

## EFECTO DE DIFERENTES CUBIERTAS ARBUSTIVAS SOBRE LA ESCORRENTÍA Y LA EROSIÓN MEDIDAS CON SIMULACIÓN DE LLUVIA

P. GARCÍA-ESTRÍNGANA, N. ALONSO-BLÁZQUEZ, L. JIMÉNEZ, M.J. MARQUÉS, R. BIENES, J. ALEGRE

Instituto Madrileño de Investigación y Desarrollo Rural, Agrario y Alimentario (IMIDRA), Finca "El Encín", Apdo. 127, Ctra. N-II, Km. 38,200, 28800 Alcalá de Henares, Madrid, Spain. e-mail de contacto: [jesus.alegre@madrid.org](mailto:jesus.alegre@madrid.org); [pablo.garcia.es@madrid.org](mailto:pablo.garcia.es@madrid.org).

**Abstract.** The effect of different shrub canopies (*Colutea arborescens*, *Dorycnium pentaphyllum* and *Medicago strasseri*) on infiltration, runoff and water erosion in an abandoned agricultural soil has been studied. Permeability data show that in this kind of soil, without vegetation, runoff happens when rainfall intensity is over 10 mm h<sup>-1</sup>. Intensity must be over 37 mm h<sup>-1</sup> to produce runoff beneath *Colutea arborescens*. However, under *Dorycnium pentaphyllum* and *Medicago strasseri*, rainfall intensity must be higher than 104 mm h<sup>-1</sup> to cause the same effect. For a rainfall intensity of 113 mm h<sup>-1</sup>, *Dorycnium pentaphyllum* and *Medicago strasseri* decreased soil loss between 96 % and 99 % in relation to the soil without vegetation.

**Key words:** Runoff, water erosion, time to runoff, shrubs, simulated rainfall.

**Resumen.** Se estudió el efecto de cubiertas arbustivas formadas por *Colutea arborescens*, *Dorycnium pentaphyllum* y *Medicago strasseri* sobre la infiltración, la escorrentía y la erosión en un suelo de cultivo abandonado (Rhodoxeralf típico). Los valores de permeabilidad indican que en este suelo, desprovisto de vegetación, se produce escorrentía con precipitaciones de intensidad superior a 10 mm h<sup>-1</sup>. Para que se produzca escorrentía bajo cubierta de *C. arborescens*, la precipitación tiene que ser mayor de 37 mm h<sup>-1</sup> y mayor de 104 mm h<sup>-1</sup> para que esto suceda bajo cubierta de *D. pentaphyllum* o *M. strasseri*. Respecto del suelo desprovisto de vegetación, con una precipitación de 113 mm h<sup>-1</sup>, *D. pentaphyllum* y *M. strasseri* redujeron un 96 % y un 99 %, respectivamente, las pérdidas de suelo.

**Palabras clave:** Escorrentía, erosión hídrica, tiempo de escorrentía, arbustos, simulación de lluvia.

### INTRODUCCION

La erosión hídrica se origina por la energía cinética de las gotas de lluvia y por

los flujos de agua que se generan en la superficie del suelo cuando la intensidad de la precipitación supera la velocidad de infiltración (López-Bermúdez y Albadalejo,

1990). La vegetación amortigua el impacto de la lluvia, favorece la infiltración y reduce la velocidad de los flujos superficiales (Ortiz-Silla, 1990). La densidad de vegetación suele asociarse a la mejora de la conservación del suelo, gracias al aumento de la edafogénesis y a la disminución de las pérdidas por erosión (Puigdefábregas, 1996) Como consecuencia, la conservación de la cubierta vegetal o su restitución, es la mejor forma de evitar la erosión (Tromble, 1980).

