

Cárceles-Rodríguez, Belén; Gálvez-Ruiz, Baltazar; Francia-Martínez, José Ramón;  
Cuadros Tavira, Simón; Rodríguez Pleguezuelo, Carmen Rocío; Durán-Zuazo, Víctor  
Hugo

La cubierta vegetal y la erosión de suelos por surcos por eventos lluviosos extremos en  
ambientes semiáridos

Revista de Ciencias Ambientales, vol. 51, núm. 1, enero-junio, 2017, pp. 51-61  
Universidad Nacional  
Heredia, Costa Rica

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=665070587004>



# Revista de CIENCIAS AMBIENTALES

## Tropical Journal of Environmental Sciences



**La cubierta vegetal y la erosión de suelos por surcos por eventos lluviosos extremos en ambientes semiáridos**

**Vegetation Cover and Furrow Erosion due to Extreme Rain Events in Semi-arid Environments**

**Belén Cárcelos-Rodríguez<sup>a</sup>, Baltazar Gálvez-Ruiz<sup>b</sup>, José Ramón Francia-Martínez<sup>c</sup>, Simón Cuadros Tavira<sup>d</sup>, Carmen Rocío Rodríguez Pleguezuelo<sup>e</sup>, Víctor Hugo Durán-Zuazo<sup>f</sup>**

<sup>a</sup> Investigadora, Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (IFAPA), España, belen.carceles@juntadeandalucia.es

<sup>b</sup> Técnico especialista, Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (IFAPA), España, bagalves@gmail.com

<sup>c</sup> Investigador, Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (IFAPA), España, joser.francia@juntadeandalucia.es

<sup>d</sup> Profesor titular, Universidad de Córdoba, Campus de Rabanales, E-14071 Córdoba, España, scuadros@uco.es

<sup>e</sup> Investigadora, Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (IFAPA), España, gatocio@hotmail.com

<sup>f</sup> Investigador, Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (IFAPA), victorh.duran@juntadeandalucia.es

**Director y Editor:**

Dr. Sergio A. Molina-Murillo

**Consejo Editorial:**

Dra. Mónica Araya, Costa Rica Limpia, Costa Rica

Dr. Gerardo Ávalos-Rodríguez. SFS y UCR, USA y Costa Rica

Dr. Manuel Guariguata. CIFOR-Perú

Dr. Luko Hilje, CATIE, Costa Rica

Dr. Arturo Sánchez Azofeifa. Universidad de Alberta-Canadá

**Asistente:**

Rebeca Bolaños-Cerdas

**Editorial:**

Editorial de la Universidad Nacional de Costa Rica (EUNA)



Los artículos publicados se distribuyen bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0) basada en una obra en <http://www.revistas.una.ac.cr/ambientales>, lo que implica la posibilidad de que los lectores puedan de forma gratuita descargar, almacenar, copiar y distribuir la versión final aprobada y publicada del artículo, siempre y cuando se mencione la fuente y autoría de la obra.



# La cubierta vegetal y la erosión de suelos por surcos por eventos lluviosos extremos en ambientes semiáridos

## Vegetation Cover and Furrow Erosion due to Extreme Rain Events in Semi-arid Environments

**Belén Cárcelos-Rodríguez<sup>a</sup>, Baltazar Gálvez-Ruiz<sup>b</sup>, José Ramón Francia-Martínez<sup>c</sup>, Simón Cuadros Tavira<sup>d</sup>, Carmen Rocío Rodríguez Pleguezuelo<sup>e</sup>, Víctor Hugo Durán-Zuazo<sup>f</sup>**

[Recibido: 23 de noviembre 2016; Aceptado: 30 de enero 2017; Corregido: 27 de febrero 2017; Publicado: 21 de abril 2017]

