

# LA PENDIENTE Y EL TIPO DE TALUD ALTERAN LA RELACION ENTRE LA RIQUEZA DE ESPECIES Y LA COBERTURA DE LAS COMUNIDADES HERBÁCEAS

CELIA MARTÍNEZ-ALONSO<sup>1</sup> Y FERNANDO VALLADARES<sup>2</sup>

## RESUMEN

Se estudió la cobertura y la composición florística de las comunidades herbáceas de 39 taludes de la autopista de la Costa del Sol (Málaga, España). Estas comunidades fueron el resultado tanto de hidrosiembras realizadas en los años 1999 y 2000 como de procesos naturales de colonización y de regeneración a partir del banco natural de semillas de la tierra vegetal con la que se cubrieron los taludes. Se seleccionaron taludes de dos tipos (desmontes y terraplén) con dos orientaciones contrastadas (sur y norte) y tres pendientes (27°, 34° y 45°). Se analizaron muestras de suelo que revelaron una gran pobreza en materia orgánica y macronutrientes, especialmente en los desmontes donde tanto la pendiente como los afloramientos rocosos fueron mayores. El estudio florístico se realizó en la primavera de 2001, coincidiendo con el máximo grado de desarrollo de las comunidades herbáceas. Las comunidades presentaron un promedio de 40-60 especies con coberturas comprendidas entre el 10 y el 90%. Para un mismo valor de pendiente, los desmontes presentaron una cobertura significativamente menor. Las diferencias florísticas y de cobertura entre las exposiciones norte y sur no fueron significativas durante el periodo de óptimo primaveral. *Dittrichia viscosa* (especie natural) y *Medicago sativa* (especie hidrosemebrada) fueron las especies que colonizaron con más éxito los taludes. Las leguminosas fueron dominantes en más taludes, seguidas de las gramíneas y las compuestas. Tanto la cobertura como la riqueza específica disminuyeron con la pendiente, pero la disminución de la cobertura con la pendiente fue mucho más abrupta que la de la riqueza específica. La riqueza específica aumentó con la cobertura en desmontes, donde el grado de desarrollo de la comunidad fue menor. Por el contrario, la riqueza específica disminuyó con la cobertura en terraplenes debido posiblemente a la exclusión competitiva de ciertas especies.

**Palabras clave:** riqueza específica, cobertura, pendiente, talud de carretera, comunidades herbáceas, desmonte, terraplén.

<sup>1</sup> Departamento de Medio Ambiente, INIA. Carretera de la Coruña Km. 7,5. - 28040 Madrid.  
e-mail: cmalonso@inia.es

<sup>2</sup> Centro de Ciencias Medioambientales, CSIC. Serrano 115 dpdo. - 28006 Madrid.  
e-mail: valladares@ccma.csic.es

Recibido: 28.05.2002

Aceptado: 22.07.2002

## SUMMARY

The slope and the type of bank affect the relationship between species richness and cover of herbaceous communities.

The cover and floristic composition of herbaceous communities was studied in 39 banks of the Costa del Sol highway (Málaga, Spain). These communities resulted from both the hydroseeding carried out in 1999 and 2000 and from natural processes of colonization and regeneration from the seedbank of the soil with which the banks were covered. The banks selected were of two types (roadcuts and embankments) with two orientations (south and north) and three slopes (27°, 34° and 45°). The soil analyses samples revealed a great poverty in organic matter and macronutrients, specially in the roadcuts where the slope was steeper and the rocky outcrops more important. The floristic study was carried out in spring of 2001, coinciding with the maximum degree of development of the herbaceous communities. The communities presented an average of 40-60 species with covers ranging from 10 to 90%. Roadcuts exhibited a significantly lower cover than embankments of the same slope. Floristic and cover differences between banks with north and south orientations were not significant during spring. *Dittrichia viscosa* (natural species) and *Medicago sativa* (hydroseeded species) were the most successful species. Leguminous species were dominant in the largest number of banks, followed by gramineae and compositae. Both the cover and the species richness diminished with the slope, but the cover decreased with the slope more abruptly. Species richness increased with cover in roadcuts, where the degree of development of the community was lower. On the other hand, the species richness diminished with the cover in embankments, possibly due to the competitive exclusion of certain species.

**Key words:** species richness, cover, slope, motorway bank, herbaceous communities, roadcut, embankment.

## INTRODUCCIÓN

La construcción de infraestructuras viarias produce alteraciones en la topografía del medio provocando, sobre todo, una pérdida del sustrato fértil, una generación de laderas con fuertes pendientes y un incremento de la superficie de suelos especialmente susceptibles a la erosión (ANDRES *et al.* 1996; RAMOS 1974). Si además este tipo de alteraciones se produce en ambientes mediterráneos, caracterizados por una importante sequía estival y marcadas oscilaciones climáticas anuales e interanuales, los problemas de erosión adquieren una gran relevancia y afectan de manera significativa a este tipo de infraestructuras (GARCÍA-FAYOS *et al.* 2000). Por esta razón existe un cierto escepticismo en cuanto al éxito de la revegetación en estos ambientes pues este conjunto de condi-

ciones tanto naturales como antropogénicas dificultan de manera evidente la supervivencia y el desarrollo de las plantas. No obstante, es preciso un avance en el conocimiento de las comunidades vegetales de áreas perturbadas y de los procesos de sucesión que se producen en estos ambientes mediterráneos no naturales para incrementar el éxito de las medidas encaminadas a restaurar la cubierta vegetal y detener la erosión, auténticos puntos de partida para una eventual restauración funcional de los ecosistemas afectados por la construcción de redes viarias (MARTÍNEZ-ALONSO & VALLADARES 2002; ANDRES *et al.* 1996). La selección de especies en los ensayos dirigidos a facilitar el desarrollo de la cubierta vegetal es muy importante, tal como se ha reconocido desde los primeros tratados generales (RAMOS 1974; HOLMES 2001). Pero tan o más impor-

tante que las especies en particular puede ser el número total de especies con el que se inicie la comunidad. La riqueza de especies tiene una serie de implicaciones funcionales que pueden ser muy relevantes para la restauración de la cubierta vegetal de taludes de carreteras. Entre ellas destacan las conocidas pero a veces muy específicas relaciones entre la riqueza de especies y la productividad, la estabilidad temporal y la resiliencia de las comunidades vegetales (CHAPIN *et al.* 2001). A estas relaciones cabría añadir la relación de la riqueza de especies con la extensión estacional de la cobertura a medida que especies con distinta fenología van dominando la comunidad. Aspectos tan simples como la relación entre riqueza de especies y cobertura vegetal no están bien conocidos en ambientes mediterráneos y su conocimiento no sólo permitiría un avance de la ecología teórica sino que tendría inmediatas aplicaciones ya que podría servir de guía, por ejemplo, para decidir la mezcla de semillas a emplear en las hidrosiembras de los taludes generados en la construcción de carreteras.

