

# EROSIÓN DEL SUELO EN PLANTACIONES DE CÍTRICOS EN LADERAS. VALLE DEL RIU CANYOLES, VALENCIA.

Artemi Cerdà<sup>1</sup> Merche B. Bodí<sup>1</sup>, Enrique B. Hevilla-Cucarella<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departament de Geografia. Universitat de València, Blasco Ibáñez, 28, 46010- València. Spain, <sup>2</sup>Dpto. de Medicina Preventiva y Salud Pública. Universitat de València. Avda. Vicente Blasco Ibáñez, 15. 46010-València. Telf. 963864237 Fax 963864249, artemio.cerda@uv.es

## Resumen

Durante las últimas décadas el cultivo de cítricos en el Mediterráneo se ha trasladado desde las zonas bajas a las laderas en busca de un mayor confort térmico. Todo ello ha sido posible por la introducción del riego localizado, potenciado por la presión urbanística de las zonas llanas, y fomentado por la reducción de costes en los bombeos de aguas subterráneas. Las nuevas plantaciones ocupan ahora espacios de elevada pendiente donde las pérdidas de suelo suelen ser graves. A pesar del cambio en la localización de los cultivos -de llanuras a laderas- se siguen laboreando intensamente los suelos y/o aplicando herbicidas con el fin de eliminar las malas hierbas. La agricultura de conservación y la agricultura ecológica pueden ayudar a detener las elevadas pérdidas de suelo. Experimentos con lluvia simulada ( $60 \text{ mm h}^{-1}$ ) en campos de cítricos del valle de Montesa (Valencia) donde se han aplicado herbicidas (residual y sistémico), laboreo, cubiertas de paja y abono verde permiten cuantificar tasas de erosión muy distintas según el manejo aplicado. La tasa de erosión en los campos donde se aplicó la cubierta de paja y el abono verde fue nula, mientras que el campo laboreado alcanzó los  $10 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ , y en aquellos tratados con herbicidas la pérdida de suelo osciló entre  $37$  y  $58 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ .

**Palabras clave:** Manejo, Cítricos, Erosión, Escorrentía, Lluvia Simulada, Valencia.

## Summary

### Soil erosion in citrus plantations on slope. Canyoles river basin, Valencia.

During the last decades the citrus orchards in the Mediterranean has moved from the lower topographical positions to the hillsides searching a free frost climatic areas. All this has been possible since the introduction of the drip-irrigation, promoted by the urban development pressure on the coastal land and valley bottoms, and fomented by the cost reduction in the groundwater pumping. The new plantations occupy now spaces of high slope angles where the losses of soil are high. In spite of the change in the location of the orchards -from plains to hillsides - the soils are being intensely ploughed or applying herbicides in order to eliminate the weeds. The conservation and organic farming agriculture can help to detain the high losses of soil. Experiments with simulated rainfall ( $60 \text{ mm h}^{-1}$ ) in citrus fields on the Montesa's valley (Valencia) where herbicides have been applied, on straw mulch and cash crops applied were carried out to quantify very different rates from erosion according to the applied management. The rate of erosion was negligible on the straw mulch and cash crops, meanwhile on the ploughed field reached  $10 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ , whereas in those with herbicides the loss of soil ranged between  $37$  and  $58 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ .

**Key words:** Management, Citrus, Erosion, Runoff, Simulated rainfall, Valencia.

## Introducción

El clima Mediterráneo se caracteriza por la coincidencia de la estación cálida y la seca durante verano. Las plantas autóctonas están adaptadas a estas condiciones, por lo que reducen la actividad de su metabolismo durante el verano. En el caso de las plantas procedentes de otras regiones su supervivencia en el verano es difícil, y para los cultivos la única solución es el riego durante la

época estival. Es por ello que la agricultura tradicional sólo podía conseguir elevadas producciones en las zonas susceptibles de ser regadas: llanos aluviales, terrazas fluviales, abanicos aluviales, marjales y deltas.

