación de nuevas superficies carentes de vegetación que conforman las medianas, los enlaces y los desmontes y terraplenes. Estos últimos generalmente tienen fuertes pendientes y quedan expuestos a la acción directa de los agentes atmos-

féricos, sufriendo un continuo proceso de erosión. El suelo superficial se meteoriza por las oscilaciones térmicas extremas de nuestro clima y, posteriormente, las finas partículas minerales son arrastradas por la salpicadura de las gotas de lluvia, por la escorrentía superficial o por los vientos en los periodos secos.

La erosión hídrica y eólica resultantes son claramente negativas, aunque la primera en mayor grado, y entre sus efectos destacan:

- Aterramiento de las cunetas y pasos de agua por los sedimentos,

“La vegetación, además de detener los fenómenos erosivos en los terrenos degradados de las vías de comunicación, desempeña otra serie de funciones tanto técnicas como estéticas.”

lo que conlleva a un continuo y costoso mantenimiento para limpiar las secciones de evacuación de las corrientes pluviales.

- Peligro para el tráfico rodado, por inundación de la calzada, cuando se ciegan los drenajes, o por la aparición de lodo y piedras sobre el firme, por el deslizamiento del material de los taludes.
- Desmoronamiento de la vía, por la pérdida de capacidad portante de los terraplenes ante la erosión remontante de regueros y cárcavas.
- Pérdida de fertilidad edáfica por la erosión laminar y en regueros y consiguiente retraso en la recuperación de la flora y la fauna del entorno.
- Las aguas naturales empeoran su calidad por el material terroso transportado a los cauces durante las lluvias y perjudican a la fauna ictícola. En este sentido, cabe señalar las mortandades de peces detectadas en el río Xestosa, tras períodos de intensas precipitaciones, por la presencia en las aguas de elevadas concentraciones de sulfuros. El origen de éstos es el material rico en piritas que conforma los taludes carentes de cubierta vegetal de la carretera N- 640 cercana al río (MACÍAS Y CALVO DE ANTA, 1993).
- Impacto paisajístico: La sensación de monotonía en los alrededores de las carreteras, por falta de una enriquecedora cubierta vegetal, incrementa los riesgos de la conducción por aburrimiento y somnolencia.

De hecho, los puntos segundo y tercero fueron padecidos intensamente por los usuarios del transporte terres-

tre durante las lluvias acaecidas en agosto y diciembre del 95 y en enero del 96; de lo que se deduce que la detención de los procesos erosivos en el entorno de las vías de comunicación es una acción primordial que se debe tener en cuenta en los proyectos de restauración y mantenimiento de carreteras y vías de ferrocarril. Para promover esta actitud es interesante evaluar de alguna forma cuáles son las tasas de erosión hídrica en los taludes carentes de un adecuado dosel vegetal protector. Conocida la magnitud e identificado el problema, se pueden diseñar las medidas correctoras pertinentes para cada situación.



En la foto nº2 se observan claros procesos de erosión en regueros y la deposición de sedimentos al pie del talud: en consecuencia, la cuneta se aterra

2.-Medida de la erosión hídrica

Los primeros estudios sobre la erosión se remontan a los realizados en pequeñas parcelas por el edafólogo alemán Wollny a finales del siglo XIX. Posteriormente, el Servicio Forestal de Utah (1915) y Miller en Missouri (1917) emprenden una serie de experiencias intentando evaluar las tasas de erosión hídrica sobre el terreno (HUDSON, 1982); pero las fórmulas empíricas para estimar la cantidad de suelo perdida por acción de las lluvias según diversos cultivos aparecen hace algunas décadas: ZING (1940), SMITH y WHITT (1947-48), MUSGRAVE (1947). Todos estos modelos desembocan en la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo

(U.S.L.E.) dada a conocer en su forma inicial por WISCHMEIER y SMITH en 1965 (MINTEGUI, 1985). Esta ecuación posteriormente ajustada y modificada representa hoy la forma más extendida y usual de evaluación de las pérdidas de suelo por erosión superficial, laminar y en regueros, en una parcela de terreno homogénea en pendiente, vegetación, suelo y bajo un clima determinado. Existen otros modelos para el estudio de la erosión basados en la acción de la tensión de arrastre del agua sobre las partículas del terreno, que no resuelven el problema desde un punto de vista práctico (GÓMEZ CHICO,

1992); u otros, como el modelo WEPP (“Water Erosion Prediction Project”) de compleja aplicación (ALMOROX y col., 1994). Por ello, la U.S.L.E. sigue siendo la expresión más sencilla de utilizar. Su fórmula se indica a continuación:

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

donde,

A = pérdida de suelo media anual medida en t/ (ha x año).