Se acepta que el efecto de la energía cinética de la lluvia es inversamente proporcional al porcentaje de cobertura (Carson y Kirkby, 1972) y que en un suelo totalmente cubierto, la energía liberada es prácticamente nula. Esto se cumple para coberturas de tipo herbáceo, pero no necesariamente con vegetación leñosa y con arbolado, sobre todo si no existen estratos inferiores de vegetación (Belmonte y Romero, 1998).

La erosividad de las gotas depende de su energía cinética, y ésta es proporcional a la masa y al cuadrado de la velocidad (Brandt y Thornes, 1987). Una parte del agua inter-

ceptada por la cubierta vegetal gotea hasta el suelo. Estas gotas son en general más grandes que las gotas de precipitación (Brandt, 1989). Si las gotas caen desde poca altura, que es lo que suele ocurrir en la vegetación arbustiva, la energía cinética es muy pequeña ya que pese a su mayor tamaño, no alcanzan una velocidad muy elevada. En cambio, la altura de algunos árboles puede hacer que la energía cinética de esas gotas sea incluso superior a la de la lluvia (Mosley, 1982), anulando el efecto protector de la cubierta si no existe un estrato inferior de vegetación bajo el árbol.

Los efectos directos de la vegetación sobre la erosión, varían con las características de las estructuras vegetales. Además, la forma en que las diferentes comunidades vegetales alteran las propiedades físico-químicas del suelo también varía, lo que de forma indirecta afecta a los fenómenos erosivos.

Los arbustos son las estructuras vegetales más características de los ambientes mediterráneos (Kummerow, 1989). Es cre-

**TABLA 1:** Características del perfil del suelo.

Profundidad (cm)	0-18	18-85	85-121	121-153
Horizonte Genético	Ap	Bt	B <sub>2</sub> tca	B <sub>3</sub> tca
Horizonte de diagnóstico	Ócrico	Argílico		
Arena (%)	42,4	41,5	49,9	39,3
Limo (%)	21,1	13,5	18,8	52,3
Arcilla (%)	36,5	45,0	31,3	8,4
Elementos gruesos (%)	6,8	3,8	9,1	3,8
Materia Orgánica (%)	1,1	1,0	0,3	0,5
Carbonatos Totales	6,7	1,3	2,7	2,7
pH (1:2,5 H <sub>2</sub> O)	7,6	8,0	8,1	8,2
Calcio de cambio (cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )	22,0	17,7	20,6	3,7
Magnesio de cambio (cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )	2,3	2,1	3,7	6,0
Potasio de cambio (cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )	0,2	0,3	-	-

ciente el interés en estas formas vegetales como herramienta en la regeneración de suelos degradados, tanto en el ámbito de fertilidad como en el hidrológico (Francis y Thornes, 1990; Belmonte y Romero, 1998; Haase *et al.* 2000). Sin embargo, la información disponible sobre características concretas de diferentes especies continúa siendo muy limitada. Esto en parte se debe a que la evaluación de una cubierta vegetal a partir de precipitaciones naturales en zonas áridas y semiáridas, donde las precipitaciones de naturaleza erosiva tienen carácter esporádico, requiere períodos de estudio como mínimo de 10 o 20 años (Wilcox *et al.*, 1986; Rubio *et al.* 1990). En estas condiciones los simuladores de lluvia resultan especialmente útiles permitiendo la comparación entre tratamientos, al menos en términos relativos.

En el presente trabajo, se ofrecen los primeros resultados de un estudio cuyo objetivo es evaluar, mediante simulación de lluvia, los efectos de diferentes leguminosas arbustivas sobre la escorrentía, infiltración y las pérdidas de suelo.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Procedimiento experimental

El trabajo se realizó en una plantación experimental, de 3 años de edad, estableci-

da en un terreno agrícola abandonado en Marchamalo (Guadalajara). El suelo sobre el que se llevó a cabo el estudio, fue un Rhodoxeralf típico (USDA, 1999), pedregoso y de textura limo-arcillosa, con un potente y compacto horizonte argílico y un 1% de materia orgánica. La pendiente media fue del 12,5%. La tabla 1 muestra las características del perfil del suelo.