El objetivo de este trabajo fue la descripción de las comunidades principalmente herbáceas que se desarrollaron en ciertos taludes de la autopista de la Costa del Sol (Málaga) tras 3 años de la finalización de las obras de construcción. Se exploró el efecto de la pendiente y la orientación como factores que podrían modular la relación entre la cobertura y la riqueza de especies de estas comunidades vegetales. Se seleccionó la pendiente por la evidencia existente sobre su incidencia en el éxito de la colonización vegetal de los taludes mediterráneos (GARCÍA-FAYOS & CERDÀ 1997, GARCÍA-FAYOS *et al.* 2000), lo cual es debido fundamentalmente a su efecto sobre los procesos de arrastre y erosión (ENCISO *et al.* 2000). La orientación del talud interacciona con la pendiente ya que las fuertes pendientes realzan las diferencias derivadas de la exposición (RAMOS 1974). El diseño experimental se completó considerando los dos tipos de talud que se generan en la construcción de infraestructuras viarias, los terraplenes, en los que la carretera queda levantada sobre el nivel original del suelo mediante la acumulación de materiales, y

los desmontes, en los que la carretera discurre por debajo del nivel original del suelo gracias a la excavación del mismo. Estos dos tipos de taludes tienen unas características diferentes tanto desde el punto de vista geomorfológico (la pendiente discurre aguas abajo de la carretera y suele estar menos inclinada en los terraplenes, mientras que en los desmontes la propia carretera se encuentra en la parte baja del talud y las pendientes suelen ser mayores) como edafológico (el suelo de los terraplenes suele ser relativamente blando, está muy removido y alterado, y es alóctono aunque procede de zonas próximas, mientras que en los desmontes se ha perdido la capa superficial más fértil del suelo y con frecuencia aflora el sustrato rocoso).

Con todo ello nos planteamos las siguientes hipótesis: i) la pendiente dificulta el asentamiento vegetal, lo cual se traduciría en menores valores de cobertura y riqueza específica; ii) la orientación sur presenta mayores dificultades para su colonización debido a un balance hídrico más desfavorable; iii) los desmontes deben presentar comunidades vegetales menos desarrolladas.

## MATERIAL Y METODOS

### Zona de estudio

El tramo de la autopista sometido a este estudio atraviesa los términos municipales de Estepona y Marbella, entre las comarcas de Guadalhorce y Velez Málaga, en el suroeste de la provincia de Málaga. La temperatura media anual oscila entre 17 y 19 ° C y la precipitación anual promedio en la zona es de 648 mm, presentando dos épocas de lluvias, una durante el invierno y principios de la primavera y otra en el otoño. Entre los meses de mayo y septiembre se produce la época seca. Todo el área de estudio se localiza en el piso bioclimático Termomediterráneo subhúmedo (RIVAS-MARTÍNEZ 1987), asentándose sobre afloramientos rocosos de peridotitas y sustratos ácidos formados principalmente por areniscas, arenas, arcillas y limos, y sólo ocasionalmente sobre algún afloramiento calizo. La autopista

se encuentra a una altitud aproximada de 30 m sobre el nivel del mar.

La vegetación local está formada por cultivos de regadío y matorrales compuestos principalmente por *Chamaerops humilis*, *Calicotome villosa*, *Ceratonía siliqua*, *Spartium junceum*, *Genista scorpius*, *Cistus monspeliensis*, *Cistus ladanifer*, *Stipa tenacissima* y pinares de repoblación de *Pinus pinea* y *Pinus pinaster*.

### Estudio de las comunidades herbáceas y de los suelos

Para el estudio de las comunidades vegetales que colonizaron los taludes de la autopista de la Costa del Sol, y que fueron el resultado tanto de las hidrosiembras como de la colonización de origen natural, se seleccionaron 39 taludes con distintas pendientes y orientaciones (umbría-solana o norte-sur), en el tramo Marbella-Estepona de 26 km. De los taludes seleccionados, 21 fueron desmontes, formados por cortes profundos del sustrato donde generalmente aflora la roca madre, con pendientes de 3H:2V (34°) (10 desmontes) y 1H:1V (45°) (11 desmontes), y 18 terraplenes, formados por la deposición de material no consolidado, con

pendientes de 2H:1V (27°) (10 terraplenes) y 3H:2V (34°) (8 terraplenes). Las hidrosiembras se acompañaron en todos los casos de abono, ácidos húmicos y mulch, y tan sólo en los terraplenes se echó tierra vegetal previamente a la hidrosiembra.

Los taludes fueron hidrosebrados durante el invierno de 1999-2000, utilizando dos mezclas distintas de hidrosiembras según se aplicasen en desmontes o en terraplenes (tabla 1). En cada talud se realizó un inventario florístico mediante un mínimo de dos transectos de 50 m de longitud perpendiculares a la pendiente del talud, localizados en la parte central del talud, para evitar el efecto cuneta de acumulación y el efecto borde superior, además siempre se localizaron a 5 m de los laterales del talud, para evitar el efecto borde. En todos los transectos se realizaron los muestreos mediante censo-inventarios, en los que se estimó la cobertura vegetal (en porcentaje, empleando como referencia para la estimación visual una plantilla con una serie de superficies de cobertura creciente generadas por ordenador) y la abundancia relativa de cada especie registrada (en una escala de 1 a 3), durante la primavera de 2001.

	LEGUMINOSAS	Peso (%)	GRAMINEAS	Peso (%)	OTRAS FAMILIAS	Peso (%)
TERRAPLENES	<i>Lotus corniculatus</i>	3	<i>Agropyrum intermedium</i>	10	<i>Sanguisorba minor</i>	5
	<i>Lupinus luteus</i>	7	<i>Cynodon dactylon</i>	3		
	<i>Medicago sativa</i>	7	<i>Dactylis glomerata</i>	10		
	<i>Onobrychis viciifolia</i>	5	<i>Festuca arundinacea</i>	12		
	<i>Vicia cracca</i>	5	<i>Festuca rubra</i>	10		
			<i>Lolium multiflorum</i>	10		
			<i>Lolium rigidum</i>	10		
			<i>Poa pratensis</i>	3		
DESMONTES	<i>Anthyllis cytisoides</i>	5	<i>Agropyrum cristatus</i>	7,5	<i>Atriplex halimus</i>	12,5
	<i>Medicago sativa</i>	5	<i>Cynodon dactylon</i>	2,5	<i>Cistus albidus</i>	1
	<i>Melilotus officinalis</i>	5	<i>Lolium rigidum</i>	12,5	<i>Moricandia arvensis</i>	2,5
	<i>Onobrychis viciifoli</i>	10	<i>Piptatherum miliaceum</i>	5	<i>Nerium oleander</i>	2,5
	<i>Spartium junceum</i>	2,5	<i>Stipa tenacissima</i>	5	<i>Rhamnus licioides</i>	2,5
	<i>Vicia sativa</i>	7,5	<i>Zygophyllum fabago</i>	12,5		

Tabla 1. - Porcentaje en peso de las semillas de las distintas especies empleadas en la composición de las hidrosiembras que se aplicaron en los desmontes y terraplenes estudiados.

