

## EROSIÓN HÍDRICA EN CAMPOS DE AGRICULTURA EXTENSIVA DE CLIMA MEDITERRÁNEO. INFLUENCIA DEL MANEJO DEL SUELO EN CASTILLA-LA MANCHA

S. DE ALBA<sup>1</sup>, G. BENITO<sup>2</sup>, C. LACASTA<sup>2</sup>, A. PÉREZ-GONZÁLEZ<sup>1</sup>

<sup>(1)</sup> F. CC. Geológicas (UCM), Dpto. de Geodinámica, Ciudad Universitaria s/n, 28040-Madrid. E-mail: Sdealba@geo.ucm.es.

<sup>(2)</sup> Centro de Ciencias Medioambientales, CSIC. Serrano 115 dpdo. 28006- Madrid.

**Abstract.** The hydrological and erosive responses of different agricultural management systems, applied in experimental plots of the USLE type under natural rainfall and of those present in agricultural slopes affected by a single event of high rainfall intensity, are compared. The role of some key factors to determinate the intensity of the erosive process in the agro-environmental conditions in the study area, is analysed. Between others, the following key factors are discussed: the seasonally variability of soil cover and the oriented roughness on the soil surface (i.e., direction of the tillage furrows). Results indicate the need to evaluate the efficiency of the different practices of conservation to the agro-environmental conditions where the practices are applied. Results demonstrate the predominance of the erosive effects of the rainfall episodes of high intensity, in the study area. Findings point to the need to evaluate the efficiency of the different practices of conservation during the extreme episodes of rainfall.

**Key Words:** Water erosion, agricultural management, semiarid, high intensity rainfalls.

**Resumen.** Se comparan las respuestas hidrológicas y erosivas de diferentes sistemas de manejo agrícola en parcelas de tipo USLE y en laderas agrícolas afectadas por un episodio aislado de elevada intensidad de lluvia. Se analiza el efecto de algunos factores claves que, en las condiciones agroambientales del área de estudio (comarca de Torrijos, Toledo), determinan la intensidad de los procesos erosivos. Los resultados indican el papel predominante que desempeña tanto el recubrimiento de la superficie del suelo como la orientación de la rugosidad superficial generada por los surcos de laboreo, para determinar la respuesta erosiva de los campos. El conjunto de resultados revelan la necesidad de validar y evaluar la eficacia de las distintas prácticas de conservación a las condiciones ambientales específicas del territorio donde van a ser aplicadas. En el área de estudio, se pone de manifiesto la predominancia de los efectos erosivos de los episodios de extremos de elevada intensidad de lluvia frente a los efectos acumulados de episodios de moderada y baja intensidad pero mayor frecuencia. Se concluye la necesidad de evaluar la eficacia de las distintas prácticas de conservación durante los episodios extremos.

**Palabras clave:** Erosión hídrica, manejo agrícola, semiárido, episodios extremos.

## INTRODUCCIÓN

En comparación con otras zonas naturales, en las que los rasgos erosivos tales como las incisiones de regueros y cárcavas permanecen visibles una vez que han sido formados, la degradación de los suelos en los campos agrícolas no es tan claramente manifiesta ya que las prácticas de laboreo eliminan periódicamente estos rasgos erosivos superficiales. Sin embargo, el paisaje agrícola mediterráneo se caracteriza por la presencia generalizada de suelos truncados en las lomas y hombreras, que sin duda son el resultado de la acción de los procesos erosivos. Los Mapas de Estados Erosivos realizados por el ICONA (MOPT, 1992) aplicando el modelo USLE (Wischmeier y Smith, 1978), para todo el territorio nacional, revelaron la importancia de la degradación del suelo en las áreas agrícolas. El 73% de las pérdidas totales de suelo tiene lugar en campos de agricultura extensiva de cultivos de secano herbáceos, arbóreos y viñedos, y hasta el 11% tiene lugar en terrenos de erial o con matorral y arbolado disperso. De la revisión bibliográfica se concluye que la información actualmente disponible en cuanto a tasas reales de erosión medidas en campo es muy reducida, y resulta claramente insuficiente para validar y calibrar los diferentes modelos existentes para estimar la pérdida de suelo (ej. RUSLE, WEPP, etc.), respecto a las condiciones ambientales y características particulares de las áreas mediterráneas y, más concretamente, en los paisajes agrícolas del interior peninsular. Más aún, se carece de la información básica necesaria para establecer el estado actual de