K = factor de erosionabilidad del suelo.

R = factor de erosividad de la lluvia.

C = factor de la cubierta vegetal.

L = factor longitud de ladera.

S = factor pendiente de la ladera.

P = factor de prácticas de conservación de suelos.

Otra notable característica de este modelo paramétrico es que interviene el estado y tipo de la cubierta vegetal en la estimación de la erosión hídrica. La importancia de ésta en el control de la erosión queda sobradamente demostrada por experiencias como las de RICHARDSON y col. (1970). En ellas se indica que, mientras la producción de sedimentos en taludes desnudos varía entre 60 y 1 150 t/ (ha x año), las cifras descienden a menos del 2% tras el establecimiento de un efectivo manto vegetal. En otros estudios realizados por DÍAZ FIERROS, PÉREZ MOREIRA Y VEGA (1982) se determinó que las pérdidas de suelo en montes quemados de Galicia, tras fuertes aguaceros, se elevaban a 100 t/ (ha x año). En 1988, RILEY afirma que los sedimentos arrastrados en los desmontes y terraplenes de Nueva Gales del Sur son de 100 a 10 veces superiores, respectivamente, que los de las zonas naturales; y MEGAHAN y col. (1992) analizaron la eficacia de diversos métodos de revegetación de taludes en las carreteras forestales de Idaho y observaron como la erosión disminuye entre un 50 y un 95% en la totalidad de los casos tras su aplicación.

Por otra parte, la vegetación, además de detener los fenómenos erosivos en los terrenos degradados de las vías de comunicación, desempeña otra serie de funciones tanto técnicas como estéticas. Entre las primeras cabe citar la de orientar al conductor sobre la traza de la carretera y sobre la velocidad a la que circula, evitar deslumbramientos, filtrar la contaminación atmosférica y sonora, etc. (RUZA, 1992); en el aspecto estético, la ruptura de la monotonía, el embellecimiento general y la integración paisajística de la obra son las contribuciones más destacadas de la cubierta vegetal.

La conveniencia de un entorno vegetal apropiado junto a las carreteras y vías de ferrocarril se conoce desde la antigüedad: en el siglo III, en Japón, ya se planteaban la conservación de árboles en los bordes de las carreteras urbanas e interurbanas (BORRAJO, 1993); y, en España, los romanos difundieron el olmo común a lo largo de sus calzadas para obtener sombra, abrigo y un agradable efecto estético (RUIZ DE LA TORRE, 1979). En nuestro siglo, experiencias americanas y alemanas en los años

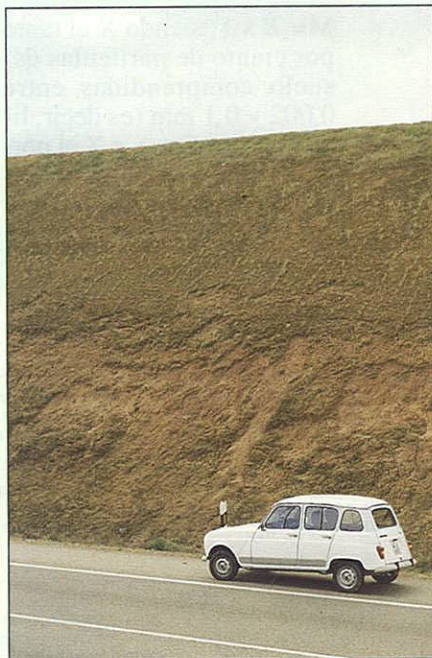


Foto 3. En las umbrías, la regeneración vegetal es mejor. En este talud, la erosión se debe a deslizamientos epiteliales por saturación de humedad de la superficie del terreno

treinta retomaron aquella sabia costumbre de reverdecir las vías de comunicación e iniciaron las técnicas de restauración actuales (MAYSON, 1993; NORTH CUTT, 1993).

3. Objeto del estudio

La Unidad Docente de Hidráulica e Hidrología de la E.T.S.I. Agrarias de Palencia, al observar la proliferación de fenómenos erosivos en los taludes de las carreteras que circunvalan la ciudad, se ha propuesto estimar su magnitud.

Los tramos estudiados han sido en concreto:

- N-610 de Palencia a León (pk. 0,000-2,000).
- N-611 de Palencia a Santander (pk. 7,000-11,500).