La plantación constó de 4 parcelas de 80 m<sup>2</sup> sometidas a un tratamiento diferente. Una se mantuvo con el suelo desnudo (tratamiento SD) y cada una de las restantes se plantó con uno de los siguientes arbustos: *Dorycnium pentaphyllum*, *Medicago strasseri* y *Colutea arborescens* (tratamientos DP, MS y CA respectivamente). Durante los 3 años anteriores a los ensayos de lluvia simulada, se aplicaron herbicidas tanto en el tratamiento SD, manteniendo el suelo desnudo, como en el resto de los tratamientos evitando el desarrollo de vegetación adventicia bajo la cubierta arbustiva.

Dos meses antes de realizar los ensayos de simulación de lluvia, en cada tratamiento se delimitaron de forma aleatoria tres unidades experimentales con aros metálicos de 1 m de diámetro, provistos de un tubo de drenaje. Los aros se clavaron en el suelo, 5 cm, hasta enrasar el orificio de drenaje con la superficie del suelo. En los tratamientos DP, MS y CA,

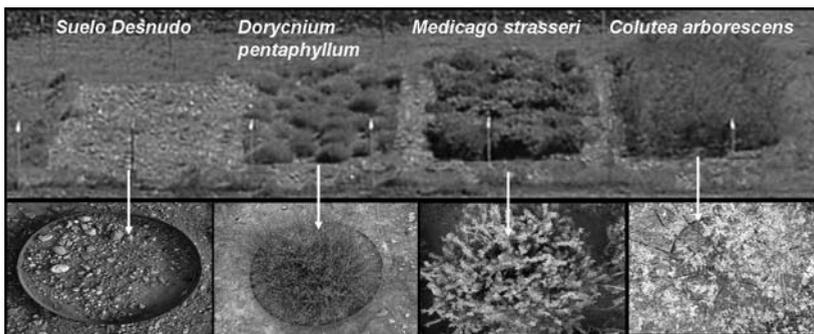


FIGURA 1: Parcelas de suelo desnudo y de vegetación arbustiva: *Dorycnium pentaphyllum*, *Medicago strasseri* y *Colutea arborescens* con las parcelas de ensayo donde se llevó a cabo los ensayos de lluvia simulada.

los aros se instalaron de forma que su centro estaba ocupado por un arbusto (Figura 1).

La lluvia se simuló con un equipo portátil semejante a los descritos por Wilcox *et al.* (1986); y Nolan *et al.* (1997). Se trata de un equipo de una sola boquilla, fija, de cono lleno, modelo 3/8 HHMFP-115 14 (Spraying Systems Co. <sup>®</sup>), suspendida a 2 m del suelo. En todos los ensayos se empleó una precipitación de 113 mm h<sup>-1</sup>, con un coeficiente de uniformidad del 85 % (Figura 2).

Para cada tratamiento se determinó por triplicado el tiempo transcurrido entre el inicio de la lluvia y el comienzo de la escorrentía (T<sub>0</sub>). A partir de este momento y durante 20 minutos se midieron los volúmenes de la escorrentía cada 2 minutos. Las muestras del agua de escorrentía se filtraron y se determinó el peso seco de sólidos (24 h en estufa a 105°C).

Los ensayos se realizaron entre septiembre y octubre de 2002. Estos se llevaron a cabo en húmedo. Con esta finalidad, 24 horas antes de cada ensayo, se aplicó una precipitación de 113 mm h<sup>-1</sup> durante 15 minutos.

#### Características del material vegetal

*D. pentaphyllum* (DP) es un arbusto de amplia distribución mediterránea, de hoja perenne, porte rastrero, muy ramificado desde la base y con gran densidad de cobertura aérea. El volumen que ocupa cada ejemplar se asemeja al de una semiesfera (Figura 3).