Table 1. - Relative proportion for seeds of each species (expressed as percentage of total weight) used in the hydroseeding of the roadcuts and embankments studied.

(meses de marzo y mayo). Para la nomenclatura de las especies se utilizaron los criterios de Flora Europea apoyándose concretamente en la Flora Vascular de Andalucía Occidental (VALDÉS 1987).

Para el estudio del componente edáfico se recogieron muestras de suelo a una profundidad de 3-6 cm en todos los taludes estudiados. En el laboratorio se secaron las muestras al aire, se homogeneizaron y se separó la fracción > 2 mm de la < de 2 mm, esta última se utilizó para hacer los análisis físico-químicos siguientes: nitrógeno (%), fósforo (mg/100g), potasio (mg/100g), materia orgánica (%), pH (H<sub>2</sub>O), calcio (mg/100g), magnesio (mg/100g) y conductividad.

Los datos obtenidos se analizaron estadísticamente mediante ANOVA de una vía y regresión lineal. Los datos que no pasaron el test de normalidad o de la varianza se les aplicó el test de Kruskal Wallis. El programa estadístico utilizado fue SigmaStat 2.0 para Windows.

## RESULTADOS

El estudio de los suelos de los taludes reveló unos niveles muy bajos de los macronutrientes nitrógeno, fósforo y potasio (tabla 2). Existieron diferencias significativas en la concentración de estos elementos y de magnesio y materia orgánica entre los desmontes y terraplenes, los primeros con suelos más pobres que los últimos. En el resto de las variables estudiadas (pH, conductividad y calcio) no se apreciaron diferencias significativas entre terraplenes y desmontes.

Se ha registrado un total de 204 especies vegetales en los 39 taludes muestreados durante la primavera de 2001 (tabla 3). Los desmontes presentaron menor coberturas y una riqueza específica más baja que los terraplenes: 20% y 30 especies en desmontes frente a 80% y 59 especies en terraplenes (diferencias significativas, ANOVA  $p < 0.05$ ). Los taludes con mayores pendientes, los desmontes de 1H:1V (45°), fueron los que tuvieron menor cobertura vegetal,

	ANOVA	TERRAPLENES		DESMONTES		
	p	test	Media	Mediana	Media	Mediana
pH (H <sub>2</sub> O) *	0.14	2.18	-	a 7.45	-	a 7.70
Conductividad (µs/cm) *	0.41	0.66	-	a 153.3	-	a 170.0
Nitrógeno (%) *	0.016	5.75	-	a 0.04	-	b 0.02
Materia Orgánica (%)	0.002	10.8	7.44	a -	5.02	b -
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g) *	0.05	3.87	-	a 2.0	-	b 3.0
K (mg/100g) *	0.002	8.94	-	a 8.0	-	b 4.5
Ca (mg/100g) *	0.12	2.36	-	a 216.0	-	a 152.0
Mg (mg/100g) *	0.03	4.65	-	a 110.0	-	b 65.0

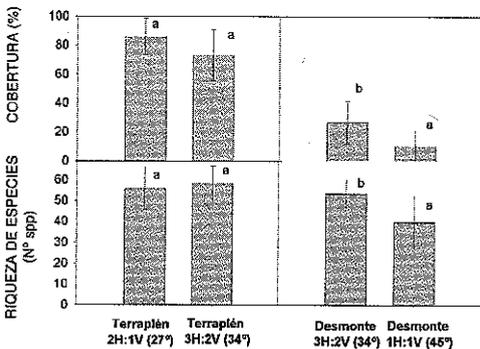
**Tabla 2.** - Variables edáficas de los taludes estudiados. Las letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre desmontes y terraplenes (ANOVA de una vía,  $p < 0.05$ ). Cuando los datos no fueron normales se aplicó el test de Kruskal-Wallis, (\*) y se presenta la mediana en lugar de la media (n = 21 desmontes, 18 terraplenes).

**Table 2.** - Soil variables studied banks. Letters indicate significant differences among roadcuts and embankments (One way ANOVA  $p < 0.05$ ). Kruskal-Wallis test was used when data did not follow a normal distribution (\*) and it shows the median. (n = 21 roadcuts, 18 embankments).

mientras que por el contrario los taludes de menor pendiente, los terraplenes de 2H:1V(27°) presentaron mayores coberturas (figura 1). Tanto la cobertura como la riqueza específica disminuyeron significativamente con la pendiente del talud, pero la disminución de la cobertura con la pendiente fue mucho más abrupta que la disminución de la riqueza específica (figura 2).

La riqueza específica y la cobertura estuvieron significativamente correlacionadas, pero mientras en los desmontes esta relación fue positiva en los terraplenes la correlación fue negativa (figura 3).

Las leguminosas dominaron tanto en desmontes como en terraplenes, seguidas de gramíneas y compuestas (figura 4). Los desmontes presentaron más variedad de familias dominantes que los terraplenes.

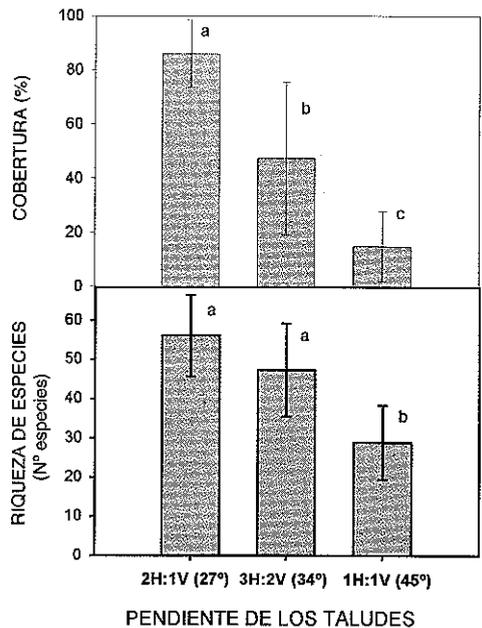


**Figura 1** - Cobertura (%) y riqueza específica en terraplenes y desmontes de dos pendientes diferentes (la pendiente se indica mediante la proporción distancia horizontal:distancia vertical y en grados de inclinación). Los valores representan la media  $\pm$  desviación estándar (desmontes, n = 21; terraplenes, n = 18). Las letras distintas señalan diferencias estadísticamente significativas (ANOVA de una vía,  $p < 0.05$ ).