Ambas carreteras, en las cercanías de Palencia, se asientan sobre terrenos de carácter fundamentalmente arcilloso-arenoso correspondientes a la Formación Tierra de Campos, sobre los cuales puntualmente se superpone un estrato de margas calizas y yesos.

El clima de la zona, de marcados rasgos continentales, registra una precipitación anual media de 353,4 mm y una temperatura media anual de 11,6 °C. En general, se puede hablar

de fuerte sequía estival, primavera corta, revuelta y con fuertes vientos; la estación más equilibrada es el otoño con suaves temperaturas y vientos débiles.

Los taludes objeto de estudio se caracterizan, a grandes rasgos, por tener fuertes pendientes ($> 60\%$), por encontrarse prácticamente desprovistos de cubierta vegetal ($F_{cc} < 20\%$) y porque presentan, todos ellos, procesos erosivos de cierta importancia (foto 1). Estos últimos no sólo afectan a la estabilidad del talud, sino que puede observarse cómo, a consecuencia del depósito de sedimentos, las cunetas se encuentran parcialmente colmatadas (foto 2). La reducción de las secciones de drenaje obliga a una evacuación de las aguas en cotas más altas y próximas a la caja de la carretera, lo cual repercute negativamente en la vida útil de la obra y supone un riesgo evidente para la circulación de los vehículos. Por otro lado, la erosión remontante de los regueros y cárcavas incipientes producen el derrumbamiento de la cabecera del talud sobre el que descansan cultivos agrícolas que, año tras año, ven mermada su superficie útil.

Desde el punto de vista del impacto visual, cabe señalar que los taludes de ambas vías suponen auténticas "heridas sangrantes" en el paisaje palentino, heridas que no han logrado cerrarse desde su construcción en 1989 y 1991, respectivamente, y en las que la aplicación de pequeñas medidas correctoras como la plantación de algunos arbustos en bolsa, no han logrado los resultados esperados. El motivo del fracaso manifiesto de estas actuaciones hay que buscarlo en la incorrecta elección y ejecución de la técnica, y no en el uso de la vegetación.

4.- Metodología

La estimación de las pérdidas de suelo por erosión laminar y en regueros se ha realizado en base a los datos obtenidos en los muestreos desarrollados entre febrero, marzo y junio de 1995 sobre ocho taludes situados en cuatro puntos kilométricos distintos de la N-610 y la N-611. Sobre dichos taludes se dispusieron de forma aleatoria parcelas de 2 m x 2 m, sobre las cuales se realizaron mediciones de porcentaje de cubierta vegetal (F_{cc}), así como una recogida de plantas para su posterior identificación. Otros parámetros recogidos han

sido: pendiente, orientación, longitud máxima del talud, textura, estructura, tipo de fenómeno erosivo manifiesto, frecuencia de regueros y si se han realizado o no técnicas de revegetación (fotos 4 y 5). Todos estos datos se recogen en el **cuadro 1**.

$M = X \times Y$; siendo X el tanto por ciento de partículas del suelo comprendidas entre 0,002 y 0,1 mm (es decir, limo + arena fina), e Y el porcentaje de partículas comprendidas entre 0,002 y 2 mm

(o lo que es lo mismo, toda la tierra fina a excepción de la arcilla).

a= porcentaje de materia orgánica de los 20 cm superiores del perfil. En este caso, como los terrenos son superficies

