

# Mitigación de la erosión de suelos en plantaciones de almendro por cubiertas vegetales: implicaciones para la agricultura sostenible de montaña (SE España)

Víctor Hugo Durán Zuazo<sup>1\*</sup>, José Ramón Francia Martínez<sup>2</sup>, Iván García Tejero<sup>1</sup>,  
Lorenzo Arroyo Panadero<sup>2</sup>, Armando Martínez Raya<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, Centro "Las Torres-Tomejil", Sevilla, España

<sup>2</sup>Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, Centro "Camino de Purchil", Granada, España

\*Autor correspondiente, e-mail: victorh.duran@juntadeandalucia.es

## Resumen

La conservación y gestión sostenible de los recursos suelo y agua constituyen uno de los mayores retos de los sistemas agrícolas de secano. Durante dos años hidrológicos se han estudiado las tasas de erosión y escorrentía de un suelo de cultivo en ladera con tres tipos de cubierta vegetal: cebada (*Hordeum vulgare*), veza (*Vicia sativa*), y tomillo (*Thymbra capitata*) en una plantación extensiva de almendros (*Prunus amygdalus*). El ensayo se realizó en Lanjarón (Granada, SE España) con parcelas cerradas de erosión de 144 m<sup>2</sup> (24 m x 6 m) en una ladera con pendiente del 35%. Las franjas vegetales de 3 m de ancho se dispusieron de forma intermitente y transversal a la pendiente entre hileras de árboles de almendro. Los registros de erosión y escorrentía agrícolas fueron significativamente inferiores en las parcelas con cubiertas de tomillo, en contraste con las registradas con veza. La efectividad de las cubiertas de tomillo respecto a las de cebada y veza en el control de erosión y escorrentía superaron el 69 y 67%, respectivamente. Las cubiertas vegetales al recortar y frenar la trayectoria de la escorrentía superficial retienen los sedimentos transportados y promueven su infiltración en el suelo. Asimismo, la escorrentía remanente con mucho menos energía puede infiltrarse en el suelo antes de ser interceptada por la siguiente franja. Se concluye que la asociación de cultivo leñoso con franjas de cubiertas vegetales representa un modelo eficiente de adaptación a los sistemas tradicionales para la mejora de la productividad y sostenibilidad de la agricultura de montaña de clima semiárido.

**Palabras clave:** conservación de suelos, erosión hídrica, almendro, zonas marginales, clima mediterráneo

## Mitigation of soil erosion by planting ground cover almonds: implications for sustainable mountain agriculture

## Abstract

The conservation and sustainable management of soil and water resources are some of the biggest challenges in rainfed agricultural systems. During two hydrological years, we have studied the rates of erosion and soil runoff from hillside farming in three types of vegetation: barley (*Hordeum vulgare*), vetch (*Vicia sativa*) and thyme (*Thymbra capitata*), in an extensive planting of almond (*Prunus amygdalus*). The experiment was conducted in Lanjarón (Granada, SE Spain) with closed erosion plots of 144 m<sup>2</sup> (24 m x 6 m) on a hillside with a slope of 35%. Three meter wide vegetable strips were arranged intermittently and across the slope between rows of almond trees. The records of erosion and agricultural runoff were significantly lower in plots covered with thyme, in contrast to those recorded with vetch. The effectiveness of the thyme-covered over the barley and vetch ones in controlling erosion and runoff exceeded 69 and 67%, respectively. Cover crops while cutting and stopping the path of surface runoff retained transported sediments and promote their infiltration into the soil. Besides, the remaining runoff with much less energy can infiltrate on the ground before being intercepted by the next swath. We have concluded that the combination of growing woody plant and cover stripes represents an efficient model of adaptation to the traditional systems to improve productivity and sustainability of mountain agriculture in semiarid climate.