*M. strasseri* (MS) es un arbusto endémico de la isla de Creta, de hoja perenne, porte erguido, muy ramificado desde la base y denso, aunque con acusado desfronde estival. El volumen ocupado por la



FIGURA 2: Simulador de Lluvia: a) Estructura General; b) Boquilla 3/8 HHMFP 115 14 (Spraying Systems Co.); c) Manómetro y Boquilla; d) Depósito, Bomba y Regulador de Presión; e) PortaBoquillas.

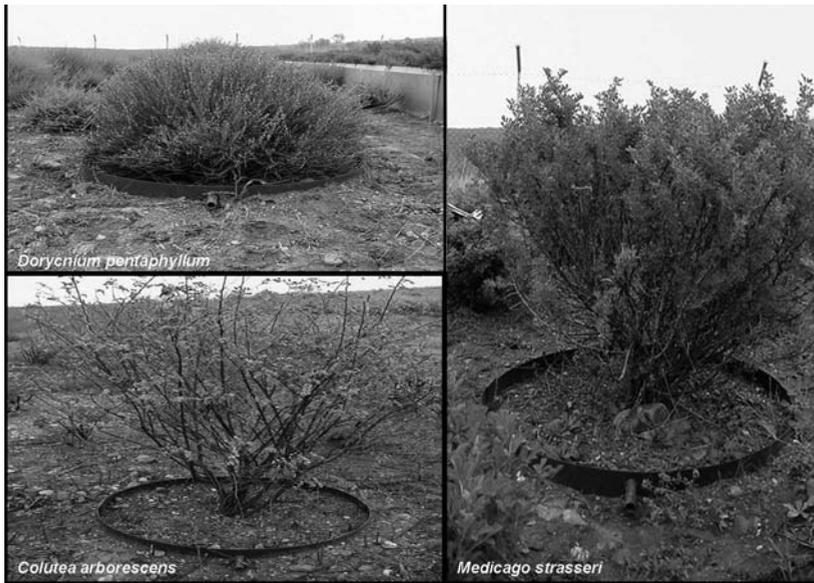


FIGURA 3: Ejemplares de *Dorycnium pentaphyllum*, *Medicago strasseri* y *Colútea arborescens*.

planta es muy parecido al de un cono invertido.

*C. arborescens* (CA) es una especie de amplia distribución mediterránea de hoja caduca, porte erguido, poco ramificada y de escasa densidad de cobertura aérea. El volumen que ocupa puede asemejarse a un cono invertido.

La escorrentía y la erosión se evaluaron en 3 ejemplares de cada una de las especies, representativos del rango de tamaños de las cubiertas de la plantación. Tras la realización de los ensayos de simulación, se determinó la altura máxima y el diámetro medio de la copa, y se calculó la superficie de proyección ortogonal de la cubierta para cada ejemplar. Posteriormente se cortaron y se transportaron al laboratorio, donde se determinó su peso seco (7 días en estufa a 65 ° C).

#### Análisis de datos

Para determinar los efectos de cada tratamiento sobre  $T_0$ , y sobre los valores acumulados del volumen de escorrentía y del peso de sólidos, a distintos tiempos, se realizó un análisis de varianza mediante el pro-

cedimiento GLM del SAS (SAS, 1985). Cuando el análisis de varianza detectó diferencias significativas entre tratamientos, se realizaron comparaciones de medias aplicando el test LSD.

#### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El tiempo medio transcurrido hasta el inicio de la escorrentía ( $T_0$ ) varió entre 0,46 minutos para SD y 2,69 minutos para MS (Tabla 3). Sin embargo las diferencias entre tratamientos para  $T_0$  no resultaron estadísticamente significativas ( $p = 0,0992$ ). Los resultados obtenidos dentro de cada tratamiento mostraron una considerable variabilidad, que posiblemente es explicable por la heterogeneidad de las plantas. En cada especie vegetal, los tres individuos muestreados mostraban diferencias en tamaño, en densidad, etc. (Tabla 2) y como consecuencia, posiblemente, distinta capacidad de interceptación de lluvia. La variabilidad observada también podría deberse, al menos en parte, a la dificultad que entraña mantener un mismo

**TABLA 2:** Características de los arbustos empleados: valor medio  $\pm$  error estándar de la altura (h) y el área (A) de su proyección y de la biomasa seca total en función de la superficie (Bs) y del volumen (Densidad de Bs) ocupado.

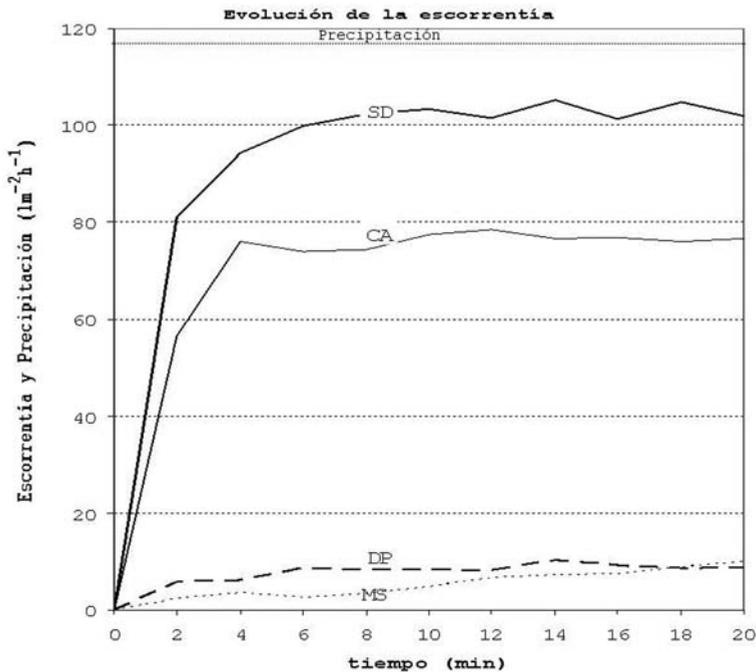
Especies	h (m)	A (m <sup>2</sup> )	Bs (kg m <sup>-2</sup> )	Densidad de Bs (kg m <sup>-3</sup> )
DP	0,65 $\pm$ 0,03	1,00 $\pm$ 0,25	1,30 $\pm$ 0,15	3,66 $\pm$ 0,90
MS	1,04 $\pm$ 0,11	1,58 $\pm$ 0,33	1,82 $\pm$ 0,28	5,19 $\pm$ 0,24
CA	1,86 $\pm$ 0,11	1,49 $\pm$ 0,55	1,39 $\pm$ 0,63	2,16 $\pm$ 0,91

nivel inicial de humedad en el suelo en todos los ensayos.

Para una precipitación constante de 113 mm h<sup>-1</sup>, la escorrentía se estabilizó, aproximadamente, a partir de los 6 minutos en valores de 103 mm h<sup>-1</sup> para SD, 76 mm h<sup>-1</sup> para CA y 9 mm h<sup>-1</sup> para DP y MS (Figura 4). De donde se deducen unos valores de permeabilidad de 10 mm h<sup>-1</sup> para el SD, de 37 mm h<sup>-1</sup> bajo cubier-

ta de CA y de 104 mm h<sup>-1</sup> bajo cubierta de DP y MS.