CUADRO NÚMERO 1

Talud	Localización	Orientación	Pendiente (%)	Suelo	Longitud de talud	Tipo de erosión (m)	Fcc (%)	Vegetación	Técnica de revegetación aplicada
1	CN - 610 p.k. - 1,750	Sur	68	Franco - arenoso ¹ Franco algo arenoso - arcilloso ²	14,50	Frecuentes regueros superficiales (longitud ≈ 6 m) $F_R = 2,6^3$	< 10	Gramíneas <i>Sonchus oleraceus</i>	Ninguna
2	CN - 610 p. k. - 1,750	Norte	69,4	Arcillosa Franca bastante limoso arcillosa	12	Presencia puntual de regueros superficiales	10 - 20	<i>Euphorbia serrata</i> <i>Arrenatherun sp.</i> <i>Medicago sativa</i> <i>Bromus sp.</i>	Ninguna
3	CN - 610 p.k. - 0,500	Sur- Suroeste	70	Franco arcilloso Franca	14,20	Regueros superficiales y tubificaciones Anchura máxima= 0,5 m Profundidad máxima= 1 m	0	nula	Ninguna
4	CN - 610 p.k. - 0,500	Norte - Noreste	67,45	Arcillo - limoso Franca bastante limoso - arcillosa	17,20	Deslizamientos epiteliales del terreno	20	<i>Eryngium campestre</i> <i>Plantago sp.</i> Gramíneas	Ninguna
5	CN - 611 p.k. - 11,200	Este	62	Franco - limoso Franca bastante limosa	8,50	Erosión laminar y deslizamientos en masa	< 10	<i>Spartium junceum</i> <i>Rosmarinus officinalis</i> <i>Cupressus arizonica</i>	Plantaciones en bolsa.
6	CN - 611 p.k. - 11,200	Oeste	65	Arcilloso Franca algo arcillosa	8,70	Alta inestabilidad. Derrumbamientos por erosión remontante. Regueros	10 - 20	<i>Rosmarinus officinalis</i> <i>Spartium junceum</i> Crucíferas sin determinar.	Plantaciones en bolsa.
7	CN - 611 p.k. - 7,000	Este	77	Arcilloso Limoso - arcilloso	13,50	Regueros incipientes.	20	<i>Spartium junceum</i> , <i>Rosmarinus officinalis</i> , <i>Eryngium campestre</i> , <i>Hypocoum imberbe</i> , <i>Crepis sp.</i> Crucíferas sin determinar.	Plantaciones en bolsa
8	CN - 611 p.k. - 7,000	Oeste	69	Arcilloso Muy arcilloso	20,4	Regueros frecuentes (15 - 20 cm prof.) desde mitad de talud. $F_R = 2,8$	0 - 5	<i>Rosmarinus officinalis</i> .	Plantaciones en bolsa

¹: ISSS

²: USDA

³: Frecuencia de regueros (F_R) = nº de regueros interpretados en 5m/5m

Los valores de los distintos parámetros empleados en la obtención de las pérdidas de suelo mediante el modelo USLE se reflejan en el cuadro número 4 y se han deducido de la forma siguiente⁴:

- R = factor de erosividad de la lluvia; se toma de la publicación "Agresividad de la lluvia en España" (ICONA, 1988) el correspondiente a la estación meteorológica de Palencia, por su proximidad a la zona de estudio. R = 43 para todos los desmontes.
- K = factor de erosionabilidad del suelo; se deduce de la siguiente expresión:

$$K = 10^{-6} \times 2,71 \times M^{1,14} \times (12 - a) + 4,2 \times 10^{-2} \times (b - 2) + 3,23 \times 10^{-2} \times (c - 3)$$
en donde

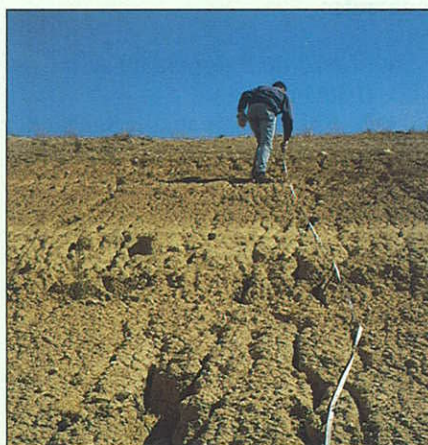


Foto 4. Aquí se aprecia la excesiva pendiente del talud. En las solanas la recuperación natural de la vegetación es prácticamente nula

de desmonte desprovistos prácticamente de vegetación, no se ha incorporado a ellos materia orgánica, a = 0.

b= parámetro cuyo valor es función de la estructura del suelo en sus primeros 20 cm. Las partículas de los suelos analizados tienen una estructura granular, prismática o en bloques con un tamaño comprendido entre los 2 y 10 mm, correspondiente a la clase b = 3, granular media a gruesa (**cuadro 2**).

⁴ Información detallada sobre la obtención de estos valores se puede obtener en GONZÁLEZ DEL TÁNAGO (1991), ICONA (1994), ALMOROX y col. (1994).

c= es función de la permeabilidad de todo el perfil. Esta última se ha estimado a partir de la clasificación textural de suelos del USDA (GANDULLO, 1978). Todas las muestras presentan unos valores de permeabilidad com-

prendidos entre 5 y 10,45 mm/h, lo que se corresponde con la clase c = 4, permeabilidad moderadamente lenta (cuadro 2).

● C= factor de cubierta vegetal; en función de ésta se ha estimado que porcentajes de cobertura por

debajo del 10% no suponen una reducción en la erosión que se debe tener en cuenta (C = 1), mientras que con valores de cobertura entre el 10-20% se estima una reducción del 55% (C = 0,45). Estos valores se deducen del cuadro 3 dado por WISCHMEIER y SMITH en 1975.

