

## **ESTUDIO DE FACTORES EDÁFICOS RELACIONADOS CON LA EROSIÓN Y ESCORRENTÍA EN TALUDES DE FUERTE PENDIENTE; ENSAYOS DE REVEGETACIÓN**

E. ESTALRICH\*, A.J. HERNÁNDEZ\*; L. ARANDA\*\* y J. PASTOR\*\*

\* Área de Ecología. Facultad de Ciencias, Univ. de Alcalá. Alcalá de Henares

\*\* Centro de Ciencias Medioambientales, CSIC. Serrano 115 dpdo. 28006 Madrid.

**Abstract:** We have studied the relationships among soil factors, erosion, run-off and vegetation cover in road banks for three years. Precipitation and soil physical variables affect bank stability and are important factors for assessing degradation processes. On the other side, we have tested the success of revegetation with 23 native and 6 commercial legume and grass species, what enable us to predict their importance in avoiding the erosion of these slope systems.

**Key Words:** Roadside slopes, soil factors, erosion, run-off, revegetation.

**Resumen:** En este trabajo se exponen los resultados obtenidos del seguimiento continuado (monitoring) durante tres años, de los factores edáficos relacionados con la erosión y escorrentía en taludes y la implantación de la cubierta vegetal. La influencia de la pluviometría en la estabilidad de los taludes y los parámetros edáficos de la física de los suelos son importantes para la evaluación de la degradación de los mismos. Por otra parte, se han efectuado ensayos de revegetación fundamentalmente con especies leguminosas y gramíneas herbáceas, 23 autóctonas y 6 comerciales, que permiten tener resultados en relación a poder evitar los efectos erosivos en estos sistemas de tanta pendiente.

**Palabras clave:** Talud, factores edáficos, erosión, escorrentía, revegetación.

### **INTRODUCCIÓN**

El agua es un factor primordial de inestabilidad en los deslizamientos de tierras y su acción se verifica a través de varios mecanismos, que en el caso de los taludes pueden potenciarse a partir de la lluvia que cae sobre los mismos. Por eso no es extraño que desde antiguo se haya intentado correlacionar la estabilidad de un talud con la pluviometría. Así, la cuantificación de la misma puede servir como indicador general específico del riesgo de inestabilidad (Romana, 1992). Por otra parte el modelo de ciclo hidrológico para las

laderas naturales descrito por Clark y Small (1982) puede ser similar al que ocurre en un talud. Sin embargo, el fenómeno es complejo y difícil de cuantificar. La capacidad de infiltración del talud no es constante, sino que depende de su geometría y varía con el nivel de interceptación por la vegetación y la permeabilidad del terreno. La permeabilidad del talud será baja cuando está totalmente desecado (si no tiene grietas). También la velocidad del proceso depende de la duración de la intensidad de la lluvia. Usualmente los chaparrones muy cortos, no producen roturas inmediatas en los taludes (Romana, 1992).

Por otra parte, un estudio fino de la variabilidad espacio-temporal de lluvias necesita un buen conocimiento de la cantidad efectivamente recibida sobre una vertiente ("lluvia hidrológica"). Esta depende a su vez de la pendiente, de la orientación del talud y del vector lluvia local a nivel del suelo. Como se comprueba en el trabajo de Ambroise y Gerard (1989), las pluviometrías típicas que miden la "lluvia meteorológica" no dan más que una indicación de la lámina de agua, por lo que se hace necesario tener en cuenta la denominada "lluvia hidrológica".

## MATERIAL Y MÉTODOS

El trabajo se ha realizado durante tres años en 4 taludes experimentales (T1, T2, T3 y T4) creados en otros ya existentes y situados en el término municipal de Sta. Olalla (Toledo). Todos ellos presentan dimensiones similares en cuanto a altura y longitud, 4 x 7 m, se encuentran ubicados sobre un mismo sustrato, arcosas ligeramente carbonatadas, y presentan el mismo tipo de suelo, luvisol (luvisol cálcico en los tres primeros y luvisol vértico en el cuarto). El clima es de carácter semiárido, con una precipitación media anual de 450 mm. Se ha tenido en cuenta que presentarían orientaciones opuestas dada la influencia que ello tiene sobre diversos aspectos relacionados con la vegetación en taludes y laderas (Estalrich *et al.*, 1992 a y b). Así, T1 y T3 tienen orientación NW, T2 y T4 SE.

