

Experiencias sobre control de erosión en desmontes margosos en Palencia



Autovía
Madrid-Valencia
(abril, 2000).
¿Suficiente
control de erosión?

Joaquín Navero Hevia
Dr. Ingeniero de Montes
Universidad de Valladolid. E.T.S.
E.T.S. Ingenierías Agrarias.

Resumen

Se presentan los resultados de 5 tratamientos de control de la erosión de los desmontes margosos del enlace ferroviario Palencia-Magaz, tras 2 años de observación. Los tratamientos ensayados fueron: plantación de arbustos de 2 años a razón de 0,8

plantas/m² (= P); hidrosiembra con 30 g de semilla/m² (= H); misma hidrosiembra con manta de coco de 350 g/m² (= HC); misma hidrosiembra con manta de esparto de 350 g/m² (= HE); y como tratamiento de control, desmonte desnudo en condiciones naturales (= T). Los taludes presentan una pendiente del 84% y una longitud entre 6 y 8 m. La precipitación media anual en la zona ronda los 430 mm, siendo muy baja la erosividad pluvial. Los datos de los 5 tratamientos ensayados se han some-

tido a un análisis de la varianza (ANOVA), test de rango múltiple y de contrastes individuales para un nivel de confianza del 95%. Las tasas de erosión para cada tratamiento en el periodo han sido: P = 103,5 t·ha⁻¹, H = 11,41 t·ha⁻¹, HC = 0,31 t·ha⁻¹, HE = 0,26 t·ha⁻¹ y T = 91,57 t·ha⁻¹; y el control de la erosión por tratamiento respecto a la erosión registrada en T ha sido: P = -13,02 %, H = 87,54%, HC = 99,66 % y HE = 99,72%, lo que ha supuesto una gran eficacia de las mantas orgánicas.

Palabras clave: Control de la erosión; erosión en desmontes; parcelas de erosión; mantas orgánicas; geotextiles; hidrosiembra.

1. Introducción

La construcción de carreteras y ferrocarriles genera graves problemas de erosión hídrica (AEMA, 1998). Actualmente, en opinión de diversos especialistas, es muy probable que, a causa de los suelos desnudos y de las fuertes pendientes que se originan durante y tras la construcción de las infraestructuras viarias, sea la erosión en estas zonas mucho mayor que en los terrenos agroforestales.

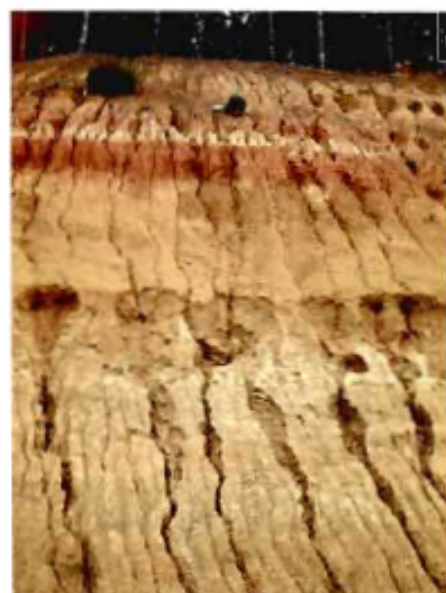


Figura 1: Aspecto de muchos taludes de infraestructuras viarias en España.

En España la erosión asociada a las infraestructuras viarias es un hecho patente (figura 1), siendo muy comunes la erosión en regueros y los deslizamientos en masa. Algunos datos sobre el alcance de la erosión en las carreteras españolas ya se han publicado en esta revista (Navarro y Jonte, 1996; Navarro y San Martín, 2000). Estos procesos afectan al paisaje de nuestras vías de comunicación, pero también repercuten en el mantenimiento de las obras y en la seguridad del tráfico. Ciertos investigadores resaltan que una parte de las víctimas de los accidentes de tráfico está relacionada

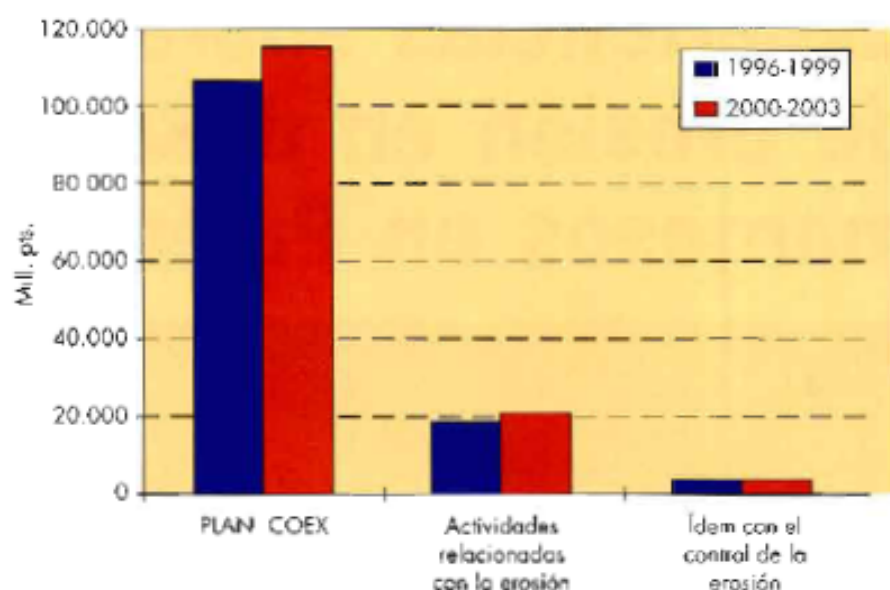


Figura 2: Presupuesto medio anual para los periodos 96-99 y 00-03 en las actuaciones que, dentro del Plan COEX, estarían relacionadas con la erosión y su control.

con los procesos erosivos de las carreteras (Sidle et al., 1985; Northcutt, 2000; Kaspersen, 2000). En nuestro país hemos estimado, a partir de los datos de la Dirección General de Carreteras (DGC, 1995), que el gasto anual en la Red de Carreteras del Estado por problemas erosivos se halla en torno a 120,2 millones de euros (figura 2), lo que supone alrededor del 20% del Plan de Conservación y Explotación de Carreteras, (Plan COEX) (figura 3); y, además, a partir de los datos facilitados por la Dirección General de Tráfico, hemos computado que en 1998 el 5% de los muertos y el 7,5% de los heridos en accidente de tráfico durante ese año están relacionados con la erosión hídrica y el agua en las carreteras (Navarro, 2002).

Las primeras experiencias sobre erosión en carreteras se realizan ya por Gilbert en 1917; pero en 1939 es cuando Hursh reconoce la importancia del control de la erosión en los taludes de las carreteras. Mucho más tarde Diseker y Richardson, en 1961, reportan los primeros resultados de erosión en desmontes de autopistas, en Georgia (EE.UU.). En sus experiencias encontraron tasas entre 202,3

t-ha⁻¹-año⁻¹ y 520,5 t-ha⁻¹-año⁻¹ en función de la pendiente y de la orientación de los desmontes, calificando el problema como muy grave. En 1973, la Agencia de Protección Ambiental indica que la erosión durante la construcción de autopistas en EE.UU. oscila entre 126 y 525 t-ha⁻¹-año⁻¹ (Gray y Sotir, 1996). Posteriormente, Haigh (1987) cifra la erosión en los desmontes de carreteras de Oklahoma entre 373 y 426 t-ha⁻¹-año⁻¹. En España, Navarro et al. (2003) evalúan las pérdidas de terreno en desmontes recientes (1:1) en Palencia entre 23,3 y 68,2 t/ha en un año normal, pero llegando a alcanzar las 1 092 t-ha⁻¹-año⁻¹ en desmontes antiguos, a consecuencia de intensas tormentas.

Desde 1986 la legislación ambiental de nuestro país exige aplicar medidas correctoras y de restauración de los impactos creados por la construcción de carreteras y ferrocarriles; para ello vienen aplicándose diversos tratamientos de taludes; aunque sin conocer la gravedad real del problema erosivo, ni la eficacia de la inversión en técnicas del control de la erosión. Por otro lado, en muchas ocasiones los tratamientos han resultado ineficaces por inadecuada protección del suelo, por

falta de mantenimiento o por una ejecución defectuosa de los métodos (figura 4).