● L x S= factor topográfico del suelo; a través de él se obtienen de forma conjunta los parámetros L (factor de longitud de ladera) y S (factor de pendiente de la ladera). Utilizando la siguiente expresión, que está ajustada para longitudes de declive inferiores a 350 m y pendientes superiores al 20% (ICONA, 1994), se obtienen los valores indicados en el cuadro número 4.

$$L \times S = \left(\frac{\lambda}{22,1}\right)^{0,6} \times \left(\frac{S}{9}\right)^{1,4}$$

● P= factor de prácticas de conservación; al no existir dichas

CUADRO NÚMERO 2

VALORES DEL PARÁMETRO ESTRUCTURA "b"

Granular muy fina (< 1mm)	1
Granular fina (1 - 2 mm)	2
Granular media a gruesa (2 - 10 mm)	3
Laminar, maciza y cúbica	4

VALORES DEL PARÁMETRO DE PERMEABILIDAD "c"

Rápida a muy rápida	125 - 250 mm/h	1
Moderadamente rápida	62 - 125 mm/h	2
Moderada	20 - 62 mm/h	3
Moderadamente lenta	5 - 20 mm/h	4
Lenta	1,2 - 5 mm/h	5
Muy lenta	< 1,2 mm/h	6

(ALMOROX y col., 1994)

CUADRO NÚMERO 3

VALORES DE C PARA PASTIZALES, MATORRAL Y ARBUSTOS

Cubierta vegetal		Cubierta en contacto con el suelo Porcentaje de cubrimiento del suelo						
Tipo y altura de la cubierta	Recubrimiento (%)	Tipo	0	20	40	60	80	95 - 100
Columna núm.	2	3	4	5	6	7	8	9
Cubierta inapreciable		G	0,45	0,20	0,10	0,042	0,013	0,003
		W	0,45	0,24	0,15	0,090	0,043	0,011
Plantas herbáceas y matorros (0,5 m)	25	G	0,36	0,17	0,09	0,038	0,012	0,003
		W	0,36	0,20	0,13	0,082	0,041	0,011
	50	G	0,26	0,13	0,07	0,035	0,012	0,003
		W	0,26	0,16	0,11	0,075	0,039	0,011
	75	G	0,17	0,10	0,06	0,031	0,011	0,003
		W	0,17	0,12	0,09	0,067	0,038	0,011
Matorral (2 m)	25	G	0,40	0,18	0,09	0,040	0,013	0,003
		W	0,40	0,22	0,14	0,085	0,042	0,011
	50	G	0,34	0,16	0,085	0,038	0,012	0,003
		W	0,34	0,19	0,13	0,081	0,041	0,011
	75	G	0,28	0,14	0,08	0,036	0,012	0,003
		W	0,28	0,17	0,12	0,077	0,040	0,011
Arbolado sin matorral pequeño apreciable (4 m)	25	G	0,42	0,19	0,10	0,041	0,013	0,003
		W	0,42	0,23	0,14	0,087	0,042	0,011
	50	G	0,39	0,18	0,09	0,040	0,013	0,003
		W	0,39	0,21	0,14	0,085	0,042	0,011
	75	G	0,36	0,17	0,09	0,039	0,012	0,003
		W	0,36	0,20	0,13	0,083	0,041	0,011

G = cubierta en contacto con el suelo formada por pastizal con al menos 5 cm de humus.

W = ídem por plantas herbáceas con restos vegetales sin descomponer.



Foto 5. Los regueros se inician desde la cabeza del talud. Su intensidad es preocupante

prácticas, toma un valor unitario ($P = 1$).

5. Análisis de los resultados

Con objeto de caracterizar la importancia de las pérdidas potenciales de suelo la F.A.O., P.N.U.M.A. y U.N.E.S.C.O. establecieron en 1981 la "Clasificación provisional para la Evaluación de la Degradación de los Suelos", la cual establece los rangos indicados en el cuadro 5.