Para medir la pluviometría se instaló en los

propios taludes un pluviómetro colocado perpendicular al horizonte, y en T3 y T4 un segundo, perpendicular al propio talud. Los taludes disponían de un dispositivo semejante al lisímetro descrito por Salvayre (1990), de 1 m de ancho y situado en su parte inferior, para la recogida del agua de escorrentía y de los sedimentos arrastrados por la misma en una superficie de 3 m<sup>2</sup>.

En las experiencias de revegetación se han utilizado un total de 23 especies vegetales autóctonas y 6 comerciales, fundamentalmente gramíneas y leguminosas herbáceas seleccionadas en función de varios criterios como el tratarse de especies frecuentes en este tipo de sistemas, disponibilidad de semillas, o el carácter fijador que presentan, tanto a nivel de enraizamiento como de recubrimiento en superficie. Las siembras se han efectuado en otoño y sus resultados evaluados en la primavera del año siguiente.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 1.- Influencia de la pluviometría en la estabilidad de los taludes

Los valores de precipitación media anual en el periodo de estudio así como los datos registrados por los pluviómetros colocados en los taludes se pueden observar en la Tabla 1. A la vista de los mismos podemos decir lo siguiente:

Teniendo en cuenta las dos direcciones en que los pluviómetros recogieron la lluvia, instalados en taludes con distinta orientación (NW y SE), los situados perpendicularmente al talud

Tabla 1. Balance del agua de escorrentía, sedimentos arrastrados y de lluvia en los pluviómetros, recogidos en cada talud (1: pluviómetro colocado perpendicularmente al horizonte, 2: colocado perpendicularmente al talud).

AÑO	P. MEDIA ANUAL (mm)	SEDIMENTOS TOTALES RECOGIDOS (g/l)				AGUA TOTAL RECOGIDA (l)				LLUVIA TOTAL RECOGIDA EN PLUVIÓMETROS (l)							
		T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1		T2		T3		T4	
1°	384	506,7	70,4	909,1	1134,1	15,9	17,6	35,6	43,9	78	68,5	13,5	28	57	67		
2°	490,8	172	84,7	27,6	142	14,8	24	25,6	26,8	159,5	66	91	133	119,5	151,5		

registraron más lluvia que los colocados perpendicularmente al horizonte independientemente de la orientación y en los dos años, con lo que podemos decidirnos por esta segunda disposición de los pluviómetros. Los taludes con orientación norte recogieron también más lluvia que los de orientación sur, salvo en T4. Pensamos que ello puede estar relacionado con las propiedades vérticas de dicho talud. Y de forma general para todos ellos han influido otros factores como la dirección del viento y la protección ambiental que experimenta el del talud. En el caso de T2, la parte superior tiene suficientes árboles que parecen protegerle de las lluvias. Luego, también pueden ser éstos causas para que caiga menos veces agua en un talud que lo que, por lógica cabría esperar siempre que llueve.

Aunque se trata de un ensayo relativamente corto en el tiempo, ha revelado la importancia que puede tener el profundizar en los aspectos concretos de la cantidad de agua que de hecho llega a un talud. Ello se expone en la Figura 1 donde puede observarse que los taludes con exposición sur presentan también mayor cantidad de agua de escorrentía.

## 2.- Estimación de las pérdidas de suelo: degradación "física" y "específica"

En ambientes mediterráneos, con contrastes estacionales, la evaluación de las pérdidas

anuales de suelo en los taludes, debe ser considerada como una aproximación global al tema que nos ocupa, de acuerdo con lo expuesto por Benito *et al.* (1992). En este estudio la degradación física de los suelos de los taludes se ha evaluado mediante el aumento de la densidad aparente por año. Este parámetro edáfico y sus resultados se expone en la Tabla 2. Hay un incremento del mismo en el periodo considerado en casi todas las zonas de los taludes. Si tenemos en cuenta el valor en los suelos de los taludes testigo, en el T1, T3 y T4 hay una degradación física notable. Para los dos primeros, probablemente ello está relacionado con la orientación, mientras que para T4 pensamos más bien que con el tipo de suelo (luvisol vértico). El talud T2 presenta menor degradación física con relación a los valores obtenidos para la densidad del suelo el último año de la experiencia, comparado con los del testigo.

Una segunda estimación de las pérdidas de suelo, se ha realizado mediante la recogida de sedimentos arrastrados por el agua de escorrentía en los colectores situados en los taludes. Es la denominada "degradación específica". Los valores se muestran en la Tabla 1 y Figura 2. No es sorprendente que durante el primer año, en que la superficie de los cuatro taludes estaba casi desprovista de vegetación, los arrastres sean más importantes que el segundo año a pesar de que la precipitación fue mayor. El talud

Tabla 2. Evolución de parámetros relacionados con la degradación física y erosión de los suelos en los taludes (TEST: talud testigo).