En este trabajo presentamos los resultados sobre el control de la erosión y de la escorrentía y sobre el éxito en revegetación ejercido por 5 tratamientos de desmontes, que se emplean con frecuencia en nuestro territorio peninsular. Se trata de cuantificar, de manera real, cuál es su eficacia.

2. Localización y características del área y los desmontes

Las experiencias se han desarrollado en torno a la ciudad de Palencia, en los desmontes del enlace ferroviario Palencia-Magaz, donde se observan graves problemas erosivos. Esta zona recibe una precipitación media anual de 430 mm. La temperatura media anual es 11,9 °C. El invierno es largo y seco y el verano bastante breve y también seco. La primavera y el otoño son cortos, concentrándose en ellos la mayor parte de las lluvias. La erosividad pluvial es de las más bajas del país, factor R de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (USLE) = 43 hJ·cm·m⁻¹·h⁻¹ (ICONA, 1988).

Los terrenos del entorno se originaron durante el Mioceno Superior, Pliocuatrnario y Holoceno. Ofrecen un paisaje levemente ondulado, de amplios valles fluviales (*Tierra de Campos*) constituidos fundamentalmente por arcillas y arenas (*facies Dueñas*) y situados a 730 m sobre el nivel del mar. Estos valles son bordeados por una orla de laderas pendientes (*facies Cuestas*), constituidas por margas y margas yesíferas, sobre las que descansa el páramo calizo, a la cota 900 m sobre el nivel del mar.

Los desmontes estudiados se intersectan con el cono de deyección del Arroyo del Barranco del Banco de la Cruz, que está constituido por una matriz arcillolimosa engendrada por las margas erosionadas en las cuestas, y en la que se embute una

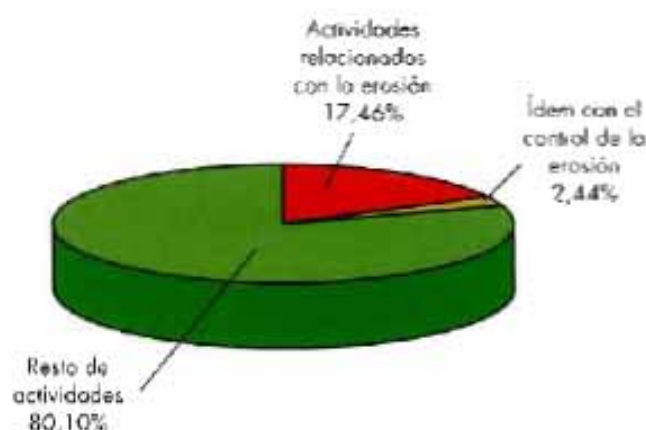


Figura 3: % medio anual, para el periodo 96-03, de las actuaciones que estarían relacionadas con la erosión y su control respecto del presupuesto medio anual del Plan COEX.

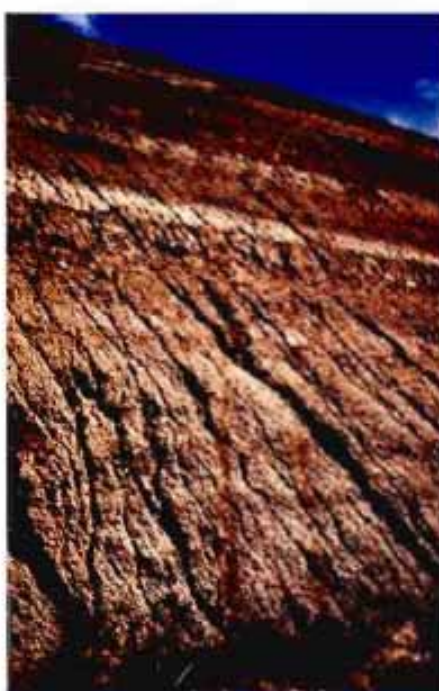


Figura 4: Aspecto de taludes que fueron plantados con arbustivas hace unos 10 años

pequeña proporción de cantos o bloques calizos procedentes del páramo.

Estos desmontes (figura 5 y tabla 1) se caracterizan por una pendiente del 84% y una longitud entre 6 y 8 m; textura entre limosa y franco-limosa; estructura, blocosa; pH = 9; bajo contenido en materia orgánica; alto nivel de carbonatos, % de caliza activa muy alto; pobre contenido de P, K y Na, mientras que el de Ca y Mg son normal y muy alto, respectivamente; la permeabilidad es moderada; los taludes presentan una alta erosionabilidad. El factor K de la USLE⁽¹⁾ es 0,93. El ángulo de rozamiento interno (ϕ) = 18° y la cohesión, c = 0,1 MPa. La densidad aparente del terreno de desmonte es 1,7 g/cm³ y la del mineral, 2,65 g/cm³. La resistencia a la penetración es



Figura 5: Desmontes en un tramo de la zona de estudio.

> 0.4 MPa; y, siguiendo a la FAO (1983), estos desmontes se pueden calificar como muy firmes, con un grado de penetración de las raíces difícil. El análisis mineralógico revela la presencia de calcita (67%), dolomita (13%), illita (20%) y trazas de anhidrita y pirita.

La cubierta vegetal de los desmontes es completamente nula, aunque en sus proximidades se pueden encontrar abundantes herbáceas y matorrales: cardos (*Cirsium arvense*), correhuelas (*Convolvulus arvensis*), manzanilla silvestre (*Anthemis arvensis*), amapolas (*Papaver rhoeas*), crucíferas (*Sinapis arvensis*, *Diplotaxis erucoides*), gramíneas (*Dactylis glomerata*, *Lolium rigidum*, *Bromus rubens*, etc.) y leguminosas (*Medicago sativa*, *M. lupulina*, *Onobrychis sativa*, etc.).

3. Materiales y métodos empleados

Los tratamientos comparados han sido: P = plantación de arbustos de 2 años (*Rosmarinus officinalis*, *Spartium junceum* y *Cytisus scoparius*) con una densidad de 0,8 plantas/m² de proyección horizontal, al tresbolillo y pies alternos; H = hidrosiembra de tipo comercial para clima mediterráneo continental y extendida en una sola fase, con una dosis de 30 g de semilla/m², 2 litros de agua/m², *mulch* de fibra corta de celulosa (100 g/m²), fertilizante NPK (8-24-8) (70 g/m²) y estabilizador de harina de algarrobo (20 g/m²); HC =

Tabla 1: Características principales de los desmontes estudiados.			
Característica	Valor	Característica	Valor
Pendiente	84%	Longitud	6-8 m
Textura (USDA) ⁽¹⁾	Limosa-franco limosa	Estructura (USDA) ⁽¹⁾	blocosa
pH	9	Materia orgánica	0,3%
CO ₂ =	69,3%	Caliza activa	12,4%
Fertilidad	Muy baja	Permeabilidad	5-10 mm/h
Erosionabilidad	Muy alta (K=0,93)	L.L.	69,8%
I.P.	42,8%	Ángulo rozamiento (°)	18°
Cohesión	0,1 MPa	Densidad aparente	1,7 g/cm ³
Densidad del mineral	2,65 g/cm ³	Resistencia a la penetración	> 0,4 MPa
Grado penetración raíces (FAO)	3 (difícil)	Análisis mineralógico	Ilita = 20%

hidrosiembra (misma composición) más manta de fibra de coco de 350 g/m²; HE = hidrosiembra (misma composición) más manta de fibra de esparto de 350 g/m²; por último, como control, T = desmonte desnudo bajo regeneración natural. Los tratamientos se han replanteado en 2 bloques de parcelas con asignación aleatoria (figura 6). Las parcelas tenían unas dimensiones de 6 m de anchura la longitud del talud (alrededor de 6,5 m), y en su interior se captaba el terreno erosionado y la escorrentía mediante trampas Gerlach (Gerlach, 1967) conectadas a un sistema de depósitos de 50 litros de capacidad total (figura 7). Las precipitaciones se contabilizaban en dos pluviómetros totalizadores sobre el propio terreno del desmonte (1 pluviómetro/ bloque parcelas).

El terreno erosionado y la escorrentía se recogían en función de la secuencia de episodios de lluvia, de modo que se realizaron once medidas cada año entre el 25/5/1998 y 25/5/2000. El material sólido atrapado por los colectores Gerlach era pesado en laboratorio previo secado y destrucción de materia orgánica en estufa. La escorrentía era medida en campo mediante probetas aforadas, extrayéndose una muestra entre 500 y 1000 cm³ para estimar los sedimentos en laboratorio. La evaluación de la cubierta vegetal herbácea de los tratamientos H, HC, HE y T, se realizó mediante transec-

(1) Universal Soil Loss Equation. Ecuación universal de pérdidas de suelo.