### Resumen

La conservación del recurso suelo en ambientes de tipo semiárido constituye uno de los mayores retos de los sistemas agrícolas y, en particular, en la región mediterránea. En el presente estudio se han comparado dos tipos de manejos de suelo, mínimo laboreo (ML) y mínimo laboreo con cubierta vegetal espontánea (ML<sub>VE</sub>), en una plantación de almendro en secano y en pendiente (35%), ante un evento extraordinario durante el año 2015 (91,3 mm y EI<sub>30</sub> de 2 719,89 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>). Ante esta situación, en las parcelas de ML<sub>VE</sub> no se registró la formación de surcos en contraste con las de ML, donde la pérdida de suelo total fue más de 12 veces inferior a la registrada en estas últimas. Este hecho demuestra la eficacia de la cubierta vegetal en la protección del suelo agrícola frente a la erosión con eventos extremos de esta naturaleza. Asimismo, para el manejo de ML, la erosión por surcos representó más del 60% de la pérdida de suelo total, lo que indica el dominio de este tipo de erosión. Finalmente, cabe señalar que este evento supone la práctica totalidad de la pérdida de suelo registrada en las parcelas experimentales durante el período 2012-2015, lo que, en consecuencia, muestra el impacto significativo de los eventos extremos en las tasas de erosión en la región mediterránea.

**Palabras clave:** Almendro, erosión por surcos, evento extremo, clima mediterráneo.

### Abstract

The conservation of the soil resource in semi-arid environments is one of the major challenges of agricultural systems, particularly in the Mediterranean region. In the present study, two types of soil management were compared: minimum tillage (ML) and minimum tillage with spontaneous vegetation cover (ML<sub>VE</sub>). The comparison was conducted in a rainfed almond plantation at slope (35%), under an extraordinary event in 2015 (91.3 mm and EI<sub>30</sub> of 2,719.89 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>). In this situation in ML<sub>VE</sub> plots, the development of furrows in contrast to ML were not recorded; the total soil loss was more than 12 times lower than that recorded in the latter. This fact demonstrated the effectiveness of the vegetal cover in the protection of the agricultural soil against the erosion during extreme events. Also, for ML management, furrow erosion represented more than 60% of the total soil loss, demonstrating the dominance of this type of erosion. Finally, it should be noted that this event represents the almost total loss of soil recorded in the experimental plots during the period 2012-2015; and this consequently shows the significant impact of extreme events on erosion rates in the Mediterranean region.

**Keywords:** almond, furrow erosion, extreme event, Mediterranean climate.

<sup>a</sup> Investigadora, Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (IFAPA), España, belen.carcelos@juntadeandalucia.es

<sup>b</sup> Técnico especialista, Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (IFAPA), España, bagalves@gmail.com

<sup>c</sup> Investigador, Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (IFAPA), España, joser.francia@juntadeandalucia.es

<sup>d</sup> Profesor titular, Universidad de Córdoba, Campus de Rabanales, E-14071 Córdoba, España, scuadros@uco.es

<sup>e</sup> Investigadora, Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (IFAPA), España, gatocio@hotmail.com

<sup>f</sup> Investigador, Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (IFAPA), España, victorh.duran@juntadeandalucia.es



## 1. Introducción

El almendro es uno de los cultivos de secano más representativos de Andalucía. Representa, en esta región, casi el 27% de la superficie total dedicada al cultivo de almendro en secano en toda España, con 141 685 ha (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente [MAGRAMA], 2015).

A lo largo de la historia, la erosión es uno de los problemas ambientales más importantes de la región mediterránea (Martínez, Martínez, Francia & González, 2004). Debido a que es una región caracterizada por una precipitación anual baja, la ocurrencia de tormentas de elevada intensidad y sequías prolongadas, una elevada evapotranspiración, la presencia de grandes pendientes, una actividad tectónica reciente, junto con el recurrente uso del fuego, el sobrepastoreo y el laboreo (García-Ruiz, Nadal, Lana-Renault & Beguería, 2013), hacen que, en la región, más del 43% de la superficie, registre tasas de erosión superiores a 12 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (de Alba, 2002).