conservación de los suelos y con ello estimar y zonificar los valores de pérdida de suelo que podrían ser considerados como máximos tolerables a lo largo del territorio (Schmidt, *et al.* 1982).

En este trabajo, se comparan las respuestas hidrológicas y erosivas de diferentes sistemas de manejo agrícola aplicados en parcelas experimentales de tipo USLE bajo condiciones de lluvia natural, así como en laderas agrícolas afectadas por un episodio aislado de elevada intensidad de lluvia. Se analiza el efecto de algunos factores clave que, en las condiciones agroambientales del área de estudio, determinan la intensidad de los procesos erosivos, como son el recubrimiento de la superficie del suelo y la orientación de la rugosidad superficial generada por los surcos de laboreo.

## MATERIAL Y MÉTODOS

El área de estudio se sitúa en la región central de la cuenca del Tajo, en la comarca de Torrijos (Toledo). El clima es de tipo mediterráneo continental semiárido (Oliver *et al.*, 1985) con una precipitación media anual en torno a 450 mm. El relieve es suavemente ondulado con pendientes medias generalmente inferiores al 15%. La litología se caracteriza por presentar materiales sedimentarios no consolidados de edad Mioceno, constituidos fundamentalmente por arcosas con frecuentes intercalaciones lutíticas. Los suelos dominantes son Luvisoles cálcicos (LVk), vérticos (LVv) o háplicos (LVh) (FAO, 1989) caracterizados por presentar un horizonte superficial *Ap* de tipo Ocrico de estructura débil y textura

**TABLA 1:** Propiedades físicas y químicas del suelo en el campo experimental.

Horizonte	Profundidad (cm)	Análisis textural			Textura	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	pH (H <sub>2</sub> O)	Reacción HCl	Carb. Org. (%)	Cond. Elect. (μS cm <sup>-1</sup> )
		Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)						
<i>Ap</i>	24	66.9	17.3	15.8	Franco arenosa	1.7	6.1	No	0.42	337
<i>Bt</i>	130	60.9	18.1	21	Franco arcillo arenoso	1.6	6.4	No	0.13	347
<i>BC</i>	160	55.1	21.8	23.1	Franco arcillo arenoso	1.5	6.8	No	0.08	369

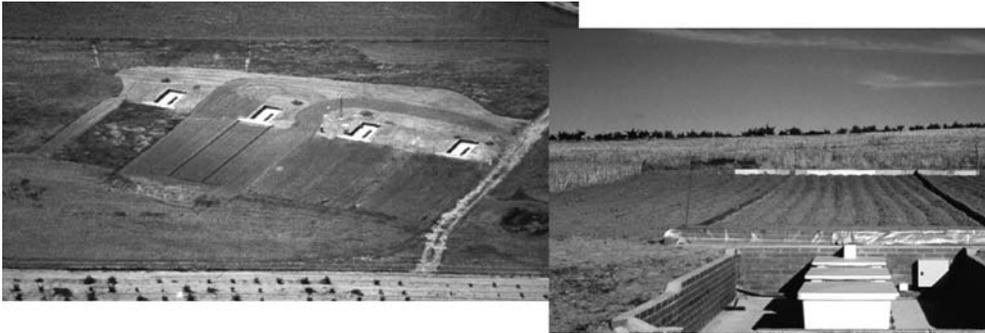


FIGURA 1: Instalaciones de las parcelas experimentales en la Finca La Higuera (CCMA-CSIC, Toledo).