(2) U. S. Department of Agriculture. Departamento de Agricultura de los EE.UU.



Figura 6: Desmontes con los tratamientos instalados al final del estudio.



Figura 7: Colectores Gerlach con sedimentos en el mismo.

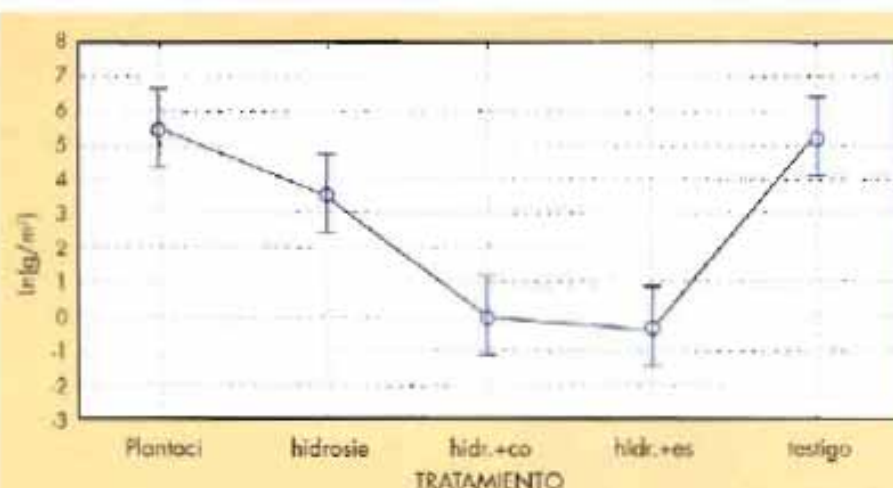


Figura 8: Erosión media en los 5 tratamientos como Ln (peso suelo erosionado/m² de parcela).

tos a lo largo de las parcelas, mostrando unas superficies de 0,25 m², con marco metálico cada 0,5 m. La cubierta arbustiva se estimó mediante patrones de distribución en toda la parcela.

Los registros de cada parcela para cada variable (erosión, escorrentía y cubierta vegetal) fueron sometidos a un análisis de la varianza (ANOVA), test de rango múltiple y de contrastes individuales, verificando las hipótesis de homogeneidad de la varianza y de covarianzas constantes. El análisis estadístico se ha realizado para un nivel de confianza del 95%, utilizando como variable para la erosión el *logaritmo neperiano del peso del material erosionado por m² de parcela*; para el estudio de la escorrentía, se ha empleado la variable *coeficiente de escorrentía*; y, para la cubierta vegetal, la variable *logaritmo decimal (1+% cubierta vegetal)*.

4. Resultados obtenidos

4.1. Control erosivo

La matriz ANOVA ha reflejado que los 5 tratamientos efectuados sobre los desmontes muestran unas diferencias significativas en el control de la erosión (figura 8) bajo las condiciones en las que se han desarrollado las experiencias ($p = 0,0013 < \alpha = 0,05$). En general, los bloques de parcelas no han mostrado un comportamiento significativamente diferente entre sí durante el ensayo

($p = 0,9097$). En los dos años, el control de erosión ejercido por los tratamientos ha sido diferente ($p = 0,0077$), habiendo ocurrido más erosión en el 2º año que en el 1º (figura 9) lo que pudiera ser debido, entre otras causas (?), a una mayor pluviometría registrada el 2º año (558,5 mm) respecto del 1º (413,7 mm).

Mediante el test de Tukey y de Duncan, así como de contrastes individuales, se ha confirmado que el tratamiento más efectivo en el control de la erosión ha sido HE, seguido muy de cerca de HC. Mientras que HE ha generado una erosión media de 0,13 t-ha⁻¹-año⁻¹ y 0,28 t-ha⁻¹ en total (figura 10), HC ha pro-

ducido 0,16 t-ha⁻¹-año⁻¹, 0,31 t-ha⁻¹ en 2 años, lo que representa un control de la erosión respecto de las parcelas testigo, T, de un 99,72% y un 99,66% respectivamente. Entre estos dos tratamientos no se detectan diferencias significativas. El siguiente tratamiento en efectividad ha sido H, que presenta diferencias significativas con los anteriores. La erosión media anual ha sido 5,71 t-ha⁻¹-año⁻¹ (11,41 t-ha⁻¹ en 2 años), con una eficacia total en el tiempo estudiado respecto a T del 87,54%.

El tratamiento P ha supuesto una mayor erosión que el T (51,75 t-ha⁻¹-año⁻¹; 103,49 t-ha⁻¹ en 2 años; -13,02% de control), posiblemente por la remoción del terreno durante el ahoyado y por la construcción de alcorques, así como por la deficiente cobertura vegetal debida al escaso desarrollo de las plantas, a causa de la baja pluviometría y de la intertilidad del terreno. Por otro lado, la separación entre plantas no ha controlado los deslizamientos epiteliales del desmonte que se originan durante el invierno, inducidos por los ciclos hielo-deshielo, la fusión de la nieve y las vibraciones del ferrocarril, y que son los causantes de la mayor erosión en la zona. En cuanto a T, ha generado una media de 45,79 t-ha⁻¹-año⁻¹ (91,57 t-ha⁻¹ en 2

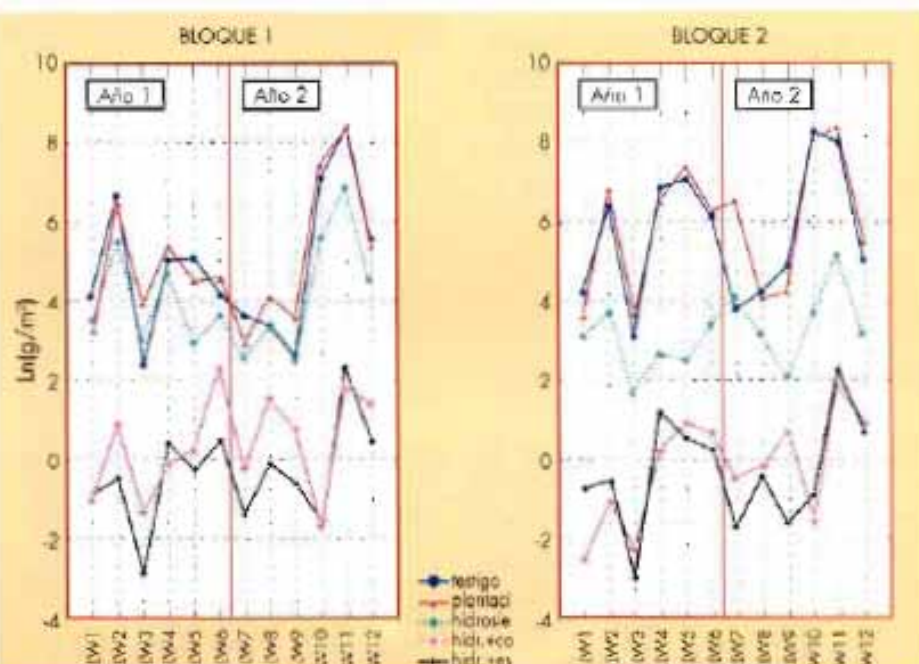


Figura 9: Comportamiento de los tratamientos en los bloques de parcelas en los 2 años.

años), lo que sugiere que la erosión media en estos terrenos, medida con colectores Gerlach y basándose en la clasificación de la FAO (Mintegi y López Unzu, 1990), ha sido moderada.

La tónica general en el control de erosión de los tratamientos en los dos años se ha mantenido año a año (figura 11). Los resultados de la erosión en cada año se acompañan en la figura 12. Como se puede observar durante el año 1º la erosión ha sido inferior a la registrada el 2º año debido a la menor pluviometría del primer año respecto del segundo (?).