**Keywords:** soil conservation, water erosion, almond, marginal zones, Mediterranean climate

**Recibido:** 18 Agosto 2011  
**Acceptado:** 16 Diciembre 2011

## Introducción

La degradación de los suelos está reconocida mundialmente como uno de los mayores problemas medioambientales, y, en particular, su efecto es significativo a través de la erosión hídrica en la cuenca mediterránea (Brandt & Thornes, 1996; Ruiz & Romero, 2010; Durán et al., 2011a, b). En esta zona, más de 22 millones de ha (43,8%) registran tasas de erosión superior a 12 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (Rojo, 1990). En particular, en España, según el ICONA (1988), más de 9 millones de ha (~18,1% del país) alcanzan pérdidas de suelo mayores a 50 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, dependiendo del uso del suelo y la cubierta vegetal. En este contexto, los cultivos leñosos de secano, como el almendro (*Prunus amygdalus*), olivo (*Olea europaea*) y viña (*Vitis vinifera*), registran tasas de erosión en torno a las 95 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> frente a los cultivos herbáceos con 36 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, o el matorral-pastizal con 21 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (ICONA, 1991). En concreto, el almendro en condiciones de secano es uno de los cultivos más representativos en la franja costera mediterránea de la península ibérica, ocupando en España alrededor de 527.000 ha, tan sólo por detrás del olivar, con 1.912.700 ha (MARM, 2009). Su implantación en zonas montañosas provoca una baja protección de los suelos, especialmente en plantaciones extensivas, debido a la eliminación de la cubierta vegetal y a las prácticas de manejo poco sostenibles. Por lo tanto, prácticas que permitan una mayor conservación de los suelos y un manejo más adecuado cobran una singular importancia.

Teniendo en cuenta estas circunstancias, en los últimos años se han llevado a cabo numerosos estudios con el propósito de establecer diferentes estrategias destinadas a frenar los procesos erosivos durante la época de lluvia en suelos agrícolas de clima mediterráneo, principalmente en términos de reducción de escorrentía (Martínez et al., 2006; Francia et al., 2006; Durán et al., 2009). Así, se ha comprobado como una medida eficaz el empleo de cubiertas vegetales para mitigar los efectos negativos de la erosión en pendientes cultivadas en zonas semiáridas (Kosmas et al., 2000; Durán & Rodríguez, 2008; Nunes et al., 2011; de Baets et al., 2011), promoviendo además efectos positivos en la calidad y salud del suelo (Marzaioli et al., 2010; Lucas et al., 2010; Durán et al., 2011c). De acuerdo con Le Bissonais et al. (2004) y Francia et al. (2006), las franjas de vegetación en ladera pueden disminuir la erosión mediante la reducción de la escorrentía, por el recorte de su trayectoria, disminuyendo su efecto erosivo e incrementando la infiltración en el suelo.

Por otra parte, la escasez e irregularidad de las lluvias, las elevadas tasas de evapotranspiración y la alta sensibilidad de los cultivos agrícolas (almendro, olivar, viña, etc.) a la disponibilidad de agua, exigen el desarrollo de prácticas que permitan un máximo aprovechamiento del agua de lluvia, reduciendo

sus pérdidas por escorrentía.

El objetivo principal del presente trabajo fue analizar la respuesta en cuanto a los niveles de erosión y escorrentía por el efecto de tres tipos de cubiertas vegetales, consistentes en cebada (*Hordeum vulgare*), veza (*Vicia sativa*) y tomillo (*Thymbra capitata*) en plantaciones de almendro.

## Materiales y Métodos

### Características de la zona de estudio y tratamientos

El experimento se realizó en una plantación de almendros (*Prunus amygdalus* Basch cv. Desmayo Largueta), localizada en Sierra Nevada (Lanjarón, SE España; 36° 54' 12"N, 03° 29' 13"O) y a 580 m de altitud. La climatología de la zona según la clasificación de Köppen corresponde al tipo Csa de clima Mediterráneo con veranos secos y cálidos.