CUADRO NÚMERO 5	
Pérdidas de Suelo en t / (ha x año)	Grado de la Erosión Hídrica
< 10	Ninguna o ligera
10-50	Moderada
50-200	Alta
> 200	Muy Alta

Atendiendo a esta clasificación, podemos comprobar cómo los taludes 2, 4, 6 y 7 estarían comprendidos en el rango de erosión alta, y los restantes (1, 3, 5 y 8) en el de muy alta. Algunos autores podrían poner en duda estas cifras, ya que los valores máximos con los que se dedujo la U.S.L.E. fueron de 192 m para la longitud de ladera y del 22% para la pendiente. Los taludes superan ampliamente el valor de la pendiente: prácticamente lo triplican, por lo que estaríamos fuera de rango con el factor topográfico $L \times S$. Sin embargo, ISRAELSEN E ISRAELSEN (1982) han considerado que la expresión es válida hasta segmen-

CUADRO NÚMERO 4						
TALUD	R	K	$L \times S$	C	P	A (t/ha/año)
1	43	0,82	13,18	1,00	1	464,70
2	43	0,44	12,10	0,45	1	103,20
3	43	0,66	13,55	1,00	1	384,55
4	43	0,54	14,43	0,45	1	150,78
5	43	1,00	8,40	1,00	1	361,20
6	43	0,45	9,10	0,45	1	79,24
7	43	0,36	15,02	0,45	1	104,63
8	43	0,31	16,50	1,00	1	219,95

tos o pendientes uniformes del 100% (ALMOROX y col., 1994), y las ex-

ximación al fenómeno real sobre los mismos taludes, que será puesta en marcha en la primavera del 96 y cuyos resultados se expondrán posteriormente. De todos modos, los elevados valores obtenidos de la erosión junto con las observaciones de campo indican la necesidad de una actuación urgente.

En Estados Unidos, a raíz del "National Cooperative Highway Research Program" se adoptó un modelo de la U.S.L.E. para estimar la erosión en los taludes de las carreteras. En él se sustituyen los factores C y P por el denominado factor de control de la erosión, VM. Con este factor se puede observar el efecto que producen diversas técnicas y métodos de protección o actuación en taludes sobre las pérdidas de suelo. Algunos de los valores del factor VM

para distintos tipos de siembras, matorral y mulch son los siguientes (ALMOROX y col., 1994):

siembra temporal o	
permanente entre 0 y 2 meses	0,40
siembra temporal o permanente	
entre 2 y 12 meses	0,05
siembra de más de 12 meses	0,01
matorral	0,35
malla plástica con	
mulch de virutas.	0,07

perencias de HAIG (1987) en los taludes de algunas autopistas de Oklahoma indican que la U.S.L.E. proporciona tasas similares a las que se generan en la realidad.

En cualquier caso hay que contrastar la producción real de sedimentos frente a la estimada por este método; la cantidad de suelo real perdido será el índice que refleje la gravedad del problema y la necesidad de una urgente actuación o no, así como la validez del modelo U.S.L.E. para estos casos. En este momento se está desarrollando dentro de la Unidad Docente de Hidráulica e Hidrología una forma de apro-

Si se realizaran sobre estos taludes medidas de control de la erosión, hidrosiembras o plantación de matorral con la especie y en las densidades adecuadas, aplicando los coeficientes VM en lugar de los C y P empleados anteriormente, tendríamos los valores de pérdidas de suelo reflejados en el cuadro 6.

De este cuadro se deduce que, tras dos meses de la siembra, ya se disminuiría la erosión hasta un nivel moderado (10-50 t / (ha x año)), lo mismo que si utilizáramos malla plástica con viruta; sin embargo, tras doce meses de realizar una siembra permanente, se consigue pasar en todos los taludes a

CUADRO NÚMERO 6

Talud	RxKxLxS	Pérdidas de suelo tras sustituir el factor C y P por el factor de control de la erosión VM (t/ha/año)				
		Siembra 0-2 meses	Siembra 2-12 meses	Siembra permanente >12 meses	Matorral	Malla plástica + virutas
1	467,70	185,88	23,24	4,65	162,65	32,53
2	228,93	91,57	11,45	2,29	80,13	16,03
3	384,55	153,82	19,23	3,85	134,59	26,92
4	335,06	134,02	16,75	3,35	117,27	23,45
5	361,20	144,48	18,06	3,61	126,42	25,28
6	176,09	70,44	8,80	1,76	61,63	12,33
7	232,51	93,00	11,63	2,33	81,38	16,28
8	219,95	87,98	11,00	2,20	76,98	15,40

un grado de erosión < 10 (t/ha x año), lo que significa erosión ninguna o ligera. En este caso se reduce la tasa de producción de sedimentos a valores inferiores al 2,5 % de la erosión originada en los taludes desnudos; cifra que concuerda con los valores obtenidos por RICHARDSON y col. (1970) y MEHAGAN y col. (1992) en sus respectivas experiencias.