T ha producido el primer año 23,28 t·ha⁻¹ y el segundo, 68,29 t·ha⁻¹. Estas cifras indican que mientras en el primer periodo la erosión ha sido moderada, en el segundo periodo se calificaría como grave. En P se han erosionado 26,4 t·ha⁻¹ durante el primer año (13,4% > T) y 77,09 t·ha⁻¹ en el segundo (un 12,89% > T), lo que supone una calificación por años igual que en T. La hidrosiembra H ha ejercido una mejor protección de la erosión, ya que el año 1 se han generado 2,93 t·ha⁻¹ (control del 87,41%) y en el año 2, 8,48 t·ha⁻¹ (control del 87,58%), lo que corresponde a una erosión ligera. Las mantas con hidrosiembra han sido los tratamientos más efectivos: HC, 0,14 y 0,17 t·ha⁻¹ en cada año, lo que supone una protección del 99,39% y del 99,75% respectivamente; y HE, 0,12 y 0,15 t·ha⁻¹ cada año, lo que implica un grado de protección del 99,48% y del 99,78% respectivamente. Estas cifras suponen una erosión prácticamente nula. Como se puede observar los resultados de las mantas de fibra vegetal combinados con la hidrosiembra han sido magníficos, consiguiendo un control superior al 99%. Investigadores como Burroughs y King (1989), entre otros, comentan que con diversos geotextiles orgánicos la reducción de sedimentos en los desmontes puede ir del 75% al 98%. Experiencias con geotextiles de fibra vegetal durante los últimos

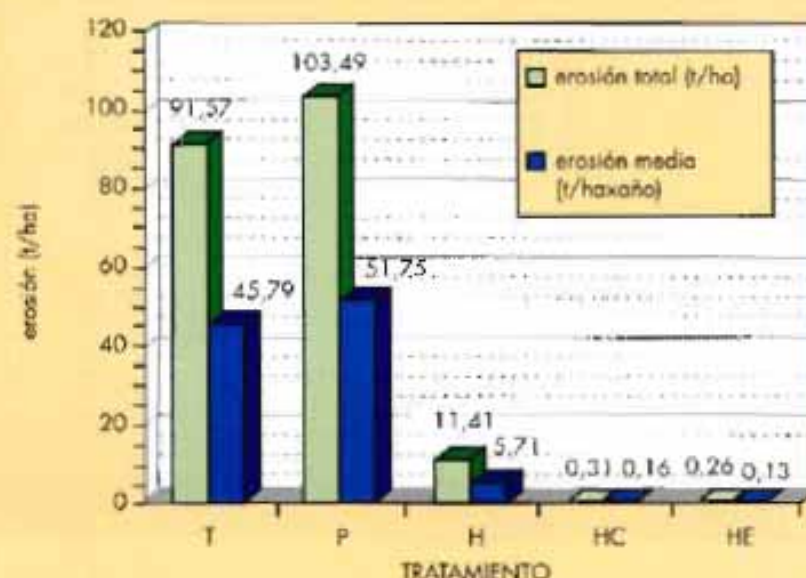


Figura 10: Erosión total y media en cada tratamiento.

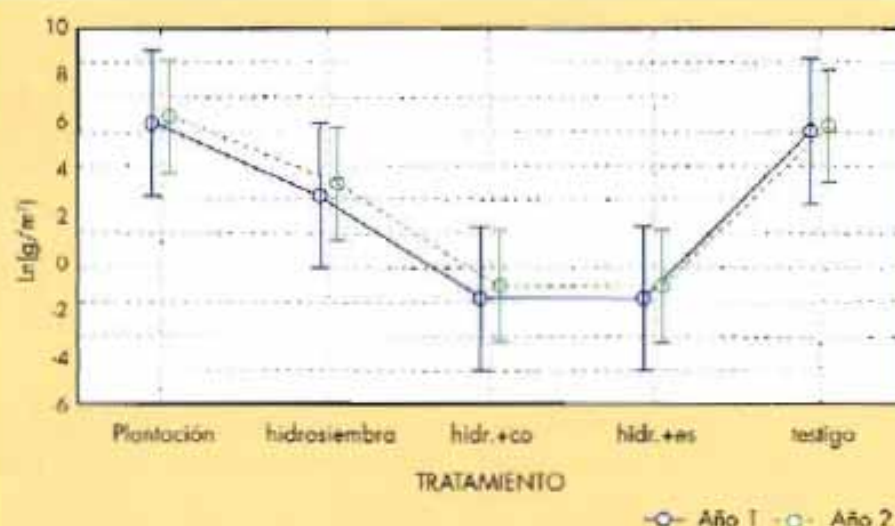


Figura 11: Erosión media en los 5 tratamientos como Ln (peso suelo erosionado/m² de parcela) cada año.

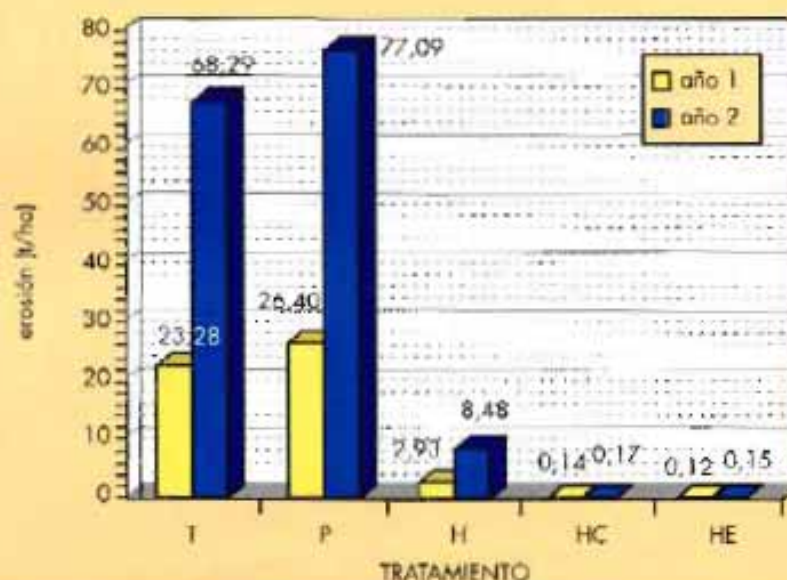


Figura 12: Erosión anual (t/ha) en los 5 tratamientos.

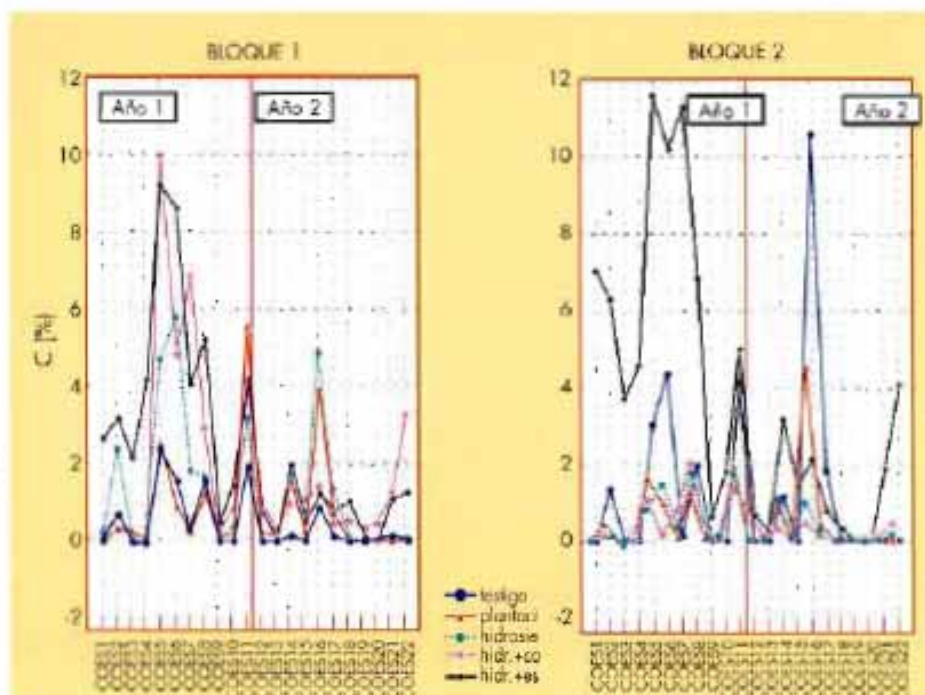


Figura 13: Coeficiente de escorrentía (%) por tratamiento, en los 2 bloques y en cada año.

doce años en otros países, similares a las aquí realizadas, informan sobre valores próximos a nuestros resultados, por lo que podemos decir que bajo las condiciones climáticas de esta zona, los grados de control de erosión han sido excelentes y, más aún, para las mantas de esparto, material manufacturado en España igualmente competitivo que las elaboradas con fibra de coco.