**Figure 1** - Cover (%) and species richness in embankments and roadcuts of two different slopes (the slope is indicated both as the ratio horizontal:vertical distance and as degrees of inclination). Values are the mean  $\pm$  standard deviation (roadcuts, n = 21; embankments, n = 18). Different letters indicate statistically significant differences (one way ANOVA,  $p < 0.05$ ).

La orientación del talud (norte o sur) no influyó significativamente en la cobertura y riqueza específica de las comunidades herbáceas de primavera. Sin embargo, sí se observaron diferencias en la dominancia de ciertas especies según la orientación. *Psoralea bituminosa*, *Lotus corniculatus*, *Sonchus oleraceus* fueron más dominantes en taludes de solana, mientras que *Melilotus alba* y *Lolium rigidum* fueron más dominantes en taludes de umbría (figura 5).

La especie más abundante en los taludes, tanto en desmontes como en terraplenes fue



**Figura 2** - Cobertura (%) y riqueza específica en los taludes agrupados según la pendiente (la pendiente se indica mediante la proporción distancia horizontal:distancia vertical y en grados de inclinación). Los valores representan la media  $\pm$  desviación estándar (27° n = 10; 34° n = 18 (8 terraplenes y 10 desmontes); 45° n = 11). Las letras distintas señalan diferencias estadísticamente significativas (ANOVA de una vía,  $p < 0.05$ ).

**Figure 2** - Cover (%) and species richness in the banks clustered according to the slope (the slope is indicated both as the ratio horizontal:vertical distance and as degrees of inclination). Values are the mean  $\pm$  standard deviation (27° n = 10; 34° n = 18 (8 embankments and 10 roadcuts); 45° n = 11). Different letters indicate statistically significant differences (one way ANOVA,  $p < 0.05$ ).

*Dittrichia viscosa*, seguida por orden de abundancia de *Avena sterilis*, *Sonchus tenerrimus*, *Galactites tomentosa* y *Medicago sativa*. *M. sativa* fue la única de estas cinco especies que se hidrosembró, mientras que el resto colonizó los taludes de forma natural o bien a partir de poblaciones próximas o bien a partir del banco de semillas contenido en la tierra vegetal con la que su cubrieron los taludes antes de ser hidrosembrados (tabla 3).

## DISCUSIÓN

A pesar de las incertidumbres que aún existen en ecología de comunidades, hay patrones que empiezan a estar bien apoyados no sólo empíricamente sino por robustos modelos matemáticos. Tal es el caso de la disminución de la riqueza específica con el incremento de la

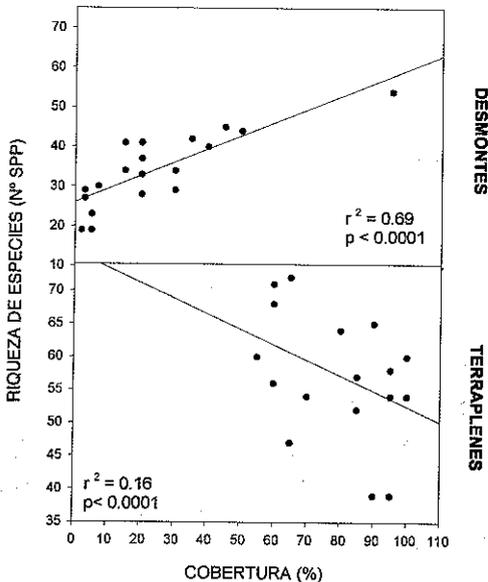


Figura 3 - Relación entre la riqueza específica y la cobertura vegetal (%) en desmontes y terraplenes. Se indica en cada caso el coeficiente de correlación ( $r^2$ ) y la significación de la regresión.

Figure 3 - Relationship between species richness and plant cover (%) in embankments and roadcuts. The coefficient of correlation ( $r^2$ ) and the significance of the regression are indicated in each case.

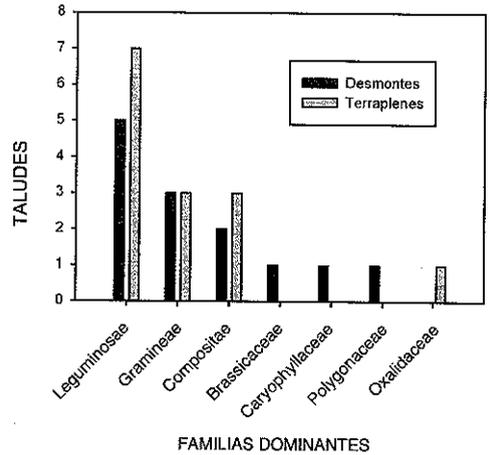


Figura 4 - Número de taludes en los que dominan las siete familias más abundantes. La dominancia se estableció según una escala cualitativa de 1 a 3. Los datos se muestran separados para desmontes (barras negras) y terraplenes (barras grises).

Figure 4 - Number of banks where each of the seven most abundant families are dominant. Dominance was established according a qualitative scale from 1 to 3. Values are shown for roadcuts (black bars) and embankments (grey bars) separately.

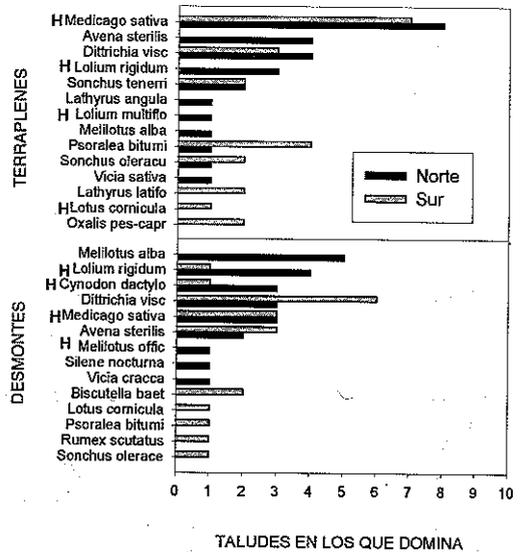


Figura 5 - Número de taludes en los que las principales especies son dominantes según el tipo de talud (desmonte o terraplén) y la orientación (norte en negro, sur en gris). La dominancia se estableció según una escala cualitativa de 1 a 3. Las especies precedidas de H estuvieron incluidas en las composiciones de hidrosembrados.

Figure 5 - Number of banks where the main species are dominant according to the type of bank (roadcut or embankment) and the orientation (north in black, south in grey). Dominance was established according a qualitative scale from 1 to 3. Species preceded by an H were included in the seed mixture of the hydroseeding.

Tabla 3. - Especies vegetales registradas en los taludes y porcentaje de terraplenes y desmontes en los que fue encontrada cada una.  
Table 3. - Plant species recorded and percentage of embankments and roadcuts where each species was found.