Los naranjales valencianos se instalaron en el siglo XIX en dos núcleos pioneros: Alzira-Carcaixent y Burriana (Piqueras 1999). Después se expandieron por la comarcas de la Ribera del Júcar y la Plana de Castelló, penetrando en los valles interiores a mitad

del siglo XX. En todos los casos los cultivos se regaban por inundación y por lo tanto se requerían superficies llanas, y a cotas bajas para poder utilizar los caudales de los ríos procedentes del interior y los manantiales y surgencias kársticas allí donde existían. Los regadíos del Júcar y la Font Santa de l'Alcúdia de Crespins son dos buenos ejemplos de estas estrategias de regadío. A partir de los años 80, pero sobretodo de los 90, se produjo una rápida expansión del cultivo en las laderas buscando un mejor confort climático y huyendo de las heladas, las cuales son reforzadas en el fondo de los valles por las inversiones térmicas. Otro factor decisivo en este traslado de la producción desde el fondo de los valles hasta las laderas fue la revalorización de los suelos cercanos a los núcleos de población -situados en las zonas bajas- debido a la expansión urbana.



**Figura 1.** Vista de un campo de cítricos de nueva plantación en valle de Montesa, término municipal de Vallada. La formación de regueros y cárcavas es habitual en estos campos en pendiente en los que las medidas de control de la erosión brillan por su ausencia.



**Figura 2.** Vista del valle de Montesa. La expansión de los nuevos naranjales está favoreciendo el aumento de la pérdida y degradación del suelo debido al abuso del laboreo y de la aplicación de herbicidas.

La colonización de las laderas por los cultivos de cítricos ha supuesto importantes alteraciones. Por una parte, se han eliminado las antiguas terrazas de cultivo construidas con piedra seca y todo el sistema de drenaje. Por otra, se han construidos campos de cultivo de mayor extensión, eliminando los setos y linderos, y en pendiente (Figuras. 1 y 2). Además, los manejos aplicados en las zonas llanas, muchas de ellas zonas de deposición, se han seguido aplicando en los nuevos campos situados en las laderas, zonas de erosión por excelencia. Así, el laboreo y la masiva aplicación de herbicidas hasta conseguir que la vegetación sea eliminada, son estrategias que se están aplicando en las nuevas explotaciones.

Las anteriores condiciones han dado lugar a suelos empobrecidos en los que la pérdida de material por erosión hídrica es frecuente. Con el fin de cuantificar las tasas de erosión en estos nuevos campos de cultivo se han realizado experimentos con lluvia simulada en campos de cultivos de cítricos en el término municipal de Montesa, SW de la provincia de Valencia. La lluvia simulada permite reproducir chaparrones de igual intensidad, duración y volumen sobre suelos con distintos manejos, para poder conocer cual es su efecto sobre la pérdida de suelo. La lluvia natural es muy variable espacial y temporalmente, lo que hace que el número de mediciones deban ser mayores para conocer el efecto de los distintos manejos.

### Métodos

Se seleccionaron 6 parcelas en un campo de cítricos en el término municipal de Montesa sobre las que se aplicaron otros tantos manejos: herbicida residual, herbicida sistémico, laboreo, cubierta de paja, abono verde (avena, 60 %; veza, 40 %), y control (adventicias). Se seleccionaron en cada parcela 5 subparcelas en las que se instalaron microparcelas sobre las que se realizaron experimentos con lluvia simulada producida mediante agua destilada y a una intensidad de  $60 \text{ mm h}^{-1}$  durante una hora sobre  $2 \text{ m}^2$  mediante un simulador de lluvia por aspersion desarrollado a partir de un diseño anterior (Cerdà *et al.* 1997). El chaparrón seleccionado tiene un periodo de recurrencia de 5 años en la zona de estudio y responde a eventos en los que el proceso de erosión es activo y eficiente. Las escorrentías (incluido el sedimento) se recogieron cada minuto. De ellas, 4 muestras se utilizaron para determinar la concentración de sedimentos mediante desecación, lo que permitirá calcular la tasa de erosión. También se cuantificó el tiempo de encharcamiento ( $t_p$ ) que hace referencia al tiempo transcurrido desde el inicio de la lluvia hasta el encharcamiento del 40 % de la superficie de la parcela). El tiempo de inicio de la escorrentía ( $t_i$ ) es el tiempo desde el inicio de la lluvia hasta el momento en que el agua encharcada inicia su circulación por la parcela. Ambos parámetros son buenos ejemplos de la capacidad del suelo para humedecerse. Diez minutos