El análisis de la escorrentía acumulada a diferentes tiempos no mostró diferencias significativas entre DP y MS (Tabla 3). A los 20 minutos desde el inicio de la escorrentía, en estos dos arbustos, de pequeño tamaño y estructura densa, la escorrentía se redujo entre un 92 % y un 97 %, respecto de la que tuvo lugar en SD. Bajo CA, un arbusto de



**FIGURA 4:** Evolución de la escorrentía (l m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) a partir de T0 en cada uno de los tratamientos: Suelo Desnudo (SD), *Dorycnium pentaphyllum* (DP), *Medicago strasseri* (MS) y *Colutea arborescens*

**TABLA 3:** Media y coeficiente de variación del tiempo de inicio de escorrentía ( $T_0$ ) y de la precipitación necesaria para el inicio de la misma ( $P_0$ ), desde el comienzo del ensayo de simulación de lluvia. Escorrentía ( $E_{20}$ ), e infiltración ( $I_{20}$ ), medias acumuladas a los 20 minutos, para los diferentes tratamientos: suelo desnudo (SD), *Colutea arborescens* (CA), *Medicago strasseri* (MS) y *Dorycnium pentaphyllum* (DP).

	$T_0$ (min)	$P_0$ (l m <sup>-2</sup> )	CV (%)	$E_{20}$ (l m <sup>-2</sup> )	$I_{20}$ (l m <sup>-2</sup> )	CV (%)
<b>SD</b>	0,47	0,89	42	33,30 <sup>a</sup>	4,55 <sup>a</sup>	1
<b>DP</b>	2,40	4,54	48	2,75 <sup>c</sup>	35,09 <sup>c</sup>	104
<b>MS</b>	2,69	5,10	39	1,89 <sup>c</sup>	35,95 <sup>c</sup>	8
<b>CA</b>	1,72	3,25	72	24,74 <sup>b</sup>	13,10 <sup>b</sup>	10
<b>p<sup>(1)</sup></b>	0.0992			0.0001		

En cada columna, los valores seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes a  $p < 0,05$  (LSD).

<sup>(1)</sup>p = valor de probabilidad obtenido en el análisis de varianza.

mayor porte con estructura abierta y muy poco densa, la reducción de la escorrentía estuvo comprendida entre el 24 % y el 26 %.

No se obtuvieron diferencias significativas para la erosión bajo cubiertas de MS y DP (Tabla 4). En la proyección de estos arbustos, la erosión se redujo entre un 96 % y un 99 % respecto de la que tuvo lugar en SD. Al igual que sucedió con los valores de  $T_0$ , dentro de cada tratamiento las cantidades de sólidos recogidas resultaron muy variables. De esta forma pese a existir diferencias cuantitativamente importantes en los valores

medios de erosión entre SD y CA, estas no resultaron estadísticamente significativas.

La cubierta arbustiva por sí misma, desprovista de estratos inferiores de vegetación, dio lugar a incrementos significativos en la permeabilidad. En la misma línea, Tromble (1980) observó que la permeabilidad disminuía considerablemente en una comunidad vegetal arbustiva, si se eliminaban los arbustos. Estos generan fenómenos de interceptación de lluvia, flujos de trascolación y de escorrentía cortical que modifican la distribución espa-

**TABLA 4:** Producción media acumulada de sedimentos a los 4 (Er 4), a los 8 (Er 8), a los 12 (Er 12), a los 16 (Er 16) y a los 20 minutos (Er 20), para los diferentes tratamientos.

Tratamiento	Er 4 (g·m <sup>-2</sup> )	Er 8 (g·m <sup>-2</sup> )	Er 12 (g·m <sup>-2</sup> )	Er 16 (g·m <sup>-2</sup> )	Er 20 (g·m <sup>-2</sup> )
<b>SD</b>	23,78 <sup>a</sup>	54,74 <sup>a</sup>	86,41 <sup>a</sup>	119,56 <sup>a</sup>	153,10 <sup>a</sup>
<b>DP</b>	0,85 <sup>b</sup>	1,95 <sup>b</sup>	2,97 <sup>b</sup>	4,16 <sup>b</sup>	5,52 <sup>b</sup>
<b>MS</b>	0,34 <sup>b</sup>	0,47 <sup>b</sup>	1,06 <sup>b</sup>	1,23 <sup>b</sup>	1,78 <sup>b</sup>
<b>CA</b>	14,73 <sup>a</sup>	30,59 <sup>a</sup>	46,99 <sup>a</sup>	62,68 <sup>a</sup>	77,45 <sup>a</sup>
<b>p<sup>(1)</sup></b>	0,0054	0,0266	0,0410	0,0410	0,0424

Dentro de una columna, valores seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes a  $p < 0,05$  según el test LSD.