ESPECIES PRESENTES EN LOS INVENTARIOS	TERRAPLENES (%)	DESMONTES (%)	ESPECIES PRESENTES EN LOS INVENTARIOS	TERRAPLENES (%)	DESMONTES (%)
<i>Avena sterilis</i>	100,0	85.7	<i>Retama sphaerocarpa</i>	44,4	33.3
<i>Galactites tomentosa</i>	100,0	80.9	<i>Anagalis arvensis</i>	38,9	4.7
<i>Dittrichia viscosa</i>	100,0	90.5	<i>Carduus pycnocephalus</i>	38,9	9.5
<i>Medicago sativa</i>	100,0	80.9	<i>Euphorbia helioscopia</i>	38,9	4.7
<i>Sonchus tenerrimus</i>	100,0	85.7	<i>Ononis mitissima</i>	38,9	4.7
<i>Calicotome villosa</i>	94,4	38.1	<i>Phalaris minor</i>	38,9	4.7
<i>Daucus carota</i> subsp. <i>maximus</i>	94,4	52.4	<i>Pinus</i> sp.	38,9	33.3
<i>Psoralea bituminosa</i>	94,4	61.9	<i>Scolymus hispanicus</i>	38,9	19.0
<i>Lactuca serriola</i>	83,3	28.6	<i>Torilis leptophylla</i>	38,9	4.7
<i>Lolium rigidum</i>	83,3	57.1	<i>Trifolium campestre</i>	38,9	14.3
<i>Melilotus alba</i>	83,3	71.4	<i>Calendula arvensis</i>	33,3	4.7
<i>Andryala integrifolia</i>	77,8	80.9	<i>Hyparrhenia hirta</i>	33,3	-
<i>Leontodon longirostris</i>	77,8	47.6	<i>Melilotus officinalis</i>	33,3	66.6
<i>Convolvulus altheoides</i> subsp. <i>altheoides</i>	72,2	14.3	<i>Aegilops triuncialis</i>	27,8	4.7
<i>Glyceria notata</i>	72,2	23.8	<i>Centaurea meliitensis</i>	27,8	4.7
<i>Lolium multiflorum</i>	72,2	61.9	<i>Crambe filiformis</i>	27,8	-
<i>Ononis natrix</i>	72,2	33.4	<i>Lagurus ovatus</i>	27,8	-
<i>Phagnalon saxatile</i>	72,2	38.1	<i>Lathyrus angulatus</i>	27,8	9.5
<i>Reichardia intermedia</i>	72,2	52.4	<i>Linum trigynum</i>	27,8	-
<i>Vicia sativa</i> subsp. <i>sativa</i>	72,2	23.8	<i>Orobanchae</i> sp.	27,8	-
<i>Anacyclus radiatus</i>	66,7	14.3	<i>Rumex conglomeratus</i>	27,8	9.5
<i>Anthemis arvensis</i>	66,7	38.1	<i>Senecio lividus</i>	27,8	4.8
<i>Brachypodium distachyon</i>	66,7	23.8	<i>Spartium junceum</i>	27,8	28.6
<i>Bromus diandrus</i>	66,7	47.6	<i>Vulpia myuros</i>	27,8	33.3
<i>Cynodon dactylon</i>	66,7	85.7	<i>Bromus rubens</i>	22,2	66.6
<i>Rumex scutatus</i> subsp. <i>induratus</i>	66,7	52.4	<i>Ceratonia silicua</i>	22,2	4.8
<i>Sanguisorba minor</i> subsp. <i>rupicola</i>	66,7	38.1	<i>Cistus ladanifer</i>	22,2	-
<i>Ulex parviflorus</i>	66,7	4.7	<i>Cistus mosnPELLIENSIS</i>	22,2	9.5
<i>Biscutella baetica</i>	61,1	76.2	<i>Echium tuberculatum</i>	22,2	-
<i>Echium creticum</i>	61,1	66.6	<i>Euphorbia peplus</i>	22,2	-
<i>Festuca arundinacea</i>	61,1	61.9	<i>Galium aparine</i>	22,2	4.8
<i>Hispaldia incana</i>	61,1	33.3	<i>Lavandula multifida</i>	22,2	14.3
<i>Lathyrus latifolia</i>	61,1	28.6	<i>Lavandula stoechas</i>	22,2	-
<i>Piptatherum miliaceum</i>	61,1	28.6	<i>Medicago orbicularis</i>	22,2	-
<i>Trifolium angustifolium</i>	61,1	19.0	<i>Onobrychis viciifolia</i>	22,2	42.8
<i>Adenocarpus complicatus</i>	55,6	-	<i>Ononis viscosa</i>	22,2	23.8
<i>Coleostephus myconis</i>	55,6	9.5	<i>Rapistrum rugosum</i>	22,2	4.8
<i>Dactylis glomerata</i>	55,6	4.7	<i>Scolymus maculatus</i>	22,2	4.8
<i>Geranium molle</i>	55,6	-	<i>Solanum nigrum</i>	22,2	4.8
<i>Lotus corniculatus</i>	55,6	52.4	<i>Trifolium arvense</i>	22,2	19.0
<i>Oxalis pes-caprae</i>	55,6	4.7	<i>Trifolium glomeratum</i>	22,2	-
<i>Sonchus oleraceus</i>	55,6	19.0	<i>Trifolium scabrum</i>	22,2	-
<i>Anthyllis gerardii</i>	50,0	9.5	<i>Triticum aestivum</i>	22,2	-
<i>Bromus madritensis</i>	50,0	19.0	<i>Allium ampeloprasum</i>	16,7	-
<i>Crepis vesicaria</i>	50,0	28.6	<i>Anthyllis tetraphylla</i>	16,7	-
<i>Papaver rhoeas</i>	50,0	9.5	<i>Bromus tectorum</i>	16,7	-
<i>Silene inaperta</i>	50,0	80.9	<i>Centaurea pullata</i>	16,7	4.8
<i>Silene nocturna</i>	50,0	71.4	<i>Cerastium glomeratum</i>	16,7	4.8
<i>Vicia cracca</i> subsp. <i>cracca</i>	50,0	38.1	<i>Erodium cicutarium</i>	16,7	-
<i>Mercurialis annua</i>	44,4	4.7	<i>Erodium chium</i>	16,7	-
<i>Misopates oronitium</i>	44,4	23.8	<i>Galium verrucosum</i>	16,7	4.8