TALUD	D. APARENTE (g/cm <sup>3</sup> )				FR > 2 mm (%)				SUELO DESNUDO (%)			M.O. (%)					
	TEST	1°	2°	3°	TEST	1°	2°	3°	TEST	1°	2°	3°	TEST	1°	2°	3°	
T1	ALTA	1,21	1,00	1,10	1,14	2,7	4,0	3,5	3,2	-	75	15	15	2,5	2,3	3,2	2,8
	MEDIA	1,30	1,20	1,50	1,45	3,1	4,7	4,6	3,1	-	83	69	44	3,7	0,8	1,1	1,0
	BAJA	1,38	1,32	1,47	1,48	2,8	1,5	4,3	3,7	-	67	25	29	2,5	0,6	1,2	1,1
T2	ALTA	1,34	1,26	1,24	1,22	10,2	16,2	16,5	18,0	-	93	69	71	2,6	0,8	0,8	4,5
	MEDIA	1,19	1,32	1,30	1,31	3,2	7,0	8,6	9,3	-	82	59	62	3,1	5,0	2,9	1,9
	BAJA	1,31	1,28	1,42	1,36	7,8	10,0	13,8	7,9	-	67	9	15	4,0	2,6	3,1	1,2
T3	ALTA	1,37	1,58	1,54	1,53	2,7	4,5	5,5	4,5	-	95	85	45	2,0	0,9	0,9	1,2
	MEDIA	1,37	1,20	1,61	1,60	5,5	3,0	3,9	4,0	-	80	6	50	1,8	1,3	0,4	1,0
	BAJA	1,19	1,40	1,65	1,54	3,1	2,8	4,3	3,3	-	87	40	39	2,2	0,8	0,5	1,1
T4	ALTA	1,19	1,19	1,12	1,19	3,0	2,9	3,1	2,3	-	55	25	35	4,6	2,6	2,5	3,4
	MEDIA	1,22	1,39	1,28	1,42	1,6	3,5	2,8	2,0	-	72	55	62	5,0	2,3	1,9	1,8
	BAJA	1,08	1,19	1,43	1,24	2,2	1,5	2,2	6,3	-	75	60	25	3,7	1,2	1,6	1,8

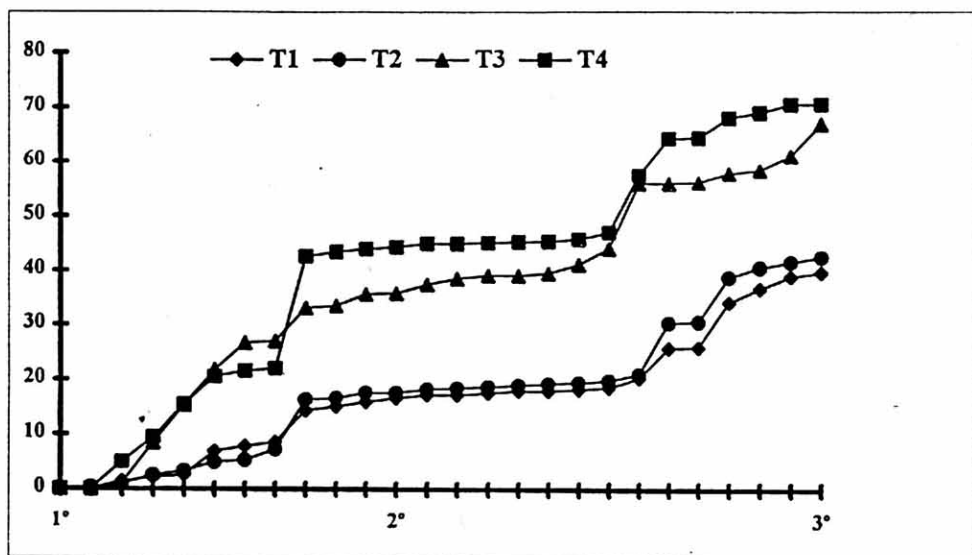


Figura 1. Balance acumulativo de la cantidad de agua de escorrentía (l) recogida en cada talud (las divisiones en abscisas corresponden a los eventos ocurridos durante los 3 años de la experiencia).