**Tabla 1.** Cubierta vegetal (%). Plantas y hojarasca.

Parcelas	Herbicida 1	Herbicida 2	Laboreo	Acolchado paja	Abono verde	Control
1	5	9	11	89	74	56
2	3	5	8	84	82	42
3	2	4	5	75	65	41
4	1	2	4	62	58	40
5	0	1	3	54	45	26
<b>Media</b>	<b>2,2</b>	<b>4,2</b>	<b>6,2</b>	<b>72,8</b>	<b>64,8</b>	<b>41</b>

**Figura 3.** Vista del campo experimental de l'Alcoleja en l'Alcúdia de Crespins, y detalle de los 10 cm superficiales del suelo. La aplicación de estiércoles, acolchado en paja y la siega de adventicias han propiciado el desarrollo de una cubierta de hojarasca que impide la erosión y favorece la formación de suelo.

después del final del experimento se abrió un perfil de suelo para conocer la morfología y magnitud del frente de humedad. El coeficiente de escorrentía fue calculado ( $\text{escorrentía} / \text{lluvia} \times 100$ ) y la tasa de infiltración final estable se obtiene a partir de la ecuación de Horton (1940) tal y como se explica en Cerdà (1996). Los experimentos se realizaron en junio de 2003, cuando el abono verde había sido triturado (picado), y el suelo estaba seco en superficie (5-8 % de humedad).

Los suelos seleccionados corresponden a un pie de monte de la Serra Grossa, con textura franca, un 7 % de carbonato cálcico, y un valor medio de 1,32 % de materia orgánica, con diferencias no significativas entre tratamientos debido a que los manejos se instauraron por primera vez en un campo que había sido dedicado a la agricultura de secano (frutales) en los que el continuo laboreo homogeneizó el suelo. Tras los movimientos de tierra oportunos se instaló el riego por goteo y se plantaron los naranjos de la variedad Clemenpons en el año 2000. El campo presenta un pendiente media del 8 % y se eligieron parcelas fuera de la copa de los árboles para evitar la interceptación de la lluvia.

Los datos obtenidos en los experimentos con lluvia destilada se analizaron con el paquete estadístico SPSS 14.0. Se realizó un análisis exploratorio de cada una de las variables, con la finalidad de evaluar la calidad de la información y describir dichas magnitudes. Se calcularon para las variables continuas medidas de tendencia central y de dis-

persión. Se contrastó la posibilidad de que estas siguieran un comportamiento normal concluyéndose que existían pocos datos para rechazar dicho comportamiento de las variables según el manejo del terreno. Las variables categóricas (manejo del terreno) son factores de interés para nuestro estudio que estaban controlados por el diseño inicial. Se consideraron los posibles factores de confusión, localizando un único y finalmente no significativo factor, la parcela utilizada. En el análisis bivariante se calcularon las correlaciones entre las variables recogidas encontrándose todas correlacionadas a excepción de la concentración de sedimentos y el tiempo de encharcamiento. Posteriormente se comparó cada variable respecto a los manejos del terreno utilizando contrastes de ANOVA y comparando dos a dos manejos para cada variable mediante una prueba T no asumiendo varianzas iguales.

## Resultados

La cubierta vegetal, incluyendo la hojarasca, es prácticamente nula en los suelos laboreados y aquellos tratados con herbicida. En cambio, después de 10 meses, la parcela control muestra una cubierta ligeramente superior al 41 %, oscilando entre 25 y 56 %. Las parcelas acolchadas con paja y con siembra de abono verde en el otoño anterior tienen cubiertas vegetales muy altas, fruto de la acumulación de restos vegetales en superficie (Tabla 1, Figura 3).

**Tabla 2.** El tiempo de encharcamiento ( $t_p$ , en segundos) indica el momento en el se inunda al menos el 40 % de la zona susceptible de ser encharcada dentro de la parcela.