H, a pesar de su escasa cobertura vegetal (7,7%; figura 18), ha logrado un control bueno y los resultados también son acordes con los trabajos de otros investigadores estadounidenses. Por último, en contra de lo esperado, se ha observado un incremento de las tasas erosivas en P. Este hecho se explicaría por la remoción del terreno durante el ahoyado, la baja cobertura vegetal ($\leq 12\%$; figura 20) incapaz de frenar los deslizamientos epiteliales y el desmoronamiento de los alcorques con el tiempo.

4.2. Escorrentías

Los tratamientos han producido una respuesta frente a la escorrentía muy distinta de la esperada. En todos los aguaceros y tratamientos, los coeficientes de escorrentía se

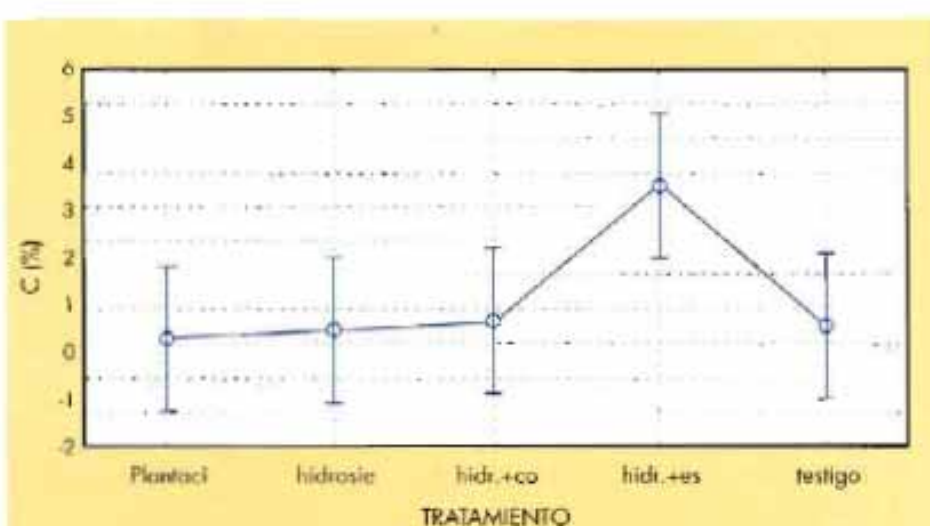


Figura 14: Coeficientes de escorrentía medios (%) durante el tiempo estudiado para los tratamientos.

hallan por debajo del 12% (figura 13), que suponen valores bajos, aunque no extraños en situaciones de lluvia natural en la España semiárida. En la figura 13 se observa cómo existe una gran irregularidad en las cifras alcanzadas por los tratamientos a lo largo del tiempo y que el tratamiento HE parece estar, en un buen número de casos, por encima del resto de las prácticas, sobre todo durante el primer año.

El análisis estadístico ha reflejado que los tratamientos no presentan diferencias significativas a nivel global en sus comportamientos me-

dios ($p = 0,1605 > \alpha = 0,05$). Aunque se podría hablar de diferencias significativas para un $\alpha = 0,2$, lo que representa mejor nuestras observaciones de campo. Algunos tratamientos bajo determinadas circunstancias sí actúan de forma diferente, lo que se detecta en la figura 14, de la que se desprende que HE y HC engendran algo más de escorrentía que los otros, y que HE genera más que todos. El coeficiente de escorrentía medio (c) para HE y HC ha sido respectivamente 3,2% y 1,2%, mientras que ha valido 0,7% para P, 0,9% para H y 0,9% para T.

No parece haber diferencias significativas entre los bloques ensayados, pues $p = 0,8327$, aunque sí las hay entre un año y el siguiente. La

interacción año* tratamiento demuestra que las diferencias no son significativas para cada tratamiento en cada año ($p = 0,3408$), y las medias estimadas por el modelo indican que para todos los tratamientos, la escorrentía en el segundo año ha sido claramente inferior a la del primer año (figura 15). En el primer año se han registrado los siguientes valores medios de c : P, 0,8%; H, 1,2%; T, 1,1%; HC, 1,7%, y HE, 5,2%; en el segundo año: P, 0,6%; H, 0,5%; T, 0,7%; HC, 0,6%, y HE, 1,1%. De lo que se deduce que, durante el 2º año, las diferencias en los

tratamientos se han hecho mucho menos palpables que durante el primer año. Esto, en principio, podría atribuirse al deterioro de la fibra vegetal que se ha observado en las mantas orgánicas transcurrido el primer intervalo del estudio. Las escorrentías de cada tratamiento y año en relación a la precipitación anual se muestran en la figura 16.

Un aspecto interesante es la variación del comportamiento de HE frente a los demás (figura 14 a 16). Durante el primer año se observa que claramente ha aportado más escorrentia (22,2 mm frente a 7,9 mm de HC, 5,9 mm de H, 4,1 mm de P y 5,6 mm de T), mientras que durante el segundo las diferencias se aminoran considerablemente, (8,5 mm, frente a 3,9 mm de HC, 5,1 mm de H, 6,9 mm de P y 8,4 mm de T). Es muy probable que la causa sea porque, durante el primer año, la fibra vegetal de las mantas se halla inalterada y actúa como los tejados de fibras que se han empleado y emplean para proteger de la lluvia ciertas construcciones antiguas (efecto que hemos denominado *efecto pailloza*); observaciones similares son mencionadas en trabajos como los de Rickson (1995) y los de Armstrong y Wall (1991). Por otra parte, durante el 2º año, la degradación progresiva de la fibra vegetal presente en las mantas suaviza su comportamiento respecto al resto de tratamientos.

También cabe la posibilidad de que la escasa revegetación alcanzada en las mantas (10-13%) haya influido en este mayor flujo de escorrentia. Grace et al. (1998) encontraron que las mantas instaladas en desmontes de carreteras de Alabama produjeron una notable reducción de la escorrentia (17%); sin embargo, sus porcentajes de vegetación en las mantas habían sido próximos al 100%, Benik et al. (2000), en un reciente estudio bajo lluvia simulada y natural en taludes de autopistas estadounidenses, también sugieren un comportamiento de las mantas en este senti-

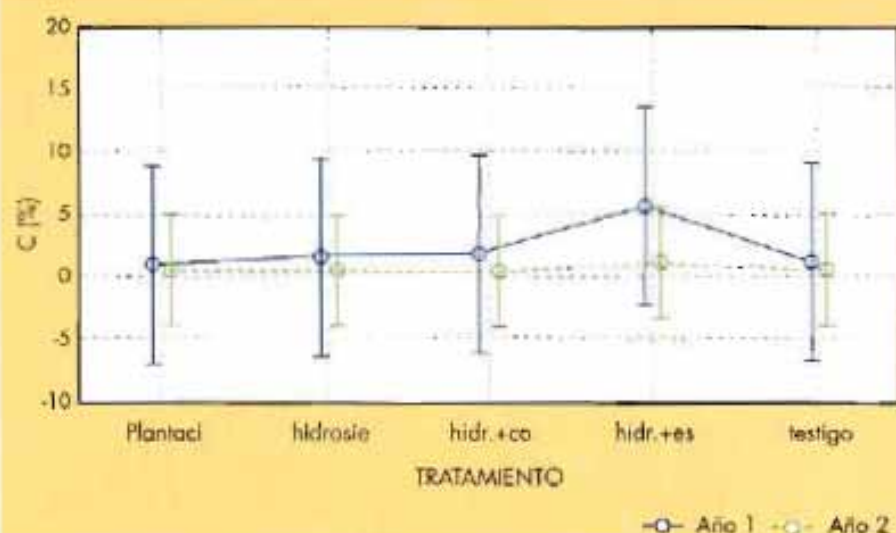


Figura 15: Coeficientes de escorrentia medios (%) durante cada año estudiado para los tratamientos.