SPECIES PRESENTES EN LOS INVENTARIOS	TERRAPLENES (%)	DESMONTES (%)
<i>Hypochaeris achrophorus</i>	16,7	33.3
<i>Lamarckia aurea</i>	16,7	52.4
<i>Lathyrus clymenum</i>	16,7	4.8
<i>Linaria latifolia</i>	16,7	4.8
<i>Paronychia argentea</i>	16,7	9.5
<i>Plantago lanceolata</i>	16,7	9.5
<i>Rumex pulcher</i>	16,7	-
<i>Scorpiurus vermiculatus</i>	16,7	4.8
<i>Sherardia arvensis</i>	16,7	-
<i>Silene colorata</i>	16,7	14.3
<i>Sonchus maritimus</i>	16,7	4.8
<i>Stipa capensis</i>	16,7	-
<i>Anarrhinum bellidifolium</i>	11,1	-
<i>Arrhenatherum album</i>	11,1	-
<i>Atriplex halimus</i>	11,1	19.0
<i>Avena fatua</i>	11,1	-
<i>Bromus hordaceus</i>	11,1	14.3
<i>Carthamus lanatus</i>	11,1	-
<i>Chamaerops humilis</i>	11,1	-
<i>Cichorium intybus</i>	11,1	-
<i>Euphorbia exigua</i>	11,1	-
<i>Genista scorpius</i>	11,1	4.8
<i>Gladiolus communis</i>	11,1	-
<i>Hedypnois cretica</i>	11,1	-
<i>Hordeum geniculatum</i>	11,1	9.5
<i>Hypochaeris radicata</i>	11,1	9.5
<i>Logfia galica</i>	11,1	-
<i>Malva hispanica</i>	11,1	4.8
<i>Malva parviflora</i>	11,1	-
<i>Mantisalca salmantica</i>	11,1	-
<i>Ornithopus compressus</i>	11,1	4.8
<i>Petrorhagia velutina</i>	11,1	28.6
<i>Phalaris coerulescens</i>	11,1	14.3
<i>Polygonum monspeliense</i>	11,1	28.6
<i>Sanguisorba minor subsp. magnolii</i>	11,1	-
<i>Silene vulgaris</i>	11,1	4.8
<i>Stachys arvensis</i>	11,1	-
<i>Tolpis barbata</i>	11,1	4.8
<i>Trifolium cherleri</i>	11,1	4.8
<i>Trifolium repens</i>	11,1	4.8
<i>Trifolium stellatum</i>	11,1	9.5
<i>Trisetaria panicea</i>	11,1	-
<i>Agropyrum intermedium</i>	5,6	-
<i>Alyssum granatense</i>	5,6	-
<i>Anthyllis cytisoides</i>	5,6	-
<i>Avenula sulcata subsp. albinervis</i>	5,6	19.0
<i>Biserrula pelecinus</i>	5,6	-
<i>Briza maxima</i>	5,6	4.8
<i>Bromus sterilis</i>	5,6	61.9
<i>Cistus albidus</i>	5,6	-
<i>Cleome violacea</i>	5,6	19.0

SPECIES PRESENTES EN LOS INVENTARIOS	TERRAPLENES (%)	DESMONTES (%)
<i>Coniza canadensis</i>	5,6	-
<i>Crepis foetida</i>	5,6	-
<i>Cynoglossum cheirifolium</i>	5,6	-
<i>Cynosurus echinatus</i>	5,6	-
<i>Cytisus scoparius</i>	5,6	4.8
<i>Dipcadi serotinum</i>	5,6	4.8
<i>Echinaria capitata</i>	5,6	-
<i>Fumana thymifolia</i>	5,6	-
<i>Fumaria officinalis</i>	5,6	-
<i>Gastridium ventricosum</i>	5,6	4.8
<i>Genista hirsuta</i>	5,6	-
<i>Genista umbellata</i>	5,6	-
<i>Geranium purpureum</i>	5,6	-
<i>Hedysarum glomeratum</i>	5,6	-
<i>Illecebrum verticillatum</i>	5,6	-
<i>Iris germanica</i>	5,6	-
<i>Lotus ornithopodioides</i>	5,6	-
<i>Melica magnolii</i>	5,56	-
<i>Olea europaea *</i>	5,56	-
<i>Pallensis spinosa</i>	5,56	-
<i>Phlomis purpurea</i>	5,56	-
<i>Picris echioides</i>	5,56	-
<i>Pistacea lentiscus *</i>	5,56	-
<i>Polycarpon tetraphyllum</i>	5,56	-
<i>Quercus coccifera *</i>	5,56	-
<i>Ranunculus sp.</i>	5,56	4.76
<i>Raphanus raphanistrum</i>	5,56	4.76
<i>Reseda lutea</i>	5,56	-
<i>Rostraria cristata</i>	5,56	-
<i>Rubia peregrina</i>	5,56	-
<i>Sesamoides canescens</i>	5,56	-
<i>Sideritis arborescens</i>	5,56	-
<i>Sinapis arvensis</i>	5,56	-
<i>Stipa tenacissima</i>	5,56	-
<i>Trifolium ligusticum</i>	5,56	-
<i>Trifolium tomentosum</i>	5,56	-
<i>Urtica dioica</i>	5,56	-
<i>Verbascum sinuatum</i>	5,56	-
<i>Verbena officinalis</i>	5,56	-
<i>Vulpia alopecurus</i>	5,56	-
<i>Vulpia ciliata</i>	5,56	-
<i>Ricinus communis</i>	-	14.28
<i>Poa pratensis</i>	-	9.52
<i>Rumex bucephalophorus</i>	-	9.52
<i>Silene scabriflora</i>	-	9.52
<i>Acacia cyanophylla</i>	-	4.76
<i>Centranthus calcitrapae</i>	-	4.76
<i>Chenopodium album</i>	-	4.76
<i>Medicago litoralis</i>	-	4.76
<i>Rosmarinus officinalis *</i>	-	4.76
<i>Trachelium caeruleum</i>	-	4.76

dominancia de ciertas especies (He & Legendre 2002). Esto es lo que ocurre en nuestro caso con la disminución de la riqueza específica en los terraplenes de alta cobertura, donde ciertas especies se volvieron dominantes. La explicación más probable para este resultado es el desplazamiento por exclusión competitiva. La competencia entre las especies de plantas de una comunidad puede ser total, es decir directamente debida a la densidad de individuos, puede ser debida a la competencia subterránea por los recursos hídricos y de nutrientes, o bien puede ser debida a la competencia aérea por el recurso lumínico, y separar estos tres casos no es nada trivial en comunidades herbáceas (RAJANIEMI 2002). Si bien en ambiente mediterráneo es el agua y no la luz el principal recurso limitante, un elevado porcentaje del área foliar de muchas plantas mediterráneas se encuentra expuesto a intensidades relativamente bajas de radiación, por lo que la competencia por luz no debe infravalorarse en los ecosistemas mediterráneos (VALLADARES 2001). De hecho la capacidad de las plantas mediterráneas de mostrar una respuesta plástica al recurso lumínico parece estar limitada como consecuencia de las fuertes limitaciones hídricas que han experimentado a lo largo de su evolución (VALLADARES *et al.* 2000). El conocimiento de las interacciones competitivas entre las plantas que constituyen o pueden llegar a constituir una comunidad es importante para dirigir la sucesión vegetal en un sentido o en otro (e.g. hacia comunidades estables o hacia comunidades constituidas sólo por especies nativas, etc.) y determinar el efecto de ciertos tratamientos habituales como la fertilización (HOLMES 2001; RAJANIEMI 2002). En el momento de muestreo las comunidades se encontraban en el óptimo grado de desarrollo primaveral, con unas coberturas muy altas en los terraplenes donde el suelo estaba aún bastante húmedo, por lo que es factible que el principal tipo de competencia que estaba operando al menos en estos terraplenes fuera de hecho la competencia por la luz. No obstante, es preciso profundizar en este aspecto con más datos experimentales.