El almendro se ha cultivado tradicionalmente en pendientes y tierras marginales, de manera extensiva, lo que elimina la cubierta vegetal y, mediante técnicas de manejo de suelo poco sostenibles, lo convierte en un cultivo especialmente vulnerable a la erosión (Romero, Martínez & Belmonte, 2012). En este sentido, las medidas de protección de suelo deben destinarse, principalmente, a cultivos leñosos en sistemas de secano y clima semiárido (Durán, Rodríguez, Flanagan, García & Muriel, 2011).

El clima mediterráneo se caracteriza por una elevada variabilidad espacial y temporal de las lluvias. No resultan raros los eventos extremos, de elevada intensidad, que generan importantes tasas de erosión y escorrentía (Martínez-Casasnovas, Ramos, & Ribes, 2002). Usualmente, unos pocos eventos al año son responsables de gran parte de las pérdidas de suelo anuales (González-Hidalgo, Arrillaga, Peña, 2005; Ramos, 2016).

Los pronósticos del clima para la región mediterránea establecen, entre otros efectos del cambio climático, una disminución de la precipitación neta y del número de eventos, una mayor variabilidad interanual y un incremento en la frecuencia de eventos extremos (Christensen et al., 2007; Giorgi & Lionello, 2008; Goubanova & Li, 2007).

Durante los eventos extremos, se produce la concentración del flujo superficial, dando lugar al desarrollo de surcos y a elevadas tasas de erosión (Bruno, Di Stefano & Ferro, 2008). La formación de los surcos y su desarrollo incrementa el transporte de sedimentos. Así, se ha demostrado, en diversos ensayos de campo, cómo para aquellos eventos erosivos en los cuales se genera erosión por surcos, la contribución de esta a la pérdida total de suelo es dominante (Bruno et al., 2008; Rejman & Brodowski, 2005).

El objetivo del presente estudio fue comparar dos estrategias de manejo de suelo en una plantación de almendro en pendiente y secano: 1) mínimo laboreo combinado con franjas intermitentes de vegetación espontánea (ML<sub>VE</sub>) y 2) mínimo laboreo sin cubierta vegetal (ML), ante eventos lluviosos extremos, y valorar la eficacia en el control de la erosión de suelos por surcos.



## 2. Metodología

### 2.1 Zona de estudio y parcelas experimentales

El experimento se realizó en Lanjarón (SE España) desde el año 2012 al 2015. El clima de la zona es mediterráneo, con una precipitación media anual de 490 mm y una temperatura media anual de 15 °C. La precipitación presenta una gran irregularidad interanual e intraanual. El suelo de la zona es *Typic Xerorthents*, según la clasificación del Soil Survey Staff (2014).

Las parcelas experimentales forman parte de una plantación de almendros (*Prunus dulcis* (Mill.) D.A. Webb. cv. Desmayo Largueta) de secano (latitud y longitud de 36° 54' 14,66" y 03° 29' 11,89", respectivamente), con árboles espaciados a 6 x 6 m, en una ladera del 35% de pendiente, y a una altitud de 580 m s.n.m.

Mediante cuatro parcelas cerradas de erosión de 144 m<sup>2</sup> (6 x 24 m) se comparan dos tipos de manejo del suelo: 1) mínimo laboreo y cubierta vegetal de franjas de vegetación espontánea (ML<sub>VE</sub>) y 2) mínimo laboreo sin cubierta vegetal (ML), ambos con dos repeticiones. Cada parcela de erosión constaba de un cierre de chapa galvanizada, colector de sedimentos, tanques de escorrentía y divisores de flujo (**Figura 1**).

Las operaciones de mínimo laboreo en las parcelas experimentales consistían en una labor superficial (0,15 cm) dos veces al año (primavera y otoño) con un arado de cincel, y un cultivador. En los tratamientos con cubiertas, se plantaron franjas de 3 m de ancho entre las hileras de almendros, perpendiculares a la pendiente.