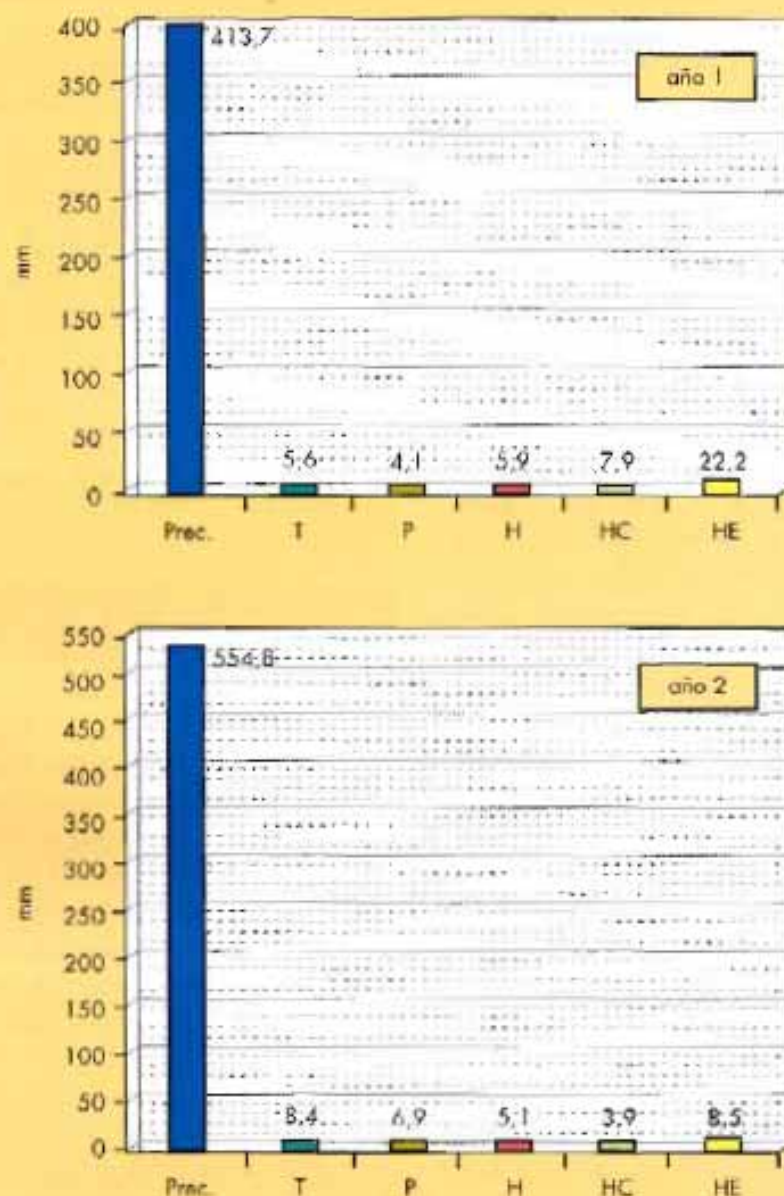


Figura 16: Escorrentias generadas en cada año en los 5 tratamientos.

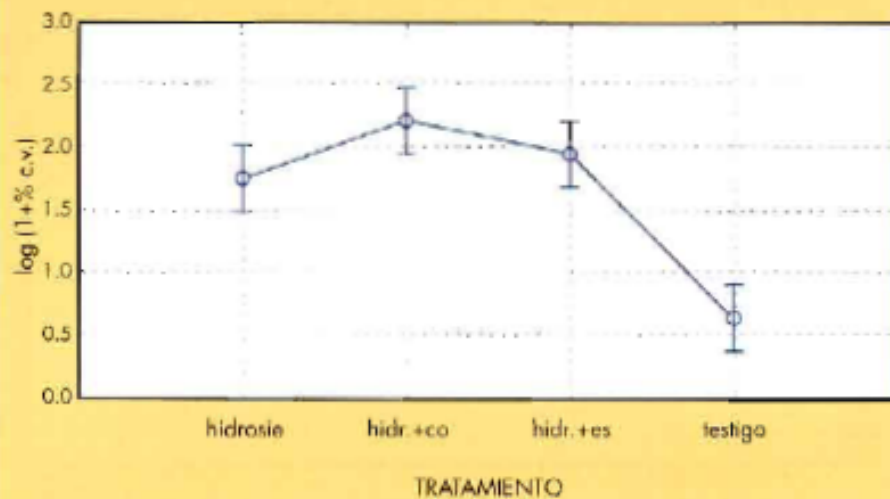


Figura 17: Resultados globales de la cubierta vegetal ($\log(1+\% \text{ c.v.})$) para cada tratamiento al final de los dos años.

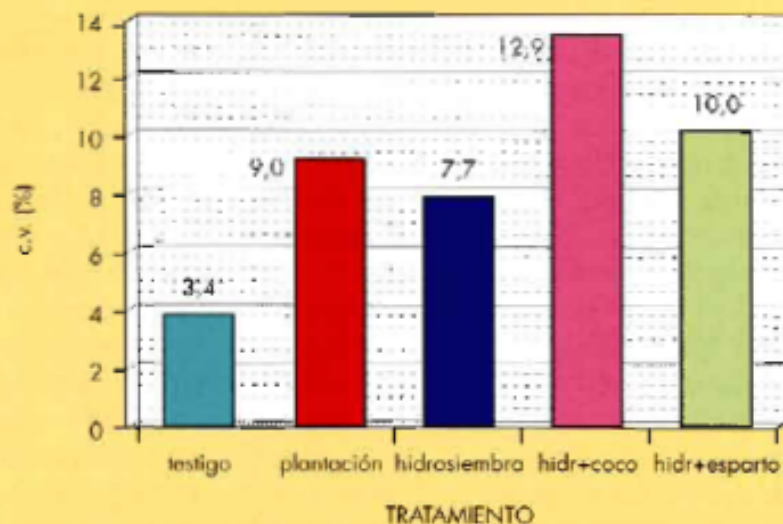


Figura 18: Resultados globales de la cubierta vegetal (%) para todo el ensayo y para cada tratamiento.



Los sedimentos de las carreteras llegan a alcanzar nuestros ríos, lagos, embalses, etc.

do; en nuestro caso la cubierta vegetal no ha sido nunca superior al 17% (figura 20) y esto implica que la lluvia resbala en estas grandes pendientes de forma parecida a los tejados de paja. Sin embargo seguramente con porcentajes de revegetación superiores este efecto palloza desaparece, ya que los vástagos de las herbáceas contribuyen a interceptar la escorrentía y frenar su escurrimiento, favoreciendo su incorporación al terreno de desmonte.

Otra cuestión interesante es la escasa escorrentía en T. Sin embargo, esto no parece tan extraño en zonas semiáridas (Ruiz-Flaño, 1993); también características propias de los taludes como el intenso agrietamiento y la elevada rugosidad de la superficie pueden incrementar la captación de escorrentía. Nuestros taludes poseen una alta rugosidad (rugosidad media, $cr = 17,76 > 13,12$), estimada mediante el método de la cadena de Saleh (1993), y un notable agrietamiento inducido por la presencia de illita.

Por otra parte, las precipitaciones durante los 2 años han sido pequeñas y poco erosivas. Las lluvias erosivas ($\geq 12,5 \text{ mm}$) han supuesto 12 episodios de los 585 estudiados, mientras que de todas las acontecidas en este intervalo, las menores de 5 mm han supuesto el 85% de los eventos; más del 90% han aportado menos de 10 mm, y entre 5 y 20 mm, un 95%; sólo el 5% de los aguaceros han superado los 20 mm (Navarro, 2002). Algunos investigadores han comprobado que en diversas zonas de España, los episodios de lluvia que generan escorrentía son pocos en relación con el número total de los mismos, y resaltan que episodios por debajo de 5-10 mm apenas engendran escorrentías apreciables, siendo necesario más de 20-25 mm de lluvia para su aparición. En nuestra área, el 2º año, el 100% de las lluvias han sido $< 25 \text{ mm}$, lo que puede justificar la menor escorrentía de ese año.

4.3. Revegetación alcanzada

De la matriz ANOVA y de las medias estimadas por el modelo para todo el estudio en su conjunto, se desprende que los tratamientos han resultado sensiblemente diferentes. Su comportamiento se visualiza en las figuras 17 y 18. El mejor resultado se podría atribuir a HC ($\log(1+\%c.v.) = 2,3$; 12,9% de cobertura vegetal), seguido de HE (2,0; 10,0%), H (1,8; 7,7%) y T (0,6; 3,4%). P ha ofrecido unos resultados intermedios entre HE y H; aunque, a diferencia del resto, presenta una cobertura (9%) despegada del suelo y menos efectiva para el control de la erosión (figura 18).