6.- Conclusiones

El estudio ha permitido cuantificar la gravedad de los procesos erosivos en los taludes analizados. Ante esta situación se nos plantean una serie de reflexiones que creemos deberían tenerse en cuenta para tratar de evitar o solucionar situaciones de este tipo:

1- La restauración de una cubierta vegetal efectiva en el control de la erosión es una acción necesaria en este tipo de taludes como lo demuestran los resultados aportados (**Cuadro 6**). Bajo clima mediterráneo no se puede permitir encargar a la naturaleza la recolonización de los desmontes ya que ésta, si se produce, es muy lenta, y los fenómenos erosivos son graves y manifiestos. En cinco años, tras la realización de esta obra, la superficie cubierta por la vegetación es mínima (siempre inferior al 20%). Por otro lado, la orientación parece ser un factor clave en la recolonización natural de estos taludes, siendo ínfimos los porcentajes alcanzados en las solanas.

2- El éxito de la restauración se basa en la correcta elección de las especies y densidades que se utilizan en los diferentes estratos (herbáceo, arbustivo y arbóreo) en que se realicen las operaciones de plantación y siembra en la estación adecuada, y en asegurar un mantenimiento mínimo du-



Foto 6. La densidad de plantación no es suficiente para proteger la superficie del terreno y estabilizar el desmonte. Los deslizamientos provocan el arrastre de las plantas

rante los dos años posteriores a la ejecución, de forma que se garantice el arraigo de las plantas. La plantación aislada de algunos arbustos y árboles como simple justificación de haber realizado "medidas restauradoras", sin aplicar a continuación los mantenimientos mínimos necesarios, no sirve más que para tirar el dinero.

3- La plantación aislada de especies arbustivas o arbóreas no protege suficientemente la superficie de los taludes: Las cifras expuestas en el **cuadro 5** avalan este hecho, e incluso las plantas son arrastradas con el terreno removido (**foto 6**). Por otra parte, la falta de cuidados posteriores (riegos, reposición de marras, reconstrucción de alcorques, etc.) pone en peligro la supervivencia de la vegetación implantada; y el infradimensionado de los alcorques es causa de generación de regueros en los

taludes, por su desbordamiento durante lluvias intensas (**foto 7**).

4- La revegetación y protección del suelo debe realizarse empleando técnicas como la hidrosiembra y/o la aplicación de mantas orgánicas u otros tipos de *mulches*, de forma que se asegure o se promueva la instalación de las especies locales. Éstas son las que tienen mayor posibilidad de supervivencia sobre este tipo de terrenos y necesitan menos cuidados. En este sentido, se deben promover más investigaciones sobre técnicas por utilizar en diferentes terrenos y climas, con respecto a los costes de aplicación y mantenimiento y los resultados obtenidos.

5- La erosión hídrica de los taludes afecta al drenaje de la vía y a la estabilidad de la obra, amenaza la seguridad en la conducción y provoca un fuerte impacto paisajístico y ecológico. El coste económico derivado del

“La erosión hídrica de los taludes afecta al drenaje de la vía y a la estabilidad de la obra, amenaza la seguridad en la conducción y provoca un fuerte impacto paisajístico y ecológico.”

simple mantenimiento de la obra a lo largo del tiempo supera, con toda probabilidad, el valor de una restauración ejecutada con los medios adecuados y en el momento oportuno. En este sentido, se hace preciso insistir en la necesidad de proyectar previniendo los impactos que se van a generar y su tratamiento, labor que debe ser abordada de una forma rigurosa y realista tanto en el dimensionamiento como en la asignación de las partidas presupuestarias dedicadas a la restauración.