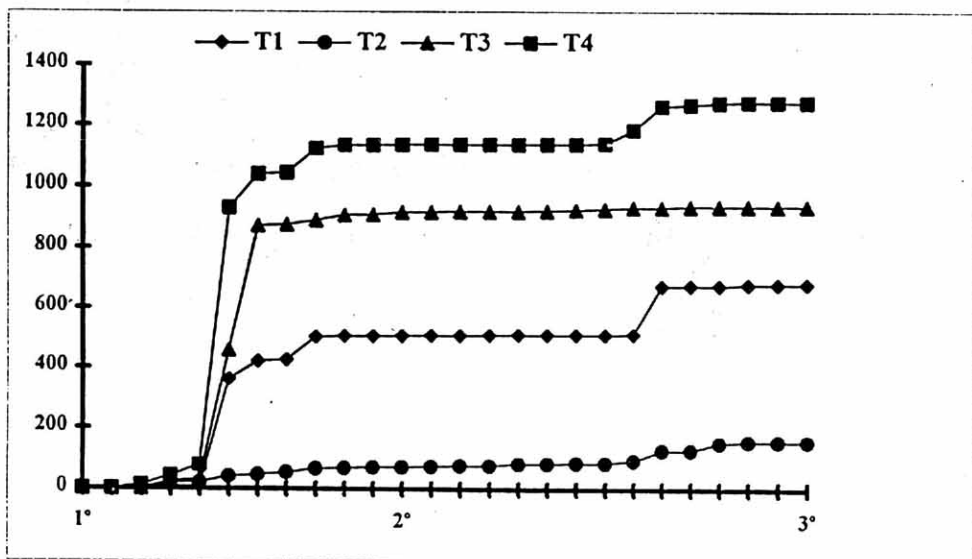


Figura 2. Balance acumulativo de la cantidad de sedimentos arrastrados (g) en cada talud (las divisiones en abscisas corresponden a los eventos ocurridos durante los 3 años de la experiencia).

T1, totalmente enfrentado al T2, muestra las mayores diferencias. Con lo cual quizás los suelos orientados en esta dirección son más sensibles a sufrir pérdidas de suelo que los expuestos al sur, en la misma localidad.

### 3.- Seguimiento de los factores edáficos con influencia en la implantación y crecimiento de especies vegetales

Después de tres años, parece que la fracción mayor de 2 mm tiende a ser algo mayor que en sus testigos (Tabla 2). Hay arrastres respecto a las distintas fracciones de gravas y también respecto a las arenas. Se puede decir, que la perturbación unida a la erosión que sufren los taludes el primer año, provoca un desarreglo en los componentes granulométricos de la capa superficial edáfica. Hay variaciones también respecto a los contenidos en materia orgánica. Sólomente en las partes altas de los taludes parece incrementarse. Quizá sea debido a la cantidad de necromasa en pie que presentan.

La retención de humedad de los suelos se muestra en la Tabla 3. Para todos los taludes resulta un incremento de la capacidad de campo

en el transcurso de tres años. Sin embargo, observando los valores de los taludes testigo, solamente los taludes T1 y T2, parecen llegar a tener más retención de agua. El punto de marchitez es también mayor al final de la experiencia respecto a sus correspondientes testigos, mientras que para el agua útil las diferencias son más apreciables sobre todo para las partes medias.

### 4.- Resultados de los ensayos de revegetación

Los resultados obtenidos en los distintos periodos de siembra aparecen en la Tabla 4. A la vista de los datos podemos deducir un adecuado comportamiento general de las especies sembradas. Concretamente el 60,2% de las plántulas de gramíneas sembradas y el 32,1% de las leguminosas sobrevivieron para el cómputo total de taludes. Todos superan el 30% de supervivencia de las plántulas sembradas, no existiendo diferencias muy apreciables entre ellos, aunque es T3 el que alcanza mayores porcentajes. Para todos los taludes, la supervivencia de gramíneas es siempre mayor que la de leguminosas.

Por especies, las autóctonas parecen im-

Tabla 3. Parámetros relacionados con la retención de humedad del suelo (%) en los taludes (TEST: talud testigo).