Las medias de los tratamientos en cada periodo (figura 19) son significativamente diferentes. La tónica general (figura 20), menos en P, es que la cubierta vegetal desciende al final del primer año, para ascender algo después aunque sin sobrepasar los valores iniciales en H y HC, mientras que en HE se observa un descenso progresivo. H ha presentado en los 3 periodos las siguientes cifras: 9,7%, 4,4% y 8,9%; HC, 16,5%, 9,8% y 12,3%; HE, 12,8%, 9,2% y 7,9%. En P, en cambio, la cubierta vegetal se incrementa debido al crecimiento de las copas de los arbustos (5%, 10%, 12%). Por último, en T, el tercer año revela un nivel superior al inicial (3,4%, 1,8% y 5,1%), lo cual no es raro, ya que T se ha hallado casi totalmente desnudo y cualquier incremento es fácilmente detectable. En cualquier caso, los niveles de protección alcanzados por la vegetación en todos los tratamientos han sido muy bajos, no sobrepasando nunca el 17% de cobertura del terreno de HC. Estos resultados se confirman también a través de los test de rango múltiple (Diferencia significativa mínima LSD, Duncan y Tukey) que se han realizado para contrastar periodo a periodo cada tratamiento entre sí y con los demás.

Al realizar el test LSD y el de Dun-

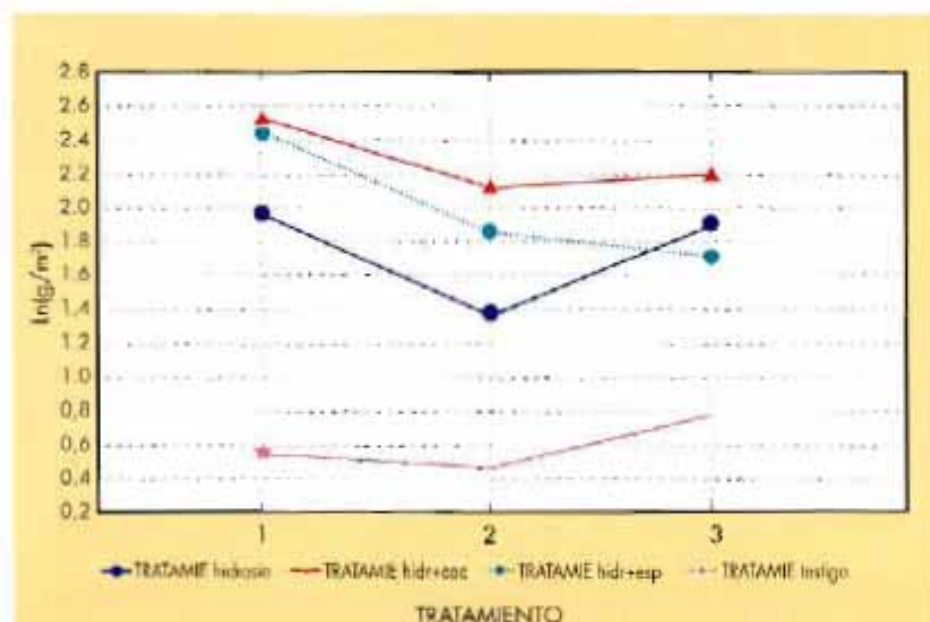


Figura 19: Resultados medios de cada tratamiento para la variable $\log(1+\%c.v.)$ en los tres periodos.

can se comprueba que se puede hablar de un resultado notablemente mejor de los tratamientos HC y HE respecto de la revegetación natural (T), a un nivel de confianza del 95%. Y que los resultados de cobertura vegetal son significativamente mejores en H, HC y HE, con un nivel de confianza del 90%. En cuanto a las arbustivas, los resultados han marcado una importante proporción de éxitos, con una cubierta creciente a lo largo del tiempo. Sin embargo, el crecimiento y desarrollo de la protección del talud es lento durante el tiempo observado, no superando las coberturas de la vegetación en HC y HE. Por último, conviene señalar el escaso grado de recolonización natural alcanzado en T (5% al final del periodo de estudio), lo que realza la importancia de la intervención en los taludes frente a la pasividad.

Sin embargo, el resto de los tratamientos también reflejan una escasa proporción de cubierta vegetal alcanzada. No obstante, prospecciones precedentes en desmontes de la zona y, en desmontes de La Rioja (Arnáez-Vadillo et al., 1991) encuentran coberturas vegetales naturales próximas al 20%. Por ello, nuestros valores parecen no estar lejos de lo máximo posible o capaz de sustentarse de forma natural so-

bre este tipo de terreno. Además, la escasa pluviometría registrada, al menos durante el primer año, la infertilidad edáfica, las inadecuadas densidades aparentes a lo largo de los taludes, la resistencia a la penetración y, muy posiblemente, ciertas condiciones de difícil control en la ejecución de las hidrosiembras (como una aplicación a finales del otoño) son la causa de estos resultados. El control de estos aspectos ya fue sugerido hace algunas décadas, y todavía en la actualidad, por múltiples investigadores con objeto de mejorar los niveles de recolonización vegetal de los taludes de infraestructura viaria. Asignatura todavía hoy pendiente en nuestro país.

5. Conclusiones

Del estudio realizado se desprende que:

1. Los geotextiles de fibra de esparto y coco proporcionan un eficaz control de la erosión a corto plazo frente a otros tratamientos como la hidrosiembra, la plantación de arbustivas y la recolonización natural, ofreciendo unas tasas de erosión 99% menores que las que se dan en desmontes similares sin tratar.

2. La plantación de arbustivas en

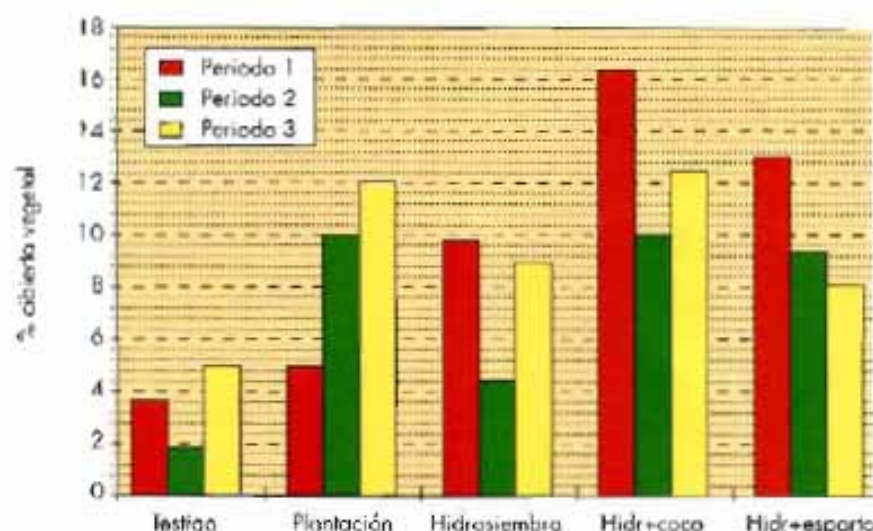


Figura 20: Resultados medios globales de cada tratamiento para la cubierta vegetal (%) en los tres periodos.

este caso se ha mostrado ineficaz a corto plazo en el control de la erosión, ya que la falta de cobertura y la remoción del terreno para la plantación inducen mayores pérdidas de suelo.