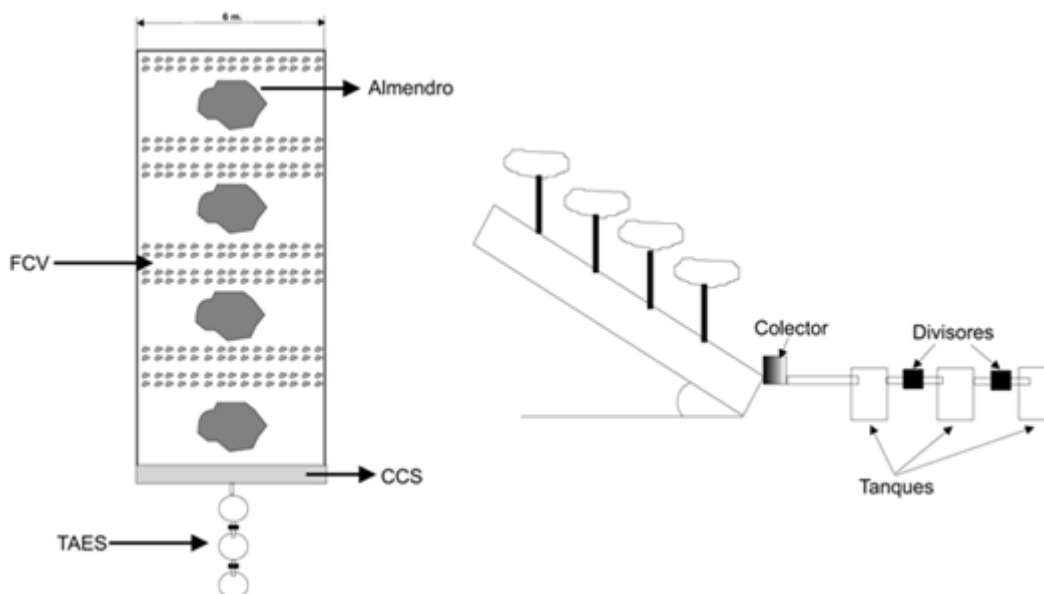
El cultivo se encuentra en pendiente y sin aporte de agua vía riego, con un marco de plantación de 6 x 6 m y unos 250 árboles ha<sup>-1</sup>. Los suelos de la zona son Xerorthent típicos (Soil Survey Staff, 1999), con 520, 320 y 160 g kg<sup>-1</sup> de arena, limo y arcilla, respectivamente, 1,15 Mg m<sup>-3</sup> de densidad aparente, 1,55 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> de capacidad de intercambio catiónico, 10,3 g kg<sup>-1</sup> de carbono orgánico, 0,9 g kg<sup>-1</sup> de N total, 14,6 mg kg<sup>-1</sup> de P, y 45 mg kg<sup>-1</sup> de K asimilable. El suelo, en general, es superficial con una capa activa que varía entre los 0,40 y 0,60 m de profundidad.

Se dispusieron tres parcelas cerradas de erosión de 144 m<sup>2</sup> (24 m \* 6 m) instaladas en una zona con una pendiente del 35%. Cada parcela de erosión constaba de un cierre de chapa galvanizada, divisores de flujo y colectores de sedimentos y escorrentía (Figura 1). En cada una de ellas se dispusieron cuatro árboles de almendro con cuatro franjas de cubierta vegetal, éstas plantadas de forma transversal a la pendiente (3 m \* 6 m), cubriendo aproximadamente el 50% de la superficie del suelo de la parcela cerrada, empleándose como cubierta vegetal cebada (*Hordeum vulgare*), veza (*Vicia sativa*) y tomillo (*Thymbra capitata*), en cada una de ellas y de forma independiente.

### Mediciones de campo y análisis estadístico

Durante los dos años hidrológicos (octubre-septiembre) estudiados se midió la pérdida de suelo y escorrentía generada en las parcelas de erosión después de cada evento erosivo. Se dispuso de una estación meteorológica situada a menos de 100 m del ensayo. Para todos los eventos de lluvia, se calculó la intensidad máxima en 30 min ( $I_{30}$ ) y el índice de erosividad ( $E_{I_{30}}$ ) [ $E = 210 + 89 \log_{10} I$  (Jm<sup>-2</sup>mm<sup>-1</sup>)] (Wischmeier & Smith, 1958, 1978; Brandt, 1990).

Se realizó un análisis de varianza (ANVA) para los registros de erosión y escorrentía, determinándose las diferencias entre las medias individuales por medio de un test de Mínima Diferencia Significativa (MDS) al nivel de  $p < 0,05$ .



**Figura 1.** Parcela cerrada de erosión con árboles de almendro. NL, no laboreo; FCV, franja de cubierta vegetal; CCS, cajón colector de sedimentos; TAES, tanques de almacenamiento de escorrentía superficial.

Así mismo, se realizaron correlaciones lineales ( $p < 0,01$ ) entre la escorrentía, pérdida de suelo y parámetros de la lluvia ( $I_{30}$  y  $EI_{30}$ ), mediante el cálculo de los coeficientes de correlación lineal de Pearson. Todos los análisis estadísticos fueron calculados por medio del programa estadístico Statgraphics Plus 4.1 para Windows (Statgraphics, 1998).

## Resultados y Discusión

### Características de la lluvia

La lluvia total anual registrada para el primer y segundo años fue de 369,7 y 437,9 mm, con una concentración de eventos lluviosos en los meses de otoño e invierno (octubre-marzo), que alcanzaron el 88,1 y 63,0%, respectivamente, del total anual (Tabla 1). Esta variabilidad es típica del clima mediterráneo con grandes diferencias en cantidad e intensidad de las lluvias, como resultado de la descarga de grandes cantidades de agua en períodos cortos de tiempo. Durante el periodo de estudio se registraron valores medios de intensidad máxima a 30 minutos ( $I_{30}$ ) de 7,6 y 11 mm h<sup>-1</sup> para el primer y segundo años, respectivamente, con un índice de erosividad ( $EI_{30}$ ) medio de 8,8 y 3,7 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>.