<sup>(1)</sup>p = probabilidad de la significación obtenido en el análisis de varianza.

cial del agua de lluvia (Wood *et al.*, 1998). Estos flujos son característicos de la estructura de cada especie (Domingo *et al.*, 1998). En algunos matorrales, la escorrentía cortical puede representar una parte muy elevada de la precipitación que llega al suelo (Belmonte y Romero, 1998; Domingo *et al.*, 1998) lo que favorece la infiltración del agua en profundidad, a través de canales de flujo preferentes, siguiendo las discontinuidades que generan las raíces principales (Puigdefábregas, 1996; Devitt y Smith, 2002).

Otros efectos asociados a la cubierta arbustiva están relacionados con la cantidad de hojarasca generada y con sus ciclos de mineralización. La hojarasca aumenta la protección del suelo frente a la energía cinética de las gotas de lluvia (Nolan *et al.*, 1997) y la velocidad de los flujos superficiales.

Tres años después de su implantación tanto DP como MS ofrecen una notable protección del suelo por el aumento de la permeabilidad y la reducción de la erosión. La cubierta de CA, desprovista de vegetación herbácea, tiene un efecto mucho menor. En cualquier caso, se necesita un mayor número de observaciones para definir con precisión los efectos de cada una de estas especies de arbustos y poder relacionarlos con sus características específicas.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Consejería de Educación de la Comunidad de Madrid el soporte financiero recibido para la realización de este trabajo, a través de la subvención concedida a los proyectos 07M/0077/1998 y 07M/0023/2000, y la financiación de una beca posdoctoral a la Dra. Nieves Alonso Blázquez. Asimismo agradecen al Instituto Nacional de Investigación Agraria y Alimentaria la financiación de una beca predoctoral a D. Pablo García Estríngana y la financiación

concedida al proyecto RTA01-078-C2-2. Por último, queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a D. Alfredo Cuevas, D. Ramón Moreno y Doña. Araceli Hernández por su ayuda y entusiasmo.

## REFERENCIAS

- Belmonte-Serrato, F. y Romero-Díaz, A. (1998): La cubierta vegetal en las regiones áridas y semiáridas: consecuencias de la interceptación de la lluvia en la protección del suelo y los recursos hídricos. *NORBA geographia* 10, 9-22.
- Belmonte-Serrato, F. Romero-Díaz, A., López-Bermúdez, F., Barberá, G. G. (1998): Interceptación en matorral mediterráneo semiárido: algunos resultados obtenidos en el área experimental "El Ardal" Cuenca de Mula (Murcia). *Cuadernos Geográficos* 28, 223-234.
- Brandt, C. J. y Thornes, J.B. (1987): Erosional energetics. En: *Energetics of Physical Environment*. K.J. Gregory, John Wiley & Sons (eds.), 51-87.
- Brandt, C.J. (1989): The size distribution of throughfall drops under vegetation canopies. *Catena* 16, 507-524.
- Carson, M.A. y Kirkby, M.J. (1972): *Hillslope form and Process*, Cambridge University Press, London, 475 pp.
- Devitt, D.A. y Smith, S.D. (2002): Root channel macropores enhance downward movement of water in a Mojave Desert ecosystem. *Journal of Arid Environments* 50, 99-108.
- Domingo, F., Sanchez, G., Moro, M.J., Brenner, A.J., Puigdefábregas, J. (1998): Measurement and modelling of rainfall interception by three semi-arid canopies. *Agricultural and forest meteorology* 91, 275-292.
- Francis, C.F. y Thornes, J.B. (1990): Matorral: Erosion and reclamation. En: *Degradación y regeneración del suelo en condiciones ambientales mediterrá-*