Parcelas	Herbicida 1	Herbicida 2	Laboreo	Acolchado paja	Abono verde	Control
1	355	365	1826	1953	1235	895
2	359	395	1956	2356	1568	1254
3	368	406	2005	2654	1459	1365
4	395	452	2156	3152	1596	1698
5	402	498	2354	3521	2150	2014
<b>Media</b>	<b>375,8</b>	<b>423,2</b>	<b>2059,4</b>	<b>2727,2</b>	<b>1601,6</b>	<b>1445,2</b>

**Tabla 3.** El tiempo de escorrentía ( $t_r$ , en segundos) indica el momento en el se inicia la escorrentía dentro de la parcela.

Parcelas	Herbicida 1	Herbicida 2	Laboreo	Acolchado paja	Abono verde	Control
1	452	452	2014	2325	2214	1256
2	486	568	2095	2658	2295	1658
3	495	601	2150	2965	2658	1698
4	596	652	3250	3095	3547	1758
5	602	710	3458	3500	3521	2548
<b>Media</b>	<b>526,2</b>	<b>596,6</b>	<b>2593,4</b>	<b>2908,6</b>	<b>2847</b>	<b>1783,6</b>

**Tabla 4.** Coeficiente de escorrentía (%). Sin escorrentía (nr).

Parcelas	Herbicida 1	Herbicida 2	Laboreo	Acolchado paja	Abono verde	Control
1	58,32	52,14	6,35	1,02	4,25	18,25
2	55,25	43,32	4,25	0,58	1,02	10,25
3	54,25	40,25	1,02	nr	0,98	5,25
4	50,25	39,35	nr	nr	nr	2,1
5	39,35	29,25	nr	nr	nr	nr
<b>Media</b>	<b>51,48</b>	<b>40,86</b>	<b>3,87</b>	<b>0,80</b>	<b>2,08</b>	<b>8,96</b>

El inicio del encharcamiento indica el momento en el que la intensidad de la lluvia supera la capacidad de infiltración de los suelos. En el caso de los suelos tratados con herbicida encontramos que el encharcamiento se produce entre 255-402 y 365-498 segundos después de iniciarse la lluvia. Hay que recordar que estos experimentos se realizaron con suelos secos durante el verano con lo que su capacidad de infiltración inicial es elevada. El resto de manejos presenta valores de  $t_p$  extremadamente altos debido a la protección de la vegetación -muy evidente en el acolchado con paja y el abono verde- y en el laboreo fruto de las recientes labores, mientras que en el suelo control (vegetación adventicia) es ligeramente inferior. En todas las parcelas se identificó en algún momento su encharcamiento, si bien, en algunas de las vegetadas y labreadas no se produjo escorrentía fuera de la parcela por la presencia de depresiones en las que se infiltraba la escorrentía procedente de las zonas saturadas (Tabla 2).

El tiempo de escorrentía ( $t_r$ ) indica cuando se produce el movimiento del agua en la superficie del suelo. Parte de esa escorrentía drena hacia depresiones en las que se vuelve a infiltrar. Cuando la capacidad de infiltración de los suelos es baja, estas escorrentías superan las depresiones

y alcanzan la salida de la parcela. En el caso de las parcelas tratadas con herbicidas  $t_r$  alcanza valores que oscilan entre los 452-710 y 452-710 segundos (Tabla 3). Los tratamientos con laboreo, acolchado con paja y abono verde determinan un retraso muy elevado en el encharcamiento del suelo, de hasta valores medios de 2593, 2908 y 2847 segundos respectivamente para los tres manejos antes comentados. La parcela con vegetación adventicia, control, presenta valores inferiores, pero todavía elevados.

La escorrentía generada durante cada experimento oscila entre el 51,5 % del Herbicida residual y el 0,80 % de la parcela con acolchado de paja. Se muestra claramente como las dos parcelas con aplicaciones de herbicidas inducen a pérdidas de agua elevadas, mientras que en las parcelas de laboreo, abono verde y acolchado de paja las escorrentías son reducidas, siempre por debajo de 5,4 %. En el caso de la parcela control, aunque con valores inferiores a las parcelas de herbicida, el 9 % de la lluvia se transforma en escorrentía (Tabla 4), si bien existe una parcela en la que no se produjo escorrentía.