La Figura 2 presenta la variabilidad media mensual de  $I_{30}$  y  $EI_{30}$  de las precipitaciones en el área del estudio, con incrementos considerables en octubre, febrero y mayo. Esto confirma el elevado potencial erosivo de las precipitaciones de invierno-otoño y tormentas de primavera (Imeson, 1990; Ramos & Porta, 1993), en contraste con los meses de verano, con ausencia total de precipitaciones, especialmente en julio y agosto.

Durante el periodo de estudio el  $EI_{30}$  y la lluvia estuvieron altamente correlacionados ( $r = 0,854$ ,  $y = 0,2599x - 4,313$ ,  $p < 0,01$ ), en contraste con los valores registrados de  $I_{30}$  con la lluvia ( $r = 0,147$ ,  $y = 0,0404x - 0,0217$ ,  $p < 0,01$ ).

En este sentido, cabe destacar el alto potencial erosivo de las precipitaciones estrechamente relacionado con la energía cinética de la lluvia, y en consecuencia, con el índice de erosividad en la región mediterránea (Diodato & Bellocchi, 2007; Capolongo et al., 2008).

### Erosión de suelos y escorrentía

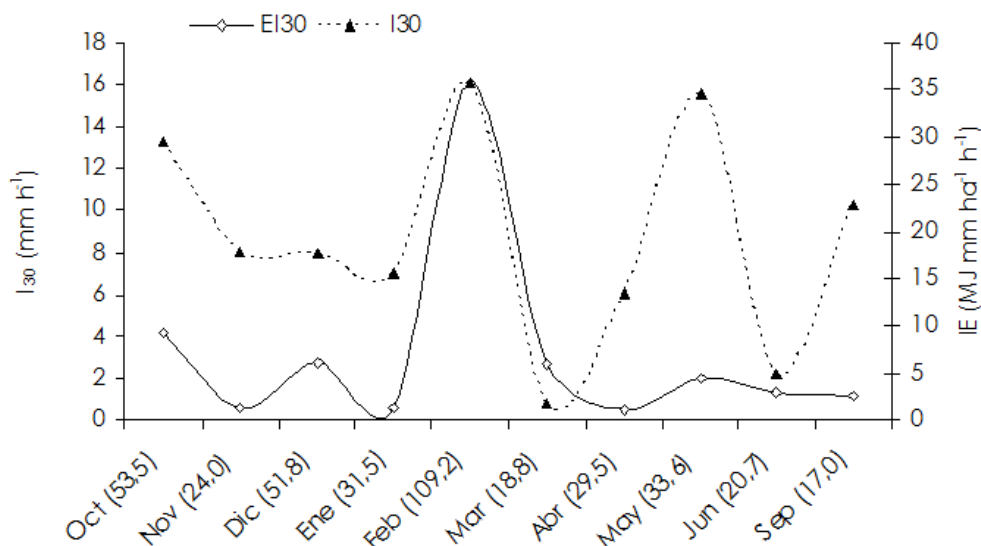
La Tabla 1 muestra la respuesta de la erosión y escorrentía agrícola bajo el efecto de las distintas franjas intermitentes de cubiertas vegetales ensayadas en el área experimental. Durante los dos años de estudio, la erosión de suelos y escorrentía mas bajas, con tasas entre 0,20 y 0,68 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y de 10,2 y 13,9 mm año<sup>-1</sup>, respectivamente, se determinaron en las cubiertas de tomillo, en contraste con la cubierta de veza, con tasas de erosión de 1,46 y 6,81 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y escorrentía de 63,2 y 78,8 mm año<sup>-1</sup>. Por otra parte, la parcela con cubierta de cebada alcanzó tasas intermedias de erosión de 0,87 y 1,95 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y escorrentía de 34,6 y 33,7 mm año<sup>-1</sup>.