La distinta relación entre cobertura y riqueza específica en desmontes y terraplenes es un reflejo de las diferentes características de ambos tipos de talud y del diferente grado de desarrollo de las comunidades vegetales presentes en cada caso. El hecho de que en los desmontes exista una relación positiva entre cobertura y riqueza específica indica que las comunidades vegetales se encuentran en estados pioneros, en los que el aumento del número de especies incrementa el grado de desarrollo y por tanto la cobertura del talud. Por el contrario en los terraplenes las comunidades vegetales se encontraban en un estado más avanzado y complejo en el que el aumento de especies estuvo asociado con una mayor competencia y una mayor dominancia de ciertas especies y por lo tanto con coberturas algo menores. Esta diferencia de comunidades en los dos tipos de taludes también se vio reflejada en la mayor riqueza de familias dominantes en los desmontes frente al predominio de un menor número de familias en los terraplenes.

Aunque ciertos trabajos afirman que las fuertes pendientes no afectan tanto como se piensa a la reserva de semillas (GARCÍA-FAYOS & CERDÀ 1997), la pendiente es un factor clave en la colonización y asentamiento vegetal de los taludes. Los menores valores de cobertura y riqueza específica obtenidos en los taludes de mayor pendiente vienen a confirmar una vez más que pendientes mayores de 34° (3H:2V) hacen muy difícil la colonización vegetal (MARTÍNEZ-ALONSO & VALLADARES 2002). Eso se debe en primer lugar a la imposibilidad de sujeción de la tierra vegetal que lleva asociada el banco de semillas, y, en segundo lugar, a la imposibilidad también de sujeción de las hidrosiembras al no poderse evitar los efectos del arrastre (RAMOS 1974; FRANCIS *et al.* 1986). La preparación adecuada del suelo y la selección del método más apropiado de sembrado o plantación constituyen, junto a la selección de las especies vegetales, los puntos más críticos en el éxito de un proyecto de restauración de la cubierta vegetal (MONTALVO *et al.* 2002). Las hidrosiembras deben ser combinadas siempre que sea posible con la adición

de tierra vegetal, no sólo por su directa acción facilitadora del crecimiento vegetal sino porque transporta un importante banco natural de semillas de muchas especies de la zona que pueden incrementar notablemente el éxito de la restauración y acelerar la evolución de las comunidades hacia estadios más maduros y estables (ZHANG *et al.* 2001). El aporte de tierra vegetal, que en nuestro caso sólo se realizó en los terraplenes, ha favorecido la aparición de comunidades más ricas, lo cual en vista de los resultados de otros trabajos cabe ser atribuido principalmente al banco de semillas (REDENTE *et al.* 1997; WALI 1999; ZHANG *et al.* 2001). En este sentido son especialmente necesarios estudios experimentales que exploren la variación espacial y temporal del banco de semillas y permitan comprender mejor hasta que punto las poblaciones y comunidades vegetales de una zona determinada están limitadas por la cantidad de semillas o por sus características abióticas y bióticas (ERIKSSON & EHRLÉN 1992). Este tipo de estudios permitirá una más óptima programación de las hidrosiembras, que se harán sólo en zonas donde sea realmente necesario y con las especies que presenten más dificultades para acceder al talud por sus características de dispersión y de permanencia y germinabilidad a partir del banco de semillas de la tierra vegetal.

Las hidrosiembras en los desmontes tienen una problemática propia debido a la gran esterilidad del sustrato, que carece de suelo bien formado, por lo que los nutrientes no son retenidos y todos aquellos que no son absorbidos por las escasas plantas en su ciclo de vida se lavan y desaparecen. La poca disponibilidad de macronutrientes (N, P, K) en el suelo puede explicar el bajo desarrollo o incluso la ausencia de ciertas especies vegetales (compárese con los valores medios en suelos fértiles de 0.2 %, 20 mg/100g y 22mg/100g respectivamente, VIVANCOS 1984), lo cual es una situación crónica y general en los desmontes. Otro factor importante que se manifestó más en los desmontes que en los terraplenes estudiados fueron los altos valores de conductividad, lo que se traduce en valores mayores de salinidad,

factor que no facilita la germinación de las semillas (GARCÍA-FAYOS *et al.* 2000; LIMA *et al.* 1990). A altos niveles de salinidad se alcanza antes el punto de marchitez, por lo que la planta dispone de menos agua "útil" y como consecuencia de esta situación reduce sus procesos fisiológicos.

La falta de diferencias entre los taludes de orientación norte y sur en la cobertura y riqueza de especies de las comunidades herbáceas puede deberse al momento fenológico de las comunidades en el momento de muestreo (óptimo primaveral) o bien al momento sucesional en el que se encontraban más de un año después de haberse realizado las hidrosiembras. Algunos trabajos hechos en Cataluña muestran que las diferencias en los taludes con distinta orientación en cuanto a la composición y cobertura de las comunidades vegetales desaparecen después de 5 meses de haberse hidrosembrado (ANDRÉS *et al.* 1996; GRIME & JEFFREY 1965). Por lo tanto las diferencias iniciales de los primeros estadios de la sucesión vegetal no se han reflejado en los resultados. Por otro lado también es posible que nos encontremos en un estadio sucesional relativamente temprano, donde las diferencias de las comunidades asociadas a la orientación del talud aún no se hayan mostrado con claridad.