La concentración de sedimentos indica la erosionabilidad del suelo. Para una lluvia de la misma intensidad y duración y en parcelas de reducido tamaño la resisten-

**Tabla 5.** Concentración de sedimentos ( $\text{mg l}^{-1}$ ). nr, sin escorrentía.

Parcelas	Herbicida 1	Herbicida 2	Laboreo	Acolchado paja	Abono verde	Control
1	5268,36	3269,25	10365,25	215,32	536,2	1025,36
2	5148,32	2658,25	9521,36	203,2	436,2	956,25
3	4965,32	2658,14	7256,32	nr	nr	845,32
4	4125,22	1958,36	nr	nr	nr	802,32
5	3698,21	1854,32	nr	nr	nr	nr
Media	4641,09	2479,66	9047,64	209,26	486,20	907,31

**Tabla 6.** Tasa de erosión ( $\text{g m}^{-2}$ ) durante el experimento (1 hora). ne, erosión nula.

Parcelas	Herbicida 1	Herbicida 2	Laboreo	Acolchado paja	Abono verde	Control
1	184,35	102,28	39,49	0,13	1,37	11,23
2	170,67	69,09	24,28	0,07	0,27	5,88
3	161,62	64,19	4,44	ne	ne	2,66
4	124,38	46,24	ne	ne	ne	1,01
5	87,31	32,54	ne	ne	ne	ne
Media	145,67	62,87	22,74	0,10	0,82	5,20

**Tabla 7.** Prueba T. Variable dependiente Tasa de Erosión ( $\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ). La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.

(I) Manejos	(J) Manejos	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Herbicida 1	Herbicida 2	82,79800	21,24234	,086	-9,4050	175,0010
	Laboreo	122,92933	20,36432	,016	26,0419	219,8167
	Paja	145,56600	17,65604	,018	35,8556	255,2764
	Abono verde	144,84600	17,66458	,018	35,2728	254,4192
	Control	140,47100	17,79899	,018	32,9398	248,0022

cia del suelo frente a la erosividad de la lluvia es decisiva en el proceso de erosión. La parcela con laboreo es la que presenta mayores concentraciones de sedimentos, con una media que supera los  $9 \text{ gr l}^{-1}$  en las parcelas que generaron escorrentía (Tabla 5). Los suelos con herbicidas presentan valores inferiores, pero todavía altos,  $4,6 \text{ gr l}^{-1}$  en los tratados con herbicidas residuales y  $2,5 \text{ gr l}^{-1}$  bajo herbicida sistémico. Los acolchados con paja y los abonos verdes, especialmente el primero dan lugar a concentraciones de sedimentos bajas. La parcela control presenta valores ligeramente superiores, pero no alcanza  $1 \text{ gr l}^{-1}$  en término medio.

La pérdida de suelo en las parcelas con herbicida de contacto ha alcanzado  $146 \text{ g m}^{-2}$  durante el chaparrón simulado (1 hora). Con el herbicida sistémico la pérdida ha sido de  $63 \text{ g m}^{-2}$ . La parcela con laboreo ha aportado  $23 \text{ g m}^{-2}$  mientras que en la parcela control fue de  $5,2 \text{ g m}^{-2}$  (Tabla 6). En ambos casos, ha habido parcelas sin escorrentía. Los suelos con cubierta de paja y abono verde han aportado muy pocos sedimentos. El análisis estadísticos demuestra un distinto comportamiento erosivo en las parcelas de herbicida respecto al resto. Se parte de una ANOVA significativa para el contraste de igualdad

de medias de tasa de erosión respecto a los manejos ( $p < 0,05$ ). En la tabla 7 observamos que no hay evidencias para rechazar que las medias de herbicida 1 y 2 sean diferentes. Son estadísticamente significativas las diferencias entre herbicida 1 y resto de manejos no siendo así entre el resto de manejos y siendo el nivel de significación mayor a 0,05 en el resto de los casos. Corroboran estos resultados los límites que no incluyen al 0, lo cual indicaría que no hay diferencias entre estos manejos.