Una cuestión importante fue la alta variabilidad de la lluvia a lo largo del año hidrológico, lo que provocó un amplio rango de valores de pérdida de suelo y escorrentía. En este sentido, las pérdidas máximas por erosión con cubiertas de tomillo, cebada y veza fueron 0,54, 1,15 y 2,21 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente; las cuales estuvieron asociadas fundamentalmente a la tormenta de mayo con 22,7 mm y una  $I_{30}$  de 40,7 mm h<sup>-1</sup> registrada durante el segundo año de estudio (Tabla 1). Este hecho sugiere que el desprendimiento de partículas del suelo por el impacto directo de las gotas de lluvia y su posterior transporte por la escorrentía no depende de la cantidad de lluvia sino de su intensidad. En relación a la escorrentía, la distribución de los resultados fue diferente, con registros máximos

**Tabla 1.** Características de la lluvia, tasas de erosión y escorrentía durante dos años hidrológicos de estudio.

	Lluvia (mm)	$I_{30}$ (mm h <sup>-1</sup> )	IE (MJ mm ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )	Erosión de suelos (Mg ha <sup>-1</sup> )			Escorrentía (mm)		
				CV <sub>CE</sub>	CV <sub>VE</sub>	CV <sub>TO</sub>	CV <sub>CE</sub>	CV <sub>VE</sub>	CV <sub>TO</sub>
Primer año									
Media	46,2	7,6	8,8	0,11	0,18	0,02	4,3	7,9	1,3
D.S.	40,2	5,0	12,1	0,11	0,32	0,04	10,7	13,6	1,7
Max.	112,1	16,1	35,8	0,39	0,77	0,11	30,7	37,8	4,1
Min.	17,0	0,7	0,5	0,05	0,00	0,00	0,0	0,1	0,0
Total	369,7	61,0	70,5	0,87	1,46	0,20	34,6	63,2	10,2
Segundo año									
Media	33,7	11,0	3,7	0,15	0,52	0,05	2,6	6,1	1,1
D.S.	21,6	9,6	5,8	0,33	0,80	0,15	4,1	9,2	1,1
Max.	90,9	40,7	22,2	1,15	2,21	0,54	15,3	29,3	2,6
Min.	6,3	4,0	0,2	0,00	0,00	0,00	0,1	0,1	0,0
Total	437,9	143,4	48,6	1,95	6,81	0,68	33,7	78,8	13,9

D.S., desviación estándar; I<sub>30</sub>, máxima intensidad de lluvia a 30 min; IE, índice de erosividad; CV, cubierta vegetal, CE, cebada; VE, veza; TO, tomillo.



**Figura 2.** Media ponderada mensual de la intensidad e índice de erosividad de la lluvia durante el período de estudio. Entre paréntesis la media mensual de las lluvias en mm.

para las parcelas de tomillo, cebada y veza de 4,1, 30,7 y 37,8 mm, respectivamente, estando dichos valores asociados a un evento de lluvia en diciembre del primer año de estudio de 112,1 mm y una  $I_{30}$  de 8,2 mm h<sup>-1</sup>, observándose una estrecha relación entre la escorrentía y la cantidad de lluvia, y no así con la intensidad (Tabla 1).

Los resultados del análisis de la varianza ( $p < 0,05$ ) determinaron valores significativamente más bajos tanto en erosión como en escorrentía en la parcela de almendro con cubiertas de tomillo, registrándose los valores más elevados en las parcelas con cubierta de veza (Tabla 2).

En términos medios, las tasas de erosión y escorrentía, calculadas para el periodo de estudio y condiciones climáticas registradas, para las parcelas con cubiertas de tomillo, cebada y veza, fueron de 0,44, 1,4 y 4,1 Mg ha año<sup>-1</sup> y 12,1, 34,1 y 71,0 mm año<sup>-1</sup>, respectivamente. Por lo tanto, la efectividad de las cubiertas de tomillo en relación a las de cebada y veza para la reducción de la erosión agrícola puede

alcanzar el 71 y 89%, y para la escorrentía el 66 y 82%, respectivamente. Los efectos beneficiosos en la conservación de suelos por la aplicación de franjas intermitentes de cubiertas vegetales es máximo, teniendo en cuenta las tasas de erosión y escorrentía [10-12,3 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y 80,5-207,5 mm año<sup>-1</sup> (Martínez et al., datos no publicados)] que se generan bajo manejos de suelos con laboreo tradicional en plantaciones de almendro en pendiente.

Las franjas vegetales intermitentes a lo largo de la pendiente redujeron el trayecto y velocidad de la escorrentía superficial, que es el medio principal del transporte de sedimentos (Francia et al., 2006; López et al., 2010). Simultáneamente, la escorrentía al ser atrapada por la cubierta promovió su infiltración en la matriz del suelo, minimizando su pérdida, posibilitando la infiltración de la escorrentía remanente y ralentizada a lo largo de su trayectoria por cualquier otro componente rugoso en la superficie del suelo (restos orgánicos, fragmentos de roca, etc.). Asimismo, la cubierta al interceptar la lluvia