**Figura 1.** Parcelas cerradas de erosión empleadas en el estudio.



El conjunto de plantas que constituye la cubierta vegetal está compuesto fundamentalmente por *Armeria* sp., *Avena sativa* L., *Diplotaxis virgata* (Cav.) DC, *Malva parviflora* L., *Phagnalon rupestre* L. DC, *Velezia rígida* L., *Anagallis arvensis* L., *Brachipodium* sp., *Bromus matritensis* L., *Calendula arvensis* L., *Campanula* sp., *Convolvulus altheoides* L., *Crepis* sp., *Medicago* sp., *Papaver rhoeas* L., *Rapistrum rugosum* L., *Scabiosa* sp., *Sisymbrium* sp., *Sonchus arvensis* L., *Trigonella monspeliaca* L., etc. Las franjas en el tratamiento de ML<sub>VE</sub> se desarrollaron a partir del otoño del 2012, lo que permitió la colonización de estas mismas por la vegetación espontánea de la zona.

En los años posteriores se recolectaron semillas de los alrededores y se sembraron con las primeras lluvias de otoño, para lograr el mayor grado de cobertura posible. Además, se conservó una pequeña franja sin segar para garantizar el semillado. Las franjas donde se localizan los almendros se labraron, manteniéndolas el resto del año libres de vegetación mediante el empleo de un herbicida de translocación.

El control de las franjas de vegetación espontánea se realizó mediante siega mecánica, en el momento en que la competencia de estas por el agua del suelo podía representar una merma en la producción del cultivo, lo que suele ser hacia mediados de marzo. Los restos de la cubierta se dejaron sobre el suelo tras la siega.

## 2.2 Registro datos meteorológicos y medidas de campo

Para el registro de los datos pluviométricos se instaló una estación meteorológica en las parcelas experimentales. Se registraron los datos de precipitación cada 2 minutos, lo que permite realizar el cálculo de la intensidad máxima a 30 minutos ( $I_{30}$ ) y el índice de erosividad ( $EI_{30}$ ) de la lluvia [ $E = 0,119 + 873 \log_{10} I$ ] (Kent Mitchell y Bubenzer, 1980).

Para determinar el volumen de suelo perdido por la erosión en surcos, se procedió a medir las características de los surcos (longitud y sección transversal). Cada surco fue dividido en segmentos y se midió con una cinta métrica la longitud y con un metro, la sección inicial y final, de cada uno de ellos (Carollo, Di Stefano, Ferro & Pampalone, 2015). La distancia entre los segmentos fue variable y se estableció teniendo en cuenta la variabilidad en la profundidad y en la anchura del surco, a lo largo de este mismo. El área de la sección transversal se calculó suponiendo una forma trapezoidal, ya que es la que prevalecía visualmente en parcelas.

El volumen de los diferentes segmentos en que se dividieron los surcos fue calculado usando la siguiente fórmula:

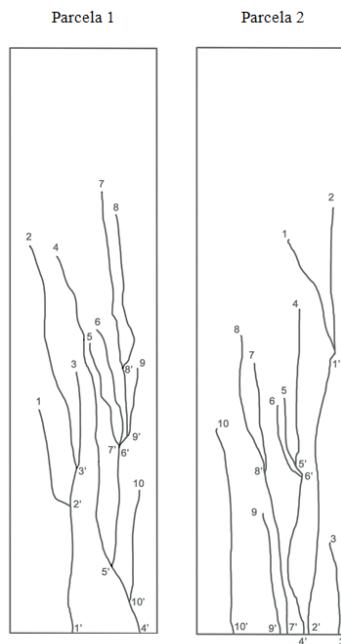
$$V_{si} = 0,5 (A_i + A_{i+1}) L_s \quad (1)$$

Donde:

$A_i$  es la sección inicial del segmento del surco

$A_{i+1}$  es la sección final del segmento

$L_s$  es la longitud de ese segmento



**Figura 2.** Croquis de los surcos en las parcelas de mínimo laboreo (ML).

El volumen total del surco fue calculado sumando los volúmenes de cada uno de los segmentos en los que se dividió el surco. Para determinar el peso del suelo correspondiente al volumen total del surco, se determinó la densidad aparente en 10 puntos distribuidos de forma aleatoria en cada parcela, mediante el método del cilindro (Blake & Hartge, 1986; Campbell & Henshall, 1991). Las muestras de suelo fueron desecadas en estufa a 104 °C, durante 48 h. Se midió, respecto al perímetro de la parcela, la ubicación de cada uno de los surcos, para poder realizar una representación gráfica de estos (Figura 2). Las mediciones se realizaron después del evento extremo y antes de que se produjese otro evento que alterase la superficie del suelo (Figura 3).



**Figura 3.** Surcos formados en ML por el evento extremo.



La pérdida de suelo total (laminar y por surcos) se recoge en el colector de sedimentos de las parcelas cerradas, y la concentración de los sedimentos en suspensión fue determinada mediante alícuotas provenientes de los tanques de escorrentía.

### 3. Resultados

En el **Cuadro 1** se muestran las características del evento extraordinario en la zona de estudio. Se registraron 77,3 mm en una hora. La precipitación total de este evento supone más del 18% de la precipitación promedio anual de la zona.

**Cuadro 1.** Características del evento extremo

Fecha	Precipitación (mm)	$I_{30}$ (mm h <sup>-1</sup> )	$EI_{30}$ (MJ mm ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )
08/09/2015	91,3	107,6	2 719,89

$I_{30}$ , máxima intensidad a 30 minutos;  $EI_{30}$ , índice de erosividad a máxima intensidad a 30 minutos.

Usando los datos de la estación meteorológica de Lanjarón (36° 55' 23" N; 3° 29' 33" O; 715 m.s.n.m.) de la AEMET para la que se tienen datos desde 1945, se ha calculado el período de retorno para que ocurra un evento similar, siendo éste de 18 años.

En el **Cuadro 2** se muestran los datos medios de erosión y escorrentía para cada tratamiento, medidos en las parcelas experimentales, después del evento extremo.

**Cuadro 2.** Escorrentía y pérdida de suelo tras el evento extraordinario

	Escorrentía (mm)	Pérdida de suelo (t ha <sup>-1</sup> )
ML <sub>VE</sub>	59,6 ± 6,1	4,2 ± 4,4
ML	79,0 ± 1,8	53,3 ± 15,6

ML<sub>VE</sub>, mínimo laboreo y cubierta de vegetación espontánea; ML, mínimo laboreo sin cubierta vegetal

Como se observa, tanto la escorrentía como la pérdida de suelo fueron superiores en ML, fue 1,3 y 12,7 veces superior, respectivamente, que para ML<sub>VE</sub>. En las parcelas de ML<sub>VE</sub> la formación de surcos fue inapreciable, por lo que se puede considerar que la pérdida de suelo fue exclusivamente por erosión laminar.

Para las parcelas de ML, se estimó el volumen ocupado por los surcos y la pérdida de suelo. Se muestra el volumen que se midió para cada uno de los surcos que se formaron en las parcelas y que se ha usado para el cálculo del suelo perdido por erosión en surcos, teniendo en cuenta la densidad aparente del suelo estimada para cada parcela (**Cuadro 3**).



**Cuadro 3.** Volumen de los regueros

Surco	Parcela 1	Parcela 2
	Volumen (cm <sup>3</sup> )	
1	37 281,0	17 974,0
2	90 222,5	98 236,3
3	14 061,8	9 607,5
4	61 550,0	37 471,5
5	62 747,5	2 616,5
6	26 475,8	10 671,0
7	27 042,0	40 632,1
8	22 597,5	7 845,0
9	8 130,0	17 069,0
10	640,0	16 454,5
<b>Promedio</b>	<b>35 074,8</b>	<b>25 857,7</b>
<b>SD</b>	<b>28 206,2</b>	<b>28 242,9</b>
<b>Total</b>	<b>350 748,0</b>	<b>258 577,3</b>

Se ha calculado el porcentaje de pérdida de suelo que representa la erosión por surcos en ML, se observó en ambas parcelas que la erosión por surcos representa más del 60 % de la pérdida total de suelo (**Cuadro 4**).