TALUD	CAPACIDAD DE CAMPO				PTO. MARCHITEZ				AGUA ÚTIL				
	TEST	1°	2°	3°	TEST	1°	2°	3°	TEST	1°	2°	3°	
T1	ALTA	14,0	17,3	16,1	17,3	7,1	8,9	8,9	9,7	6,9	8,4	7,2	7,6
	MEDIA	18,9	13,9	15,4	13,1	9,6	7,4	7,8	7,7	9,3	6,5	7,6	5,4
	BAJA	15,6	15,5	14,2	19,7	6,9	7,7	7,4	10,1	8,7	7,8	6,8	9,6
T2	ALTA	21,8	20,4	17,2	24,1	9,9	10,3	10,4	14,0	11,9	10,1	6,8	10,1
	MEDIA	22,9	19,6	18,4	21,7	9,3	13,1	10,3	12,7	13,6	6,5	8,1	9,0
	BAJA	18,7	14,9	18,9	22,0	11,0	9,5	9,5	11,6	7,7	5,4	9,4	10,4
T3	ALTA	13,0	10,8	14,2	15,2	7,4	6,4	7,4	9,3	5,6	4,4	6,8	10,1
	MEDIA	12,3	10,0	11,8	11,3	6,7	5,8	5,7	8,5	5,6	4,2	6,1	2,8
	BAJA	13,0	11,7	12,4	15,7	6,8	7,0	6,4	10,6	6,2	4,7	6,0	5,1
T4	ALTA	24,3	18,2	22,4	27,5	13,0	12,1	12,2	16,1	11,3	6,1	10,2	11,4
	MEDIA	25,4	19,0	19,4	23,6	13,7	13,4	9,7	15,2	11,7	6,4	9,7	8,4
	BAJA	24,4	20,2	24,4	22,0	13,9	12,2	12,6	15,3	10,5	8,0	11,8	6,7

Tabla 4. Resultados de las siembras de especies llevadas a cabo en los taludes (s: n° de plántulas sembradas, v: n° de ejemplares supervivientes).

1 <sup>er</sup> AÑO	T1		T2		T3		T4	
	S	V	S	V	S	V	S	V
<b><u>AUTÓCTONAS</u></b>								
<i>Dactylis glomerata</i>	15	3	15	10	15	5	15	14
<i>Hordeum murinum</i>	15	15	15	14	15	14	15	15
<i>Bromus hordeaceus</i>	15	10	15	10	15	14	15	12
<i>Aegilops geniculata</i>	3	0	3	3	3	3	3	3
<i>Stipa tenacissima</i>	3	0	3	0	3	0	3	0
<i>Anthyllis lotoides</i>	15	3	15	2	9	4	15	0
<i>Trifolium angustifolium</i>	15	2	15	1	15	8	15	1
<i>Astragalus hamosus</i>	15	8	15	10	15	12	15	7
<i>Ornithopus compressus</i>	15	9	15	3	15	4	15	5
<i>Retama sphaerocarpa</i>	3	1	3	0	2	1	3	1
<b><u>COMERCIALES</u></b>								
Ray-Grass inglés	15	14	15	14	15	11	15	7
Ray-Grass italiano	15	9	15	8	15	8	15	13
<i>Cynodon dactylon</i>	15	0	15	0	15	2	15	0
<i>Medicago sativa</i>	15	6	15	0	15	9	15	1
<b>2<sup>o</sup> AÑO</b>								
<b><u>AUTÓCTONAS</u></b>								
<i>Aegilops geniculata</i>	15	15	15	14	15	14	15	15
<i>Avena sterilis</i>	15	14	5	0	-	-	15	6
<i>Bromus tectorum</i>	15	9	15	0	15	11	15	6
<i>Lolium rigidum</i>	15	9	15	9	15	13	15	14
<i>Anthyllis cornicina</i>	15	0	15	0	15	1	15	0
<i>Anthyllis lotoides</i>	15	0	15	2	15	0	15	5
<i>Biserrula pelecinus</i>	15	2	15	0	15	0	6	3
<i>Hippocrepis ciliata</i>	15	5	5	1	5	0	15	1
<i>Medicago lupulina</i>	15	1	15	0	15	3	15	6
<i>Medicago minima</i>	15	2	15	0	15	1	15	12
<i>Ornithopus compressus</i>	15	2	15	2	15	1	15	5
<i>Bellardia trixago</i>	15	0	15	0	15	0	15	0
<i>Plantago coronopus</i>	15	0	15	0	15	0	15	0
<i>Plantago lagopus</i>	15	0	15	0	15	3	15	4
<b><u>COMERCIALES</u></b>								
<i>Agrostis tenuis</i>	15	1	15	2	15	1	15	1
<i>Cynodon dactylon</i>	15	1	5	0	11	0	15	0
<i>Festuca rubra</i>	15	4	15	12	15	10	15	2
<i>Medicago sativa</i>	15	11	15	6	15	5	15	7
<b>3<sup>er</sup> AÑO</b>								
<b><u>AUTÓCTONAS</u></b>								
<i>Cynodon dactylon</i>	84	2	84	47	84	5	84	7
<i>Dactylis glomerata</i>	84	27	84	55	84	84	84	44
<i>Biserrula pelecinus</i>	70	0	70	0	70	0	70	0
<i>Medicago rigidula</i>	70	18	70	10	70	9	70	10
<i>Ornithopus compressus</i>	70	0	70	1	70	0	70	2