En los niveles de significación de 0.486, 0.087, 0.090, 0.104 no hay diferencias estadísticamente significativas entre las tasas de erosión en manejo con herbicida sistémico y laboreo. Es por lo tanto el herbicida residual el que favorece mayores pérdidas de suelo.

## Discusión

La erosión de los suelos produce la pérdida de materia orgánica, nutrientes, substrato mineral, semillas, e induce a la degradación del suelo. La cubierta vegetal es fundamental para reducir las pérdidas al reducir el impacto de las gotas, favorecer la infiltración y ralentizar y filtrar las escorrentías superficiales. En los campos de cultivos de

cítricos en agricultura convencional se ha eliminado por completo la cubierta vegetal lo que ha llevado al aumento de las tasas de erosión. Cualquiera de los tres manejos en los que se favorece o permite el desarrollo de vegetación adventicia, la cubierta de paja o el abono verde dan lugar pérdidas de suelo por erosión insignificantes, especialmente en los dos últimos manejos. En cambio, el laboreo aumenta las pérdidas de suelo debido a la eliminación de la cubierta vegetal. Los herbicidas son el manejo más agresivo, ya que la forma como se utilizan en los naranjales valencianos determina la completa eliminación de la cubierta vegetal y resulta en tasas de erosión muy elevadas, especialmente con los herbicidas residuales.

Estas condiciones de elevadas pérdidas de suelo -y también de agua- están siendo vistas como una de las fuerzas que dirigen a la desertificación del territorio al reducirse la fertilidad del suelo (Pimentel 1993, Porta *et al.* 1999). La elevada pérdida de suelo en los manejos más tradicionales (laboreo y sobretodo herbicida) hacen que la actual agricultura sea no sostenible. No sólo esto es debido a las no tolerables tasas de erosión, sino que también es debido a que las pérdidas de agua y suelo reducen la fertilidad de los suelos, la cual es una repuesta mediante masivas aplicaciones de fertilizantes químicos de síntesis. Este es un síntoma más de una agricultura no sostenible.

El problema de la degradación de los suelos y la desertización del territorio en España es ampliamente conocido por los trabajos de Rubio (1987), García Ruiz (1987) y López Bermúdez (2002). En este proceso de pérdida de la fertilidad de los suelos tiene mucho que decir la agricultura, la cual ha estado ligada a los procesos de erosión de forma secular, lo que ha potenciado sistemas fluviales de alta energía como las ramblas (Rosselló Verger 1986). La agricultura del arado y ahora de los herbicidas favorece altas tasas de erosión como viene siendo demostrado por distintos autores en todo el Mediterráneo (Kosmas *et al.* 1997), la Península Ibérica (Cuadros *et al.* 1993; Ferre 1997, de Alba 1998, Belmonte Serrato *et al.* 1999, Albaladejo *et al.* 2000, Bienes *et al.* 2000), y el País Valenciano (Cerdà 2001-2002). De hecho, en el territorio valenciano se ha comprobado reiteradamente que son los suelos agrícolas los que mayores pérdidas de suelo presentan (Cerdà 2001) por lo que deben ser en ellos donde se actúe con mayor insistencia en la aplicación de medidas de control de la erosión y conservación de suelos. En general, toda la Península Ibérica presenta elevadas tasas de erosión en los campos de cultivo, como lo demuestra la literatura científica (Lasanta 1989, Giráldez *et al.* 1989, Rodríguez Martínez-Conde *et al.* 1998, Lasanta *et al.* 2000, Rodero *et al.* 2000).

Por otra parte, la agricultura de conservación y agricultura ecológica están ofreciendo alternativas a las altas pérdidas de suelo que sufren los suelos agrícolas. La aplicación de cubiertas de herbáceas es la estrategia más recurrida. Esto es fruto de las investigaciones desarrolladas

durante las últimas décadas tanto en suelos forestales (Castillo 1997) como agrícolas (García Ruiz 1996, de Alba 1997). En el caso de los ecosistemas agrarios mediterráneos es definitivo mantener una cubierta vegetal debido a la agresividad del clima (López Bermúdez 1990), pero también debido a la tradicional intervención humana sobre los suelos que ha determinado la presencia de suelos muy degradados (López Bermúdez 1996) y en los que la erosión de los suelos es un factor determinante de la desertificación (López Bermúdez & Albaladejo 1990).