**Tabla 2.** Respuesta de la erosión y escorrentía a las cubiertas vegetales.

Tipo de cubierta	Erosión de suelos (Mg ha <sup>-1</sup> )	Escorrentía (mm)
Tomillo	0,04a	1,2a
Cebada	0,13ab	3,5ab
Veza	0,35b	6,7b
Año		
Primer	0,11a	4,5a
Segundo	0,24a	3,2a
ANVA		
Cubierta	*	*
Año	ns	ns
Interacción	ns	ns

ANVA, Análisis de la varianza; Valores con diferentes letras entre columnas son estadísticamente diferentes por un análisis de MDS al nivel de  $p < 0,05$ ; ns, no significativo; \*, significativo  $p < 0,05$

por su biomasa aérea amortigua la energía de las gotas de lluvia, alcanzando la escorrentía cortical a través de las hojas y tallos de las plantas en la superficie del suelo con una energía inferior (Domingo et al., 1998; Carlyle, 2004). La pérdida por evaporación a la atmósfera del agua de lluvia interceptada desde la superficie de la biomasa puede considerarse inferior en comparación a la cantidad de agua interceptada por el suelo gracias a la cubierta vegetal (Leuning et al., 1994; Klaassen et al., 1998).

Las franjas de cubiertas vegetales, además de reducir la energía cinética de la lluvia y proteger al suelo de la erosión, pueden contribuir a incrementar su productividad por medio de la mejora de sus propiedades físico-químicas y el estímulo de la actividad biológica del suelo (Ramos et al., 2010).

#### Relaciones entre las características de la lluvia con la erosión y escorrentía

En cuanto a la relación existente entre las diferentes variables estudiadas, se confirmó la alta dependencia en la generación de erosión de suelos con la intensidad de la lluvia ( $I_{30}$ ), y de la escorrentía con la cantidad de lluvia ( $p < 0,01$ ) (Tabla 3). Asimismo, se determinó una mejor relación del  $EI_{30}$  con la erosión ( $r = 0,425$ ) y escorrentía ( $r = 0,710$ ) en la parcela de veza, aunque existe una relativa alta dependencia ( $r > 0,40$ ) con la escorrentía en las cubiertas de tomillo y cebada. Por el contrario, la pérdida de

suelo no reveló correlación alguna con la lluvia, especialmente en las cubiertas de tomillo y cebada.

Teniendo en cuenta la alta variabilidad de los eventos pluviométricos en el periodo de estudio, se analizó la relación entre la erosión y escorrentía, encontrando solamente una correlación significativa con la cubierta de veza.

En este sentido, la efectividad de las franjas de tomillo puede ser atribuible a la formación de una red vegetal, constituida por los tallos y hojas finas, en estrecho contacto con la superficie del suelo, a modo de alfombra, en contraste con las de cebada y veza que son de crecimiento vertical y con una biomasa aérea mucho más abierta. También la hojarasca generada por cada cubierta tiene un papel muy importante en la protección del suelo, de la más persistente del tomillo perenne a las más fácilmente biodegradables de tipo anual como veza y cebada (Thomas y Asakawa, 1993; Rodríguez et al., 2009). En este sentido, la incorporación de materia orgánica al suelo, por medio de las cubiertas anuales y muy especialmente por la veza, con un sistema radical profundo y nódulos fijadores de nitrógeno, puede realizarse a corto plazo en contraste con el tomillo.

Asimismo, es importante señalar que las cubiertas con plantas perennes de tomillo presentan una desventaja respecto a las anuales de cebada y veza, debido a que al encontrarse de forma continua en el campo pueden competir con el cultivo principal (almendro) por el agua durante el período seco. La presencia de las cubiertas de tomillo, por lo tanto, requieren de un mantenimiento con recolección controlada, y podrían ser consideradas como cultivo secundario con posibles beneficios agronómicos por sus diversas propiedades (Durán et al., 2008). Por lo contrario, tanto la cebada como la veza pueden ser eliminadas en el periodo de máxima demanda hídrica, por corte mecánico o mediante herbicidas, y emplearse los restos en el campo como mantillo. Así su principal misión de proteger al suelo de la erosión y maximizar la interceptación del agua de lluvia (otoño-invierno) finalizaría en el momento en el cual representan una competencia por el agua (primavera) con los árboles de almendro.