**Cuadro 4.** Pérdida de suelo total, por surcos y % erosión por surcos en ML

	Pérdida suelo total (t ha <sup>-1</sup> )	Pérdida suelo por surcos (t ha <sup>-1</sup> )	% Erosión por surcos
Parcela 1	64,32	38,73	60,2
Parcela 2	42,32	29,09	68,7

#### 4. Discusión

Las diferencias registradas en los valores de pérdida de suelo, fueron 12,7 veces superior para el ML. Esto, aunado al hecho de que solo se produjese la formación de surcos en las parcelas de ML, muestra la eficacia de la cubierta vegetal en la protección del suelo frente a la erosión. Cerdan, Le Bissonnais, Couturier, Bourennane & Souchére (2002) establecen que la erosión en surcos ocurre exclusivamente sobre terrenos con una cubierta vegetal menor del 20%.

Son numerosos los estudios que demuestran la eficacia de las cubiertas vegetales en la protección del suelo frente a la erosión (De Baets, Poesen, Meersmans & Serlet, 2011; Durán y Rodríguez, 2008a; Durán et al., 2008b). Las franjas de vegetación en cultivos leñosos en pendiente pueden disminuir la erosión mediante la reducción de la escorrentía, al reducir su



trayectoria e incrementar la infiltración en el suelo (Francia, Durán & Martínez, 2006; Martínez, Durán & Francia, 2006).

En este estudio, la presencia de los restos de la cubierta vegetal espontánea y la banda de semillado que permanecía en las parcelas han demostrado ser eficaces para evitar la formación de surcos en  $ML_{VE}$  y reducir las pérdidas totales de suelo. Además, debe tenerse en cuenta el papel que juegan las raíces de las plantas que constituyen la cubierta vegetal, en el aumento de la cohesión del suelo y en la mejora de la resistencia de los horizontes superficiales a la erosión por concentración del flujo (De Baets, Poesen, Knapen & Galindo, 2007; Gyssels, Poesen, Bochet & Li, 2005).

Al igual que en los estudios de Bruno et al. (2008) y Rejman y Brodowski (2005), la contribución principal a la pérdida de suelo corresponde a la erosión en surcos; la relación de erosión en surcos/erosión laminar es de 1,5 y 2,2, para la parcela 1 y 2, respectivamente. La formación de los surcos intensifica la erosión del suelo.

El evento contribuyó con más del 98% y del 89% de la erosión total registrada en las parcelas experimentales durante el período 2012-2015, para  $ML$  y  $ML_{VE}$ , respectivamente. Esto muestra el impacto de los eventos extremos en la pérdida de suelo en la región mediterránea (De Alba et al., 1998).

## 5. Conclusiones

Los resultados de este estudio muestran como el empleo de cubiertas vegetales en cultivos de almendro en pendiente contribuye a proteger el suelo de la erosión, al reducir las tasas de escorrentía y de pérdida de suelo. Así, la presencia de la cubierta vegetal ha impedido la formación de surcos en un evento extremo.

Se ha demostrado como, en aquellos eventos erosivos en que se generan surcos, estos intensifican la pérdida de suelo y constituyen la forma de erosión dominante. Además, se comprueba la importancia de los eventos extremos en las tasas de pérdida de suelo de la zona.

## 6. Agradecimientos

Parte de este trabajo fue financiado por el proyecto de investigación “INNOVA-Nuts Gestión integral del cultivo del almendro y otros frutos secos” (AVA.AVA201601.18), dentro del Programa Operativo FEDER de Andalucía 2014-2020 “Andalucía se mueve con Europa”. Además, a la Revista y a las personas revisoras externas por sus observaciones.