Por lo tanto, los sistemas agrarios españoles en general, y las nuevas plantaciones de cítricos en laderas en particular, necesitan de la aplicación de medidas correctoras de la erosión de los suelos. Las condiciones actuales del cultivo no son sostenibles y ponen en riesgo su continuidad futura al ser el suelo un recurso no renovable. Además, la continua pérdida de fertilidad de los suelos sólo podrá reponerse con masivas aplicaciones de abonos químicos de síntesis que a su vez provocan graves problemas de contaminación de los acuíferos.

## Conclusiones

Los manejos con herbicidas en cultivos de cítricos en pendiente son los más agresivos con el suelo, incluso más que el laboreo. Cualquiera de las otras tres opciones evaluadas en este trabajo como protectoras del suelo (abono verde, adventicias y acolchado de paja) demuestran que el control de la erosión puede ser eficiente y obtenerse de forma inmediata (durante el primer año).

## Agradecimientos

Los autores agradecen la ayuda de la Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), Co-operative Research Programme, Biological Resource Management for Sustainable Agricultural Systems, Erocitrus (GV-2005-02), BEST/2007/199; AINV/2007/076, AE/07/125 por su apoyo financiero. Los revisores contribuyeron decisivamente en la mejora del manuscrito.

## Referencias

- Albaladejo J, Castillo V, Díaz E. 2000. Soil loss and runoff on semiarid land as amended with urban solid refuse. *Land degradation and development* 11: 363-373.
- Belmonte Serrato F, Romero Díaz A, López Bermúdez F. 1999. Efectos sobre la cubierta vegetal, la escorrentía y la erosión del suelo, de la alternancia cultivo-abandono en parcelas experimentales. *Investigaciones Geográficas* 22: 95-107.
- Bienes R, Guerrero Campo J, Aroca JA, Gómez B, Nicolau JM, Espigares T. 2000. Runoff coefficient and soil erosion rates in croplands in a Mediterranean continental region in Central Spain. *En Third In-*