**Tabla 3.** Coeficientes de correlación entre las características de la lluvia y la erosión y escorrentía.

Cubierta	n	L-ER	L-ES	ER-ES	$I_{30}$ -ER	$I_{30}$ -ES	$EI_{30}$ -ER	$EI_{30}$ -ES
Tomillo	21	ns	0,532**	0,357	0,857**	0,268	ns	0,445
Cebada	21	ns	0,709**	0,172	0,791**	ns	ns	0,473
Veza	21	0,305	0,821**	0,522**	0,696**	0,267	0,425	0,710**

n, número de eventos; L, lluvia; ER, erosión de suelos; ES, escorrentía;  $I_{30}$ , máxima intensidad de lluvia a 30 min;  $EI_{30}$ , índice de erosividad; \*, significativo  $p < 0,01$ ; ns, no significativo

#### Conclusiones

De acuerdo con los resultados del presente estudio, el empleo de franjas intermitentes de cubiertas de vegetales en plantaciones de almendros en laderas de cultivo pueden significar un sistema eficaz para la

conservación del suelo y agua.

Tanto la erosión como escorrentía fueron significativamente reducidas por efecto de las cubiertas de tomillo respecto a las de cebada y veza. En consecuencia, sus efectos beneficiosos pueden ser aún mayores en zonas donde se

aplica todavía el laboreo tradicional en terrenos con fuertes pendientes. Simultáneamente, los beneficios potenciales para la mejora de la calidad y salud del suelo por las cubiertas son evidentes, gracias a la inminente incorporación de residuos orgánicos que con toda probabilidad puede mejorar las propiedades del suelo (Rodríguez et al., 2009).

En consecuencia, esta asociación representa un modelo eficiente para la mejora de la productividad y sostenibilidad de los sistemas de secano en zonas marginales de clima semiárido.

### Agradecimientos

Parte de este trabajo fue financiado por el proyecto de investigación "Técnicas de agricultura de conservación en cultivos leñosos de secano y clima mediterráneo: implicaciones en la productividad sostenible, control de la erosión, mantenimiento de la biodiversidad edáfica y la calidad de los suelos" (RTA2011-00007-00-00), concedido por el INIA-Ministerio de Ciencia e Innovación, y cofinanciado con fondos FEDER de la Unión Europea.

### Referencias

Brandt, C.J. 1990. Simulation of the size distribution and erosivity of raindrops and through fall drops. *Earth Surface Processes and Landforms* 15: 687-698.

Brandt, C.J., Thornes, J.B. 1996. *Mediterranean desertification and land use*. Wiley, Chichester, United Kingdom. 554 p.

Capolongo, D., Diodato, N., Mannaerts, C.M., Piccarreta, M., Strobl, R.O. 2008. Analyzing temporal changes in climate erosivity using a simplified rainfall erosivity model in Basilicata (Southern Italy). *Journal of Hydrology* 356: 119-130.

Carlyle, M.D.E. 2004. Throughfall, stemflow, and canopy interception loss fluxes in a semi-arid Sierra Madre Oriental matorral community. *Journal of Arid Environments* 58: 181-202.

De Baets, S., Poesen, J., Meersmans, J., Serlet, L. 2011. Cover crops and their erosion-reducing effects during concentrated flow erosion. *Catena* 85: 237-244.

Diodato, N., Bellocchi, G. 2007. Estimating monthly (R) USLE climate input in a Mediterranean region using limited data. *Journal of Hydrology* 345: 224-236.

Domingo, F., Sánchez, 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.

Durán, Z.V.H., Rodríguez, P.C.R., Francia, M.J.R., Cárceles, R.B., Martínez, R.A., Pérez, G.P. 2008.

Harvest intensity of aromatic shrubs vs. soil erosion: an equilibrium for sustainable agriculture (SE Spain). *Catena* 73: 107-116.

Durán, Z.V.H., Rodríguez, P.C.R., 2008. Soil-erosion and runoff prevention by plant covers. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 28: 65-86.

Durán, Z.V.H., Rodríguez, P.C.R., Martínez, R.A., Francia, M.J.R., Cárceles, R.B. 2009. Measures against soil erosion in rainfed olive orchards on slopes (SE Spain): impact of plant strips on soil-water dynamics. *Pedosphere* 4: 453-464.

Durán, Z.V.H., Rodríguez, P.C.R., Flanagan, D.C., García, T.I., Muriel, F.J.L., 2011a. Sustainable land use and agricultural soil. In: Lichtfouse E (ed). *Alternative Farming Systems, Biotechnology, Drought Stress and Ecological Fertilisation*. Sustainable Agriculture Reviews 6. Springer Science + Business Media BV, Amsterdam, Netherlands. p. 107-192.

Durán, Z.V.H., Rodríguez, P.C.R., Francia, M.J.R., Martín, P.F.J. 2011b. Land-use changes in a small watershed in the Mediterranean landscape (SE Spain): environmental implications of a shift towards subtropical crops. *Journal of Land Use Science* (in press).