plantarse mejor que las comerciales si bien destacan, *Hordeum murinum* y *Aegilops geniculata* con 96,6%, *Bromus hordeaceus* 76,6%, *Lolium rigidum* 75% y *Dactylis glomerata* 61,1%. Entre las comerciales lo son Ray-grass inglés y Ray-grass italiano con un 76,6 % y 63,3 % respectivamente. Las leguminosas, *Astragalus hamosus* y *Medicago sativa* son las especies con mejores resultados.

Resumiendo diremos que las especies autóctonas dan mejores resultados, por lo general, que las especies comerciales, al menos en las primeras etapas sucesionales. Nuestros resultados están de acuerdo con lo expuesto en Cotts et al. (1991). Pero sobre todo, creemos que la implantación de una cobertura vegetal aceptable en nuevos taludes o para una restauración de los mismos, las especies deben ser seleccionadas en base al cumplimiento de algunos de los siguientes criterios: rapidez de germinación, fácil implantación, rapidez de desarrollo, poder tapizante, enraizamiento vigoroso, periodo vegetativo prolongado, persistencia después de la implantación. Estas características las pueden desempeñar varias especies que, incluso sobreviven en el banco de semillas con que muchas veces se cubren los taludes. Criterios semejantes han sido también puestos de manifiesto en otros trabajos (Ramos et al., 1974; Ruiz de la Torre, 1990). El seguimiento de experiencias en taludes es interesante para estudios de la ecología funcional de los bancos de semillas y los trabajos sobre estos temas se están expandiendo rápidamente (Thompson, 1993).

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos su ayuda a la CICyT (Proyecto CLI95-1790).

## REFERENCIAS

AMBROISE, B. and ADJIZIAN-GERARD, J.

(1989): Test of a trigonometrical model of slope rainfall in the small Ringelbach catchment (High Vosges, France). *Precipitation Measurement*. Ed. Sevrut. *Int. Workshop on Prec. Measur.*, 81-85.

BENITO, G.; GUTIÉRREZ, M. and SANCHO, C. (1992): Erosion Rates in Badland Areas of the Central Ebro Basin (NE-Spain). *Catena* **19**, 269-286.

CLARK, M. and SMALL, J. (1982): *Slopes and Weathering*. Ed. Cambridge Univ. Press.

COTTS, N.R.; REDENTE, E.F. and SCHILLER, R. (1991): Restoration Methods for abandoned roads at lower elevations in Grand Teton National Park, Wyoming. *Arid Soil Research and Rehabilitation* **5**, 235-249.

ESTALRICH, E.; HERNÁNDEZ, A.J.; URCELAY, A. and PASTOR, J. (1992a): Orientation, slope, soil type, plant cover and erosion on roadside slopes. *Ann. Geophysicae, II vol.* **10**, 312.

ESTALRICH, E.; HERNÁNDEZ, A.J. y PASTOR, J. (1992b): Conocimiento de ecotipos de especies fijadoras en taludes de carretera en clima semiárido. *3<sup>er</sup> Simp. Nac. sobre Taludes y Laderas Inestables*, 781-790.

RAMOS, I.; DOMÍNGUEZ, M<sup>a</sup>.L.; JIMÉNEZ, F. y SORIANO, C. (1974): *Tratamiento funcional y paisajístico de taludes artificiales*. Monografías 2. ICONA.

ROMANA, M. (1992): El problema de la precisión de la rotura de un talud en función de la pluviometría. *3<sup>er</sup> Simp. Nac. sobre Taludes y Laderas Inestables*, 53-69.

RUIZ DE LA TORRE, J. (1990): *Catálogo de especies vegetales a utilizar en plantaciones de carreteras*. MOPU.

SALVAYRE, H. (1990): *Techno-Ecologie de l'environnement*. Ed. H. Salvayre, France.

THOMPSON, N.K. (1993): The functional Ecology of Seed Banks. *The Ecology of Regeneration in Plant Communities*. Fenner, M (Ed.). Redwood Books, 231-258.