La dominancia de las leguminosas observada en este estudio puede deberse al hecho de que éstas se vean más favorecidas durante la primavera y otoño y por el contrario las gramíneas durante el verano e invierno (ANDRÉS *et al.* 1996). Otra razón que explicaría esta dominancia por parte de las leguminosas sería el papel que juegan las gramíneas como especies pioneras o "starters" en los taludes (RAMOS 1974). Durante el proceso de colonización de la superficie de los taludes durante los dos años transcurridos entre las hidrosiembras y el presente estudio, ciertas gramíneas podrían haber visto disminuir sus ejemplares y haber sido sustituidas al menos parcialmente por otras especies. Por otro lado hay que tener en cuenta que un factor limitante para el crecimiento de todas las plantas es la presencia de nitrógeno en el suelo, un elemento que no ha

resultado muy abundante en los taludes estudiados. Sin embargo las leguminosas debido a su capacidad de establecer simbiosis con bacterias del género *Rhizobium*, son capaces de fijar nitrógeno atmosférico y por esta razón se verían menos afectadas por las bajas concentraciones de este nutriente en el sustrato, lo cual podría explicar el que esta familia sea la más dominante de los taludes.

Por tanto nuestros resultados permiten mantener dos de las tres hipótesis planteadas (i.e. la dificultad del asentamiento vegetal en pendientes elevadas y la mayor dificultad de colonización de los desmontes) y no aportan evidencias sobre una de ellas (i.e. la mayor dificultad de colonización de los taludes con orientación sur).

Este estudio deja un gran número de preguntas sin contestar. De entre ellas creemos especialmente merecedoras de futuras investigaciones aquellas relativas a las implicaciones funcionales de la riqueza de especies. Dilucidar la función protectora frente a la erosión de comuni-

dades herbáceas de riqueza de especies contrastadas o establecer de que forma la riqueza de especies de estas comunidades influye en su tolerancia ante perturbaciones naturales o artificiales permitiría sin duda establecer los necesarios puentes entre la ecología y la restauración de los ecosistemas afectados por actividades humanas tan importantes como las infraestructuras viarias.

## AGRADECIMIENTOS

Gracias a Valentín Alfaya por su confianza y ayuda, y a Marga Costa, profesora del Departamento de Biología Vegetal I de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Complutense de Madrid y Esther Bochet, investigadora contratada del Centro de Investigaciones sobre Desertificación (CIDE) del CSIC, por su asesoramiento científico. Este estudio ha sido posible gracias al apoyo del grupo FERROVIAL-AGROMAN y a la financiación obtenida del Ministerio de Ciencia y Tecnología con el proyecto TALMED (REN2001-2313).

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ANDRÉS, P., ZAPATER, V. & PAMPLONA, M. 1996. Stabilization of motorway slopes with herbaceous cover, Catalonia, Spain. *Restoration Ecology* 4: 51-60.
- CHAPIN III, F.S., SALA, O.E. & HUBER-SANWALD, E. 2001. Global biodiversity in a changing environment: scenarios for the 21st century. Springer Verlag, New York.
- ENCISO, J., GARCÍA-FAYOS, P. & CERDÀ, A. 2000. Distribución del banco de semillas en taludes de carretera: efecto de la orientación y de la topografía. *Orsis* 15:103-113.
- ERIKSSON, O. & EHRLÉN, J. 1992. Seed and microsite limitation of recruitment in plant populations. *Oecologia* 91: 360-364.
- FRANCIS, C.F., THORMES, B., ROMERO-DÍAZ, A., LÓPEZ-BERMÚDEZ, F. & FISHER, G.C. 1986. Topographic control of soil moisture, vegetation cover and land degradation in moisture stressed mediterranean environment. *Catena* 13: 211-225
- GARCÍA-FAYOS, P. & CERDÀ, A. 1997. Seed losses by surface wash in degraded Mediterranean environments. *Catena* 29: 73-83.
- GARCÍA-FAYOS, P., GARCÍA-VENTOSO, B. & CERDÀ, A. 2000. Limitations to plant establishment on eroded slopes in southeastern Spain. *Journal of vegetation Science* 11: 77-86
- GRIME, J.P. & JEFFREY, D.W. 1965. Seedling establishment in vertical gradients of sunlight. *Journal of Ecology* 53: 621-642.

- HE, F., & LEGENDRE, P. 2002. Species diversity patterns derived from species-area models. *Ecology* 83: 1185-1198.
- HOLMES, P.M. 2001. Shrubland restoration following woody alien invasion and mining: effects of topsoil depth, seed source, and fertilizer addition. *Restoration Ecology* 9: 71-84.
- LIMA, L.A. GRISMER, M.E. & NIELSEN, D.R. 1990. Salinity effects on Yolo hydraulic properties. *Soil Science* 150: 451-458.
- MARTÍNEZ-ALONSO, C. & VALLADARES, F. 2002. Análisis ecológico de las medidas de revegetación de taludes aplicadas en la Autopista de la Costa del Sol (Málaga). Actas del I Congreso de Ingeniería Civil, Territorio y medio ambiente. Colegio de Ingenieros de caminos, canales y puentes. Madrid. pp. 1547-1570.
- MONTALVO, A.M., MCMILLAN, E.B. & ALLEN, P.A. 2002. The relative importance of seeding method, soil ripping, and soil variables on seeding success. *Restoration Ecology* 10: 52-67.
- RAJANIEMI, T.K. 2002. Why does fertilization reduce plant species diversity? Testing three competition-based hypotheses. *Journal of Ecology* 90: 316-324.
- RAMOS, F. 1974. Tratamiento funcional y paisajístico de taludes artificiales. Monografías ICONA. M.A.P.A., Madrid.
- REDENTE, E.F., MCLENDON, T. & AGNEW, W. 1997. Influence of topsoil depth on plant community dynamics of a seed site in northwest Colorado. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 11: 139-149.
- RIVAS-MARTÍNEZ, S. 1987. Memoria del mapa de series de vegetación de España. ICONA, Madrid.
- VALDÉS, B.; TALAVERA, S. & FERNÁNDEZ-GALIANO, E. (Editores). 1987. Flora Vascular de Andalucía Occidental. Ketres, Barcelona.
- VALLADARES, F. 2001. Características mediterráneas de la conversión fotosintética de la luz en biomasa: de órgano a organismo. En Zamora, R. & Pugnaire, F.I. editores. Aspectos funcionales de los ecosistemas mediterráneos. CSIC-AEET, Granada.
- VALLADARES, F., MARTÍNEZ-FERRI, E., BALAGUER, L., PÉREZ-CORONA, E. & MANRIQUE, E. 2000. Low leaf-level response to light and nutrients in Mediterranean evergreen oaks: a conservative resource-use strategy? *New Phytologist* 148: 79-91.
- VIVANCOS, A.D. 1984. Tratado de fertilización. Editorial Mundi-Prensa, Madrid.
- WALI, M.K. 1999. Ecological sucesión and the rehabilitation of disturbed terrestrial ecosystems. *Plant and Soil* 213: 195-220.
- ZHANG, Z.Q., SHU, W.S., LAN, C.Y & WONG, M.H. 2001. Soil seed bank as an input of seed source in revegetation of lead/zinc mine tailings. *Restoration Ecology* 9: 378-385.