Durán, Z.V.H., Rodríguez, P.C.R., Peinado, M.F.J., De Graaff, J., Francia, M.J.R., Flanagan, D.C. 2011c. Environmental impact of introducing plant covers in the taluses of orchard terraces: implications for mitigating agricultural soil erosion and runoff. *Catena* 84: 79-88.

Francia, M.J.R., Durán, Z.V.H., Martínez, R.A. 2006. Environmental impact from mountainous olive orchards under different soil-management systems (SE Spain). *Science of the Total Environment* 358: 46-60.

ICONA. 1988. *Agresividad de las lluvias en España*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid, España. 99 p.

ICONA. 1991. *La erosión en España*. Síntesis, Madrid, España. 25 p.

Klaassen, W., Bosveld, F., de Water, E. 1998. Water storage and evaporation as constituents of rainfall interception. *Journal of Hydrology* 213: 36-50.

Kosmas, C., Danalatos, N., Gerontidis, S. 2000. The effect of land parameters on vegetation performance and degree of erosion under Mediterranean conditions. *Catena* 40 : 3-17.

Le Bissonnais, Y., Lecomte, V., Cerdan, O. 2004. Grass strip effects on runoff and soil loss. *Agronomie* 24: 129-136.

Leuning, R., Condon, A.G., Dunin, F.X., Zegelin, S., Denmead, O.T. 1994. Rainfall interception and evaporation from soil below a wheat canopy.

- Agricultural and Forest Meteorology* 67: 221-238.
- López, T.J.A., Batalla, R.J., Vericat, D., Balasch, J.C. 2010. Rainfall, runoff and sediment transport relations in a meso scale mountainous catchment: The River Isábena (Ebro basin). *Catena* 82: 23-34.
- Lucas, B.M.E., Bastida, F., Nicolás, C., Moreno, J.L., del Cerro, A., Andrés, M. 2010. Influence of forest cover and herbaceous vegetation on the microbiological and biochemical properties of soil under Mediterranean humid climate. *European Journal of Soil Biology* 46: 273-279.
- Martínez, R.A., Durán, Z.V.H., Francia, M.J.R. 2006. Soil erosion and runoff response to plant-cover strips on semi-arid slopes (SE Spain). *Land Degradation & Development* 17: 1-11.
- MARM. 2009. *Anuario de estadística 2009*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid, España. 73 p.
- Marzaioli, R., D'Ascoli, R., De Pascale, R.A., Rutigliano, F.A. 2010. Soil quality in a Mediterranean area of Southern Italy as related to different land use types. *Applied Soil Ecology* 44: 205-212.
- Nunes, N.A., de Almeida, C.A., Coelho, O.A.C. 2011. Impacts of land use and cover type on runoff and soil erosion in a marginal area of Portugal. *Applied Geography* 31: 687-699.
- Ramos, M.E., Benítez, E., García, P.A., Robles, A.B. 2010. Cover crops under different managements vs. frequent tillage in almond orchards in semiarid conditions: Effects on soil quality. *Applied Soil Ecology* 44: 6-14.
- Rodríguez, P.C.R., Durán, Z.V.H., Muriel, F.J.L., Peinado, M.F.J., Franco, T.D. 2009. Litter decomposition and nitrogen release in a sloping Mediterranean subtropical agroecosystem on the coast of Granada (SE, Spain): Effects of floristic and topographic alteration on the slope. *Agriculture Ecosystem and Environment* 134: 79-88.
- Rojo, L. 1990. *Plan Nacional de Restauración Hidrológico-Forestal y Control de la Erosión*. Memoria, Tomo I: Mapas Tomo II. ICONA, Madrid, España.
- Ruiz, S.J.D., Romero, D.A. 2010. Soil degradation factors along a Mediterranean pluviometric gradient in Southern Spain. *Geomorphology* 118: 359-368.
- Soil Survey Staff. 1999. *Soil Taxonomy*. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys, Agric. Handbook N 436. USDA, Washington, USA. 869 p.
- Statgraphics 1998. *Statgraphics plus 4.1 for Windows*. Statistical Graphics Corporation, Washington, USA. CD-ROM.
- Thomas, R.J., Asakawa, N.M. 1993. Decomposition of leaf litter from tropical forage grasses and legumes. *Soil Biology and Biochemistry* 25: 1351-1361.
- Wischmeier, W.H., Smith, D.D. 1958. Rainfall energy and its relationship to soil loss. *Transactions of the American Geophysical Union* 39: 285-291.
- Wischmeier, W.H., Smith, D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. USDA, Washington, USA. 58 p. (Handbook, 537)