## 7. Referencias

- Blake G. R. & Hartge K. H. (1986). Bulk Density. Physical and Mineralogical Methods. In A. Klute (Ed), *Methods of soil analysis* (Parte 1, pp. 363-375). Wisconsin, USA: American Society of Agronomy and Soil Science Society of America.



- Bruno, C., Di Stefano, C., Ferro, V. (2008). Field investigation on rilling in the experimental Sparacia area, South Italy. *Earth Surface Processes and Landforms*, 33, 263-279. Doi: <https://doi.org/10.1002/esp.1544>
- Campbell, D. J. and Henshall, J. K. (1991). Bulk Density in Soil Analysis, Physical Methods, In: K. A. Smith and C. E. Mullins (Eds.). New York: Marcel Dekker.
- Carollo, F. G., Di Stefano, C., Ferro, V., Pampalone V. (2015). Measuring rill erosion at plot scale by a drone-based technology. *Hydrological Processes*, 29 (17), 3802-3811. doi: <https://doi.org/10.1002/hyp.10479>
- Cerdan, O., Le Bissonnais, Y., Couturier, A., Bourennane, H. & Souchére, V. (2002). Rill erosion on cultivated hillslopes during two extreme rainfall events in Normandy, France. *Soil & Tillage Research*, 67, 99-108. doi: [https://doi.org/10.1016/s0167-1987\(02\)00045-4](https://doi.org/10.1016/s0167-1987(02)00045-4)
- Christensen, J. H., Hewitson, B., Busuioc, A., Chen, A., Gao, X., Held, I., Jones, R., Kolli, R. K., Kwon, W. T., Laprise, R., Rueda, V. M., Mearns, L., Menéndez, C. G., Räisänen, J., Rinke, A. & Whetton, A. S. (2007). Regional Climate Projections. In *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. S. Solomon, S. D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller (Eds.). Cambridge: Cambridge University Press.
- De Alba, S., Benito, G. & Pérez-González, A. (1998). Erosión del suelo en episodios de lluvia de elevada intensidad versus episodios de moderada y baja intensidad y elevada frecuencia en ambientes semiáridos. En A. Gómez-Ortiz, F. Salvador, L. Schulte, A. García (Eds.), *Investigaciones recientes de la geomorfología española*. Granada: Sociedad Española de Geomorfología.
- De Alba Alonso S. (2002). Erosión hídrica en campos de agricultura extensiva. *Cuad. Soc. Esp. Cien. For.*, 13, 183-190.
- De Baets, S., Poesen, J., Knapen, A. & Galindo, P. (2007). Impact of root architecture, soil characteristics and flow shear stress on the erosion-reducing potential of roots during concentrated flow. *Earth surface processes and landforms*, 32(9), 1323-1345. doi: <https://doi.org/10.1002/esp.1470>
- De Baets, S., Poesen, J., Meersmans, J. & Serlet, L. (2011). Cover crops and their erosion-reducing effects during concentrated flow erosion. *Catena*, 85(3), 237-244. doi: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2011.01.009>
- Durán, V. & Rodríguez, C. (2008a). Soil-erosion and runoff prevention by plant covers. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 28(1), 65-86. doi: <https://doi.org/10.1051/agro:2007062>