- ternational ESSC Congress "Man and Soil at the Third Millennium". Valencia: Geoforma, 302 pp.
- Castillo VM. 1997. La repoblación forestal como método de lucha contra la desertificación. En *La acción humana y desertificación en ambientes mediterráneos* (García-Ruiz JM, López-García P, eds.). Instituto Pirenaico de Ecología, 277-290 pp.
- Cerdà A. 1996. Seasonal variability of infiltration rates under contrasting slope conditions in Southeast Spain. *Geoderma* 69: 217- 232.
- Cerdà A. 2001. Erosión hídrica del suelo en el Territorio Valenciano. El estado de la cuestión a través de la revisión bibliográfica. Logroño: Geoforma, 79 pp.
- Cerdà A. 2001-2002. Agricultura y erosión en España. Mitos y realidades. *Saitabi* 51/52: 473-502.
- Cerdà A, Ibáñez S, Calvo A. 1997. Design and operation of a small and portable rainfall simulator for rugged terrain. *Soil Technology* 11: 161-168.
- Cuadros S, Martínez A, Francia JR. 1993. Cultivos frutales de secano en fuertes pendientes: aspectos erosivos. Congreso Forestal Español. Tomo III Ponencias y Comunicaciones, 39-44 pp.
- de Alba S. 1997. Metodología para el estudio de la erosión en parcelas experimentales: relaciones erosión-desertificación a escala de detalle. En *El paisaje mediterráneo a través del espacio y del tiempo. Implicaciones en la desertificación* (Ibáñez JJ, Valero Garcés BL, Machado C, eds.). Logroño: Geoforma, 259-293 pp.
- de Alba S. 1998. Procesos de degradación del suelo por erosión en ecosistemas agrícolas de condiciones ambientales mediterráneas en la región central de España. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid, 590 pp.
- Ferre E. 1997. Estadios erosivos en la cuenca media del Río Andarax. *Cuadernos Geográficos* 27: 153-169.
- García Ruiz JM. 1996. Marginación de tierras y erosión en áreas de montaña. En *Erosión y recuperación de tierras en áreas marginales* (Lasanta T, García Ruiz JM, eds.). Instituto de Estudios Riojanos, Sociedad Española de Geomorfología, Logroño, 33-50 pp.
- García Ruiz JM. 1997. La agricultura tradicional de montaña y sus efectos sobre la dinámica hidromorfológica de laderas y cuencas. En *Acción humana y desertificación en ambientes mediterráneos* (García Ruiz JM, López García M, eds.). Instituto Pirenaico de Ecología, Zaragoza, 119-144 pp.
- Giráldez JV, Laguna A, González P. 1989. Soil conservation under minimum tillage techniques in mediterranean dry farming. En *Soil erosion protection measures in Europe* (Schwertmann U, Rickson RJ, Auerswald K, eds.). *Soil Technology series*, 139-148 pp.
- Horton RE. 1940. An approach toward a physical interpretation of infiltration capacity. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* 5: 399-417.
- Kosmas C, Dalanatos N, Cammeraat LH, Chabart M, Diamantopoulos J, Farad R, Gutiérrez L, Jacob A, Marques H, Martínez-Fernández J, Mizara A, Moustakas N, Nicolau JM, Oliveros C, Pinna G, Puddu R, Puigdefábregas J, Roxo M, Simao A, Stamou G, Tomasi N, Usai D, Vacca A. 1997. The effect of land use on runoff and soil erosion rates under Mediterranean conditions. *Catena* 29: 45-59.
- Lasanta T. 1989. Evolución reciente de la agricultura de montaña: el Pirineo aragonés. Logroño: Geoforma, 220 pp.
- Lasanta T, García Ruiz JM, Pérez Rontomé C, Sancho Marcén C. 2000. Runoff and sediment yield in a semi-arid environment: the effect of land management after farmland abandonment. *Catena* 38: 265-278.
- López Bermúdez F. 1990. El clima mediterráneo semiárido como factor de erosión. *Estudios Geográficos* 199-200: 489-506.
- López Bermúdez F. 1996. Erosión del suelo e intervención humana en las regiones mediterráneas de la Península Ibérica. En *España-Portugal: Ordenación Territorial del Sureste Comunitario* (Campeño AJ, Velasco C, eds.), Universidad de Extremadura, Cáceres, 141-170 pp.
- López Bermúdez F, Albadalejo J, 1990. Factores ambientales de la degradación del suelo en el área mediterránea. En *Degradación y regeneración del suelo en condiciones ambientales mediterráneas* (Albadalejo J, Stocking MA, Díaz E, eds.) Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Murcia, 15-45 pp.
- López Bermúdez F. 2002. Erosión y Desertificación. *Heridas de la Tierra*. Nivola, Tres Cantos, 189 pp.
- Pimentel D. 1993. *World soil erosion and conservation. Cambridge studies in applied ecology and resource management*, Cambridge, 349 pp.
- Piqueras J. 1999. *El espacio valenciano. Una síntesis geográfica*. Valencia: Gules, 392 pp.
- Porta J, López-Acevedo M, Roquero C. 1999. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Rodero I, Benítez C, Gil J. 2000. Evaluación de la erosión hídrica en suelos de olivar. Datos preliminares. *Edafología* 7: 39-45.
- Rodríguez Martínez-Conde R, Puga JM, Vila R, Cibeira A. 1998. Comportamientos de la escorrentía en un medio oceánico y de uso agrícola (Galicia, España). En *Actas de la V Reunión Nacional de Geomorfología*, Granada, 547-556 pp.
- Rosselló Verger V. 1986. Ramblas y barrancos: un modelo de erosión mediterránea. IX Coloquio de Geógrafos Españoles, Murcia, 177-184 pp.
- Rubio JL. 1987. Desertificación en la Comunidad Valenciana: antecedentes históricos y situación actual de erosión. *Revista Valenciana D'Estudis Autònoms* 7: 231-258.