- neas. J. Albaladejo, M.A. Stocking y E. Díaz (eds.). Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Murcia, 88-115.
- Haase, P., Pugnaire, F.I., Clark, S., Incoll, L.D. (2000): Photosynthetic rate and canopy development in the drought-deciduous shrub *Anthyllis cytisoides* L. *Journal of Arid Environments* 46, 79-91.
- Kummerow, J. (1989): Structural aspects of shrubs in mediterranean-type plant communities. *En: Jornadas sobre las bases ecológicas para la gestión de ecosistemas terrestres*. J. Bellot. Options Méditerranéens, Série Séminaires, CIHEAM-IAMZ, Zaragoza, Vol. 3, 5-11.
- López-Bermúdez, F. y Albaladejo, J. (1990). Factores ambientales de la Degradación del Suelo en el área mediterránea *En: Degradación y Regeneración del Suelo en Condiciones Ambientales Mediterráneas*. J. Albaladejo, M.A. Stocking, E. Díaz (eds.) pp. 15-45.
- López-Bermúdez, F. (1996): La degradación de tierras en ambientes áridos y semiáridos. Causas y consecuencias. *En: Erosión y recuperación de tierras en áreas marginales*. T. Lasanta Martínez y J. M. García Ruiz (Eds.) Logroño, 51-72.
- Mosley, M.P. (1982): The effect of a New Zealand beech forest canopy on the kinetic energy of water drops and on surface erosion. *Earth Surface Processes and Landforms* 7, 103-107.
- Nolan, S.C., Van Vliet, L.J.P., Goddard, T.W., Flesch, T.K. (1997): Estimating storm erosion with a rainfall simulator. *Canadian Journal of Soil Science* 77, 669-676.
- Ortiz Silla, R. (1990): Mecanismos y procesos de degradación del suelo con especial referencia a las condiciones ambientales mediterráneas *En: Degradación y Regeneración del Suelo en Condiciones Ambientales Mediterráneas*. J. Albaladejo, M.A. Stocking, E. Díaz (eds.), 47-68.
- Puigdefábregas, J. (1996): El papel de la vegetación del suelo en ambientes semiáridos. *En: Erosión y recuperación de tierras en áreas marginales*. T. Lasanta Martínez y J.M. García Ruiz. Instituto de Estudios Riojanos. Sociedad Española de Geomorfología. Logroño, 79-87.
- Rubio, J.L., Andreu, V., Cerni, R. (1990): Degradación del suelo por erosión hídrica: Diseño experimental y Resultados preliminares. *En: Degradación y Regeneración del Suelo en Condiciones Ambientales Mediterráneas*. J. Albaladejo, M.A. Stocking, E. Díaz (eds.), 215-235.
- SAS (1985): Statistical Analysis Systems Institute. SAS User's Guide: Statistics, ver. 5. SAS Institute Inc. Cary, NC. 956 pp.
- Tromble, J.M. (1980): Infiltration rates on rootplowed rangeland. *Journal of Range of Management* 33, 423-425.
- USDA (1999): Soil Taxonomy. Second Edition. Agriculture Handbook, Number 436. United States Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service, Washington DC. 869 pp.
- Wilcox, B.P., Wood, M.K., Tromble, J.T., Ward, T.J. (1986): A hand-portable single nozzle rainfall simulator designed for use on steep slopes. *Journal of Range Management* 39(4), 375-377.
- Wood, M.K., Jones, T.L., Vera-Cruz, M.T. (1998): Rainfall interception by selected plants in the Chihuahuan Desert. *Journal of Range Management* 51, 91-96.