- Durán, V., Rodríguez, C., Francia, J., Martínez, A., Arroyo, L., Cárcelos, B. & Navarro, M. (2008b). Benefits of plant strips for sustainable mountain agriculture. *Agronomy for Sustainable Development* 28(4), 497-505. doi: <https://doi.org/10.1051/agro:2008020>
- Durán, V., Rodríguez, C., Flanagan, D., García, I. & Muriel, J. L. (2011). Sustainable land use and agricultural soil. In E. Lichtfouse (Ed.), *Alternative Farming Systems, Biotechnology, Drought Stress and Ecological Fertilisation, Sustainable Agriculture Reviews* 6. Springer: New York. doi: <https://doi.org/10.1007/978-94-007-0186-1>
- Francia, J., Durán V. & Martínez, A. (2006). Environmental impact from mountainous olive orchards under different soil-management systems (SE Spain). *Science of the Total Environment*, 358(1-3), 46-60. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.05.036>
- García-Ruiz, J., Nadal-Romero, E., Lana-Renault, N. & Beguería, S. (2013). Erosion in Mediterranean landscapes: Changes and future challenges. *Geomorphology*, 198, 20-36. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.05.023>
- Giorgi, F. & Lionello, P. (2008). Climate change projections for the Mediterranean region. *Global and Planetary Change*, 63(2-3), 90-104. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloplacha.2007.09.005>
- González-Hidalgo, J. C., de Luis, M. & Peña, J. L. (2005). Los eventos extremos de precipitación, la variabilidad del clima y la erosión del suelo. Reflexiones ante el cambio del clima en los sistemas mediterráneos. *Cuaternario y Geomorfología*, 19 (1-2), 49-62.
- Goubanova, K. & Li, L. (2007). Extremes in temperature and precipitation around the Mediterranean basin in an ensemble of future climate scenario simulations. *Global and Planetary Change* 57(1-2), 27-42. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloplacha.2006.11.012>
- Gyssels, G., Poesen, J., Bochet, E. & Li, Y. (2005). Impact of plant root on the resistance of soils to erosion by water: a review. *Progress in physical geography* 29(2), 189-217. doi: <https://doi.org/10.1191/0309133305pp443ra>
- Kent-Mitchell, J. & Bubenzer, G. (1980). Soil loss estimation. In: Kirkby MJ & Morgan RPC (Eds.), *Soil erosion*, Chichester, England: John Wiley & Sons.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. (2015). *Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos*. España, Madrid: Autor.
- Martínez, V., Martínez, R., Francia, J. & González, S. (2004). Conservación del suelo y del agua. Aspectos generales. Sistemas de agricultura de conservación. En R.P. Fernández, S. E. González, V. A. Martínez & C. F. Navarro (Eds.), *Mantenimiento y conservación del suelo en forestaciones agrarias*. Córdoba, España: Asociación Española Agricultura de Conservación, Suelos Vivos.
- Martínez, A., Durán, V. & Francia J. (2006). Soil erosion and runoff response to plant cover strips on semiarid slopes (SE Spain). *Land Degradation and Development* 17(1), 1-11. doi: <https://doi.org/10.1002/ldr.674>



Martínez-Casasnovas J., Ramos, M. & Ribes-Dasi, M. (2002). Soil erosion caused by extreme rainfall events: Mapping and quantification in agricultural plots from very detailed digital elevation models. *Geoderma*, 105(1-2), 125-140. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0016-7061\(01\)00096-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0016-7061(01)00096-9)

Ramos, M. (2016). Soil losses in rainfed Mediterranean vineyards under climate change scenarios. The effects of drainage terraces. *AIMS Agriculture and Food*, 1(2), 124-143. doi: <https://doi.org/10.3934/agrfood.2016.2.124>

Rejman, J. & Brodowski, R. (2005). Rill characteristics and sediment transport as a function of slope length during a storm event on loess soil. *Earth Surface Processes and Landforms*, 30(2), 231-239. doi: <https://doi.org/10.1002/esp.1177>

Romer, A., Martínez, C. & Belmonte F. (2012). Cambios de usos del suelo en la región de Murcia. El almendro como cultivo de referencia y su relación con los procesos de erosión. *Nimbus: Revista de climatología, meteorología y paisaje*, 29-30, 607-626.

Soil Survey Staff. (2014). *Keys to Soil Taxonomy* (12<sup>th</sup> ed.). Washington, D.C.: USDA-Natural Resources Conservation Service.