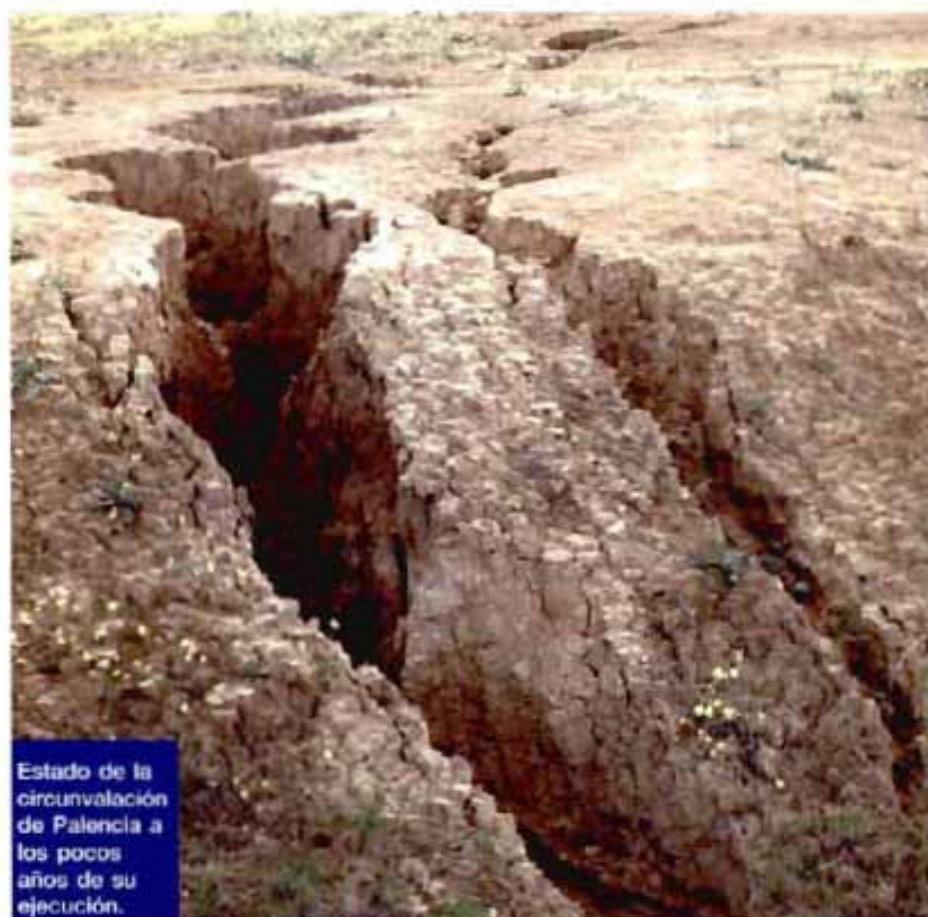
3. Pequeñas proporciones de cubierta vegetal herbácea, como en H, pueden ejercer un notable control de la erosión en el caso de determinados procesos erosivos (deslizamientos epiteliales).

4. Las tasas de erosión, registradas mediante los colectores Gerlach, califican este proceso entre moderado y grave; lo que, unido a la escasa capacidad de recolonización natural de los desmontes y a los problemas de mantenimiento de las infraestructuras asociadas, justifica emprender algún tipo de acción para el control erosivo.

5. Respecto a la escorrentía, debe considerarse que, en pendientes empinadas y cuando se alcanza una escasa cubierta vegetal, los geotextiles de fibra vegetal generan durante el primer año más escorrentía que el resto de los tratamientos ensayados, especialmente la manta de esparto. Este hecho debe investigarse con más detalle, pues puede tener importancia en el diseño de los drenajes de las infraestructuras y afectar a la revegetación de taludes en zonas semiáridas.

6. Se confirma la difícil revegeta-

ción de los desmontes de fuerte pendiente ante la deficiente cobertura vegetal lograda, debido a la baja pluviometría y a la infertilidad de los terrenos. No obstante, a corto plazo y a pesar de haber observado un decaimiento general en los tratamientos con hidrosiembra, se presenta una mayor recuperación en aquellos provistos con mantas orgánicas.



Estado de la circunvalación de Palencia a los pocos años de su ejecución.

Agradecimientos

Estas experiencias se han llevado a cabo gracias a la colaboración del Servicio de Mantenimiento de Infraestructuras de RENFE (Valladolid), Bonterra Ibérica y la Consejería de Educación y Cultura de la Junta de Castilla y León (proyecto ref. 10/96).

Referencias bibliográficas

- A.E.M.A. 1998. *Medio Ambiente en Europa. El Informe Dobris*. Luxembourg. Off. for Oficial Publ. of the European Comm. - Madrid. Ministerio de Medio Ambiente. 678 p.
- ARMSTRONG, J. J. & WALL, G. J. 1991. Quantitative evaluation of the effectiveness of erosion control materials. in *Erosion Control: a global perspective*. Procs. of the XXII IECA Conf. Florida (U.S.A.): 165-180.
- ARNÁEZ-VADILLO, J. LARREA, V. y ORTIGOSA, L. 1991. Environmental and topographical controls in geomorphological evolution of hill-



La erosión hídrica puede generar accidentes o agravar las consecuencias de los producidos por otras causas. En esta foto, los drenajes están atascados por sedimentos, procedentes de la erosión en los desmontes, y próximos al desbordamiento en un importante cruce de carreteras en Palencia.

roads (Iberian System, La Rioja, Spain), in Sala, M., Rubio, J. L. y García, J. M. (Eds.). *Soil Erosion Studies in Spain*. Logroño. Geoforma: 27-39.

BENIK, S. R., WILSON, B. N., BIESBOER, D. D. & HANSEN, B. J. 2000. *The efficacy of erosion control blankets and soil stabilizers*. Minnesota. Minnesota Department of Transportation, St. Paul.

BURROUGHS, E. R. & KING, J. G. 1989. Reductions of soil erosion on forest roads. *Intermountain Research Station, Forest Service, USDA. Technical Report INT-264*.

DGC. 1995. *Plan COEX. Plan de Conservación y Explotación de la Red de Carreteras del Estado 1996-2003*. Madrid. Dirección General de Carreteras. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente.

DISEKER, E. G. & RICHARDSON, E. C. 1961. Roadside sediment production and control. *Transactions of the ASAE*, 4 (1): 62-64, 68.

F.A.O. 1983. *Guidelines: land evaluation for rainfed agriculture*. Roma. FAO. 237 p.

GERLACH, T. 1967. Hillslope troughs for measuring sediment movement, in Tricart, J. & Macar, P. 1967. Field methods for the study of slope and fluvial processes. *Revue de Geomorphologie Dynamique*, spc. num. Cong. New-Dehli 1968: 173.

GRACE, J. M., RUMMER, B., STOKES, B. J. & WILHOIT, J. 1998. Evaluation of erosion control techniques on forest roads. *Transactions of the ASAE*, 41 (2): 383-391.

GRAY, D. H. & SOTIR, R. B. 1996. *Biotechnical and Soil Bioengineering Slope Stabilization: a Practical Guide for Erosion Control*. New York. John Wiley & Sons, Inc. 378 p.

HAIGH, M. J. 1987. Roadbank sediment yield in Central Oklahoma. *Processus et mesure de l'érosion*. Ed: du CNRS: 221-227.

ICONA. 1988. *Agresividad de la lluvia en España*. Madrid. ICONA, MAPA.

KASPERSEN, J. 2000. Holding something back: sediment containment measures. *Erosion Control*, 7 (5): 34-41.

MINTEGUI, J. A. y LÓPEZ UNZU, F. 1990. *La Ordenación Agrohidrológica en la Planificación*. Vitoria. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. 306 p.

NAVARRO, J. y JONTE, M. 1996. La erosión hídrica en los desmontes de la CN-610 y CN-611, en la circunvalación de Palencia. *Rutas, Rev. de la Asoc. Téc. de Carreteras*, 54: 35-42.

NAVARRO, J. y SAN MARTÍN R., 2000. Primeros datos sobre la erosión hídrica real en las obras viarias del entorno de Palencia. *Rutas, Rev. de la Asoc. Téc. de Carreteras*, 80: 4-14.

NAVARRO, J., SAN MARTÍN, R. & JONTE, M. A. 2003. Erosion rates in railroad cuts around Palencia (Spain), in *Proceedings of the Third International Congress Man and Soil at the Third Millennium*. Rubio, J. L., Morgan, R.P.C., Asins, S. & Andreu, V. (eds.). Geoforma, ed. Logroño: 1401-1414.

NAVARRO, J. 2002. *Control de la Erosión en Desmontes de Infraestructura Viaria: Aplicación al Entorno de Palencia*. Tesis Doctoral. E.T.S.I. Montes. Univ. Politéc. de Madrid.

NORTHCUTT, G. 2000. Designing more contractor-friendly plans to limit erosion and sediment losses. *Erosion Control* 7 (5): 28-33.

RICKSON, R. J. 1995. Simulated vegetation and geotextiles, in Morgan, R. P. C. & Rickson, R. J. (Eds.) *Slope Stabilization and Erosion Control. A Bioengineering Approach*. London. E & FN Spon: 95-131.

RUIZ-FLAÑO, P. 1993. *Procesos de erosión en campos abandonados del Pirineo*. Monogr. Cient., 4. Logroño. Geoforma Ediciones. 191 p.

SALEH, A. 1993. Soil roughness measurement: chain method. *Journal of Soil and Water Conservation*, 48 (6): 527-529.

SIDLE, R. C., PEARCE, A. J. & O'LOUGHLIN, C. L. 1985. *Hillslope Stability and Land Use*. Washington D.C. American Geophysical Union. ■