Bibliografía

- ALMOROX, J.; DE ANTONIO, R.; SAA, A.; CRUZ, M y GASCO, J.M (1994): *Métodos de Estimación de la Erosión Hídrica*; ed.: Agrícola Española. Madrid.
- BORRAJO, J. (1993): *Requerimientos humanos y materiales para el mantenimiento de las obras de restauración*, en las Jornadas de Ingeniería del Paisaje. San Sebastián, 3, 4, 5 nov. pp. 35 - 55.
- DÍAZ FIERROS, PÉREZ MOREIRA y VEGA (1982): en *Incendios Forestales y Desertificación*. No editado. U.I.M.P. Santander.
- GANDULLO, J.M.; SÁNCHEZ PALOMARES, O. y SERRADA, R.(1978): *Prácticas de Geología y Edafología*. E.T.S.I. Montes. Madrid.
- GÓMEZ CHICO, E. (1992): *La recuperación de espacios degradados*, en *Jorn. Técn. de tratamiento de taludes y revegetación aplicables a áreas afectadas por actividades humanas*. C.O. de Biólogos. Madrid.
- GONZÁLEZ DEL TÁNAGO, MARTA (1991): *La Ecuación Universal de Pérdidas del Suelo. Pasado, Presente y Futuro*. Ecología, nº 5, pp. 13 - 50.
- HAIG, M. J. (1987): *Roadbank sediment yield in Central Oklahoma*, en *Processus et mesure de l'erosion*; ed: CNRS, pp. 221 - 227.
- HUDSON, N. (1982): *Conservación del suelo*; ed.: Reverté, S.A. Barcelona.
- ICONA.(1988): *Agresividad de la lluvia en España*. ICONA. Madrid.
- ICONA (1994) *Mapa de Estados Erosivos. Islas Baleares*. ICONA.Madrid.
- MACÍAS, F. y CALVO DE ANTA, R. (1993): *Construcción de infraestructuras lineales en materiales con sulfuros. Un ejemplo de impacto ambiental sobre el medio acuático*, en II Simp. Nac. sobre Carreteras y Medio Ambiente; MOPT. Madrid. pp. 53 - 62.
- MAYSON, J. (1993): *Recuperación del paisaje e ingeniería con vegetación*, en las Jorn. de Ing. del Paisaje. San Sebastián, 3, 4, 5 nov. pp. 5 - 10.
- MEHAGAN, W. F.; MONSEN, S.B.; WILSON, M.D.; LOZANOS, N.; HABER, D.F. y BOOTH, G.D. (1992): *Erosion control practices applied to granitic roadfills for forest roads in Idaho: Cost effectiveness evaluation*. *Land Degradation & Rehabilitation*, vol. 3, pp. 55 - 65.
- MINTEGUI AGUIRRE, J.A. (Dtor.) (1985): *Metodología para la evaluación de la erosión hídrica*; ed:M.O.P.U. (D.G.M.A.) Madrid.
- NAVARRO, J. y UGALDE, M. (1995): *La restauración de la cubierta vegetal en el entorno de las carreteras*. Montes, nº 42, p. 5 - 10.
- NORTH CUTT, B.(1993): *Aplicaciones de la Tecnología de la Bioingeniería del Suelo en EE.UU.*, en 1ªs Jornadas de Ingeniería del Paisaje. San Sebastián, 3-4-5 nov. 91-103.
- RICHARDSON & col. (1970) en RAMOS, F.; DOMÍNGUEZ, M.; JIMÉNEZ, F. & SORIANO, C. (1983): *Tratamiento funcional y paisajístico de taludes artificiales*; ed: E.T.S.I. Montes. Madrid.
- RILEY (1988) en MORGAN, R.P.C. (1995): *Soil Erosion and Conservation*; ed: Longman. Essex.
- RUIZ DE LA TORRE, J. (1979): *Árboles y arbustos de la España Peninsulares*; ed: Fundación Conde del Valle de Salazar. ETSIM. Madrid.
- RUZA, F. (1992): *Aplicación práctica de técnicas de recuperación de áreas afectadas por obras para carreteras*. *Jorn. T. de Tratamientos de taludes y Revegetación Aplicables a Áreas Afectadas por Actividades Humanas*. C.O. de Biólogos. Madrid. ■



Foto 7. Se aprecia el inadecuado espaciamiento de las banquetas de plantación. Estas no interceptan los regueros y la falta de alcorques provoca su desbordamiento y la generación de nuevos regueros

Joaquín Navarro Hevia, Prof. Tit. Unidad Docente de Hidráulica e Hidrología; y Marco A. Jonte Lastra, Ing. T. Forestal. Becario. Dpto. de Ingeniería Agrícola y Forestal. E.T.S.I. Agrarias de Palencia (Univ. de Valladolid).

NOTA ACLARATORIA

En relación con los artículos publicados en el número 53 de la Revista "RUTAS": "La medida de la resistencia al deslizamiento y de la textura. Panorámica internacional", "El Experimento Internacional de comparación y armonización de las medidas de la resistencia al deslizamiento y de la textura", y "El Índice de Fricción Internacional (IFI). Obtención y aplicaciones", hay que hacer constar que uno de los autores, el Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos D. Ignacio Sánchez Salinero, durante la época en que se llevó a cabo el citado Experimento Internacional pertenecía a la plantilla de la Empresa EUROCONSULT-CEBTP, S.A.