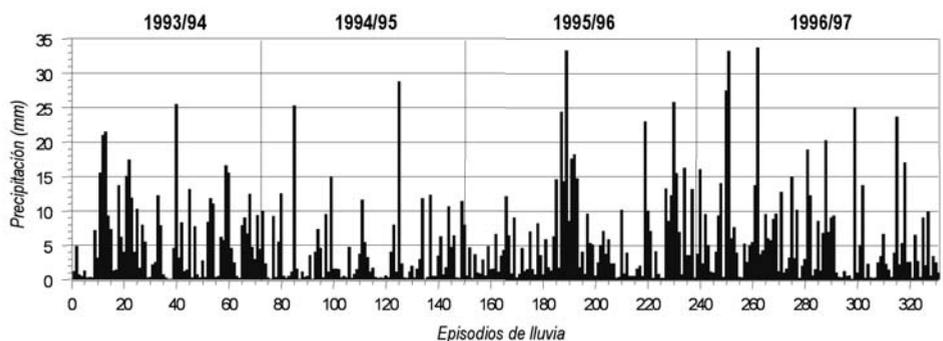
franco-arenosa y, y un horizonte subsuperficial *Bt* de tipo Argico de estructura fuertemente desarrollada y textura generalmente franco-arcillo-arenosa (Tabla 1).

#### **Parcelas experimentales para el control de la producción de escorrentía y sedimentos**

La cuantificación de las pérdidas de suelo por erosión en parcelas experimentales se realizó en las instalaciones de la Finca Experimental La Higuera (CCMA-CSIC), en Santa Olalla (Toledo). Las parcelas experimentales (Figura 1) corresponden por su tamaño y características al tipo de parcela USLE (Wischmeier y Smith, 1978), de una superficie total de 125 m<sup>2</sup>, 25 m a favor de la pendiente y 5 m de anchura, y una pendiente media del 9%. Una descripción detallada de las instalaciones y de la instrumentación utilizada para el registro automático de la producción de escorrentía y sedimentos se recoge en De Alba (1997). En las parcelas se estudió la repuesta hidrológica y erosiva de cuatro sistemas de manejo diferentes: a) Cultivos herbáceos mediante técnicas convencionales de laboreo; b) Cultivos herbáceos mediante prácticas de No-laboreo; c) Barbecho convencional (Barbecho blanco); y, d) Abandono y desarrollo espontáneo de la vegetación.

#### **Medición directa en campo de las pérdidas de suelo por reguerización y acarcavamiento durante episodios extremos de elevada intensidad de lluvia**

Se estudiaron los efectos erosivos de un episodio tormentoso ocurrido en la localidad de Rieves (situado a aproximadamente 20 km de distancia de las instalaciones de la finca La Higuera). La tormenta tuvo lugar en el mes agosto de 1995 y correspondió a un fenómeno atmosférico de tipo convectivo de desarrollo vertical, en el que se registró una precipitación total de 70 mm en 45 minutos. Para cuantificar las pérdidas de suelo, se seleccionaron cuatro laderas de control en las que se observó la presencia de sistemas de regueros y cárcavas efímeras formados durante la tormenta. En estas laderas, las pérdidas de suelo fueron calculadas mediante técnicas volumétricas para la cubrición de los volúmenes ocupados por los regueros y cárcavas (volúmenes equivalentes a los de suelo desplazado). En cada ladera se realizó una cartografía detallada de las redes de canales y mediciones en campo de las secciones y longitudes de los distintos tramos de los canales. Una descripción detallada de los métodos aplicados de campo y para el cálculo volumétrico de las pérdidas de suelo puede verse en De Alba (1997). En todos los casos, se tomaron muestras de suelo con objeto de determinar su densidad



**FIGURA 2:** Precipitación acumulada (mm) de los episodios de lluvia registrados durante las campañas agrícolas 1993/94 a 1996/97.

aparente y con ella transformar los volúmenes calculados de suelo evacuado a unidades de peso. Por último las tasas de pérdida de suelo por unidad de superficie ( $t\ ha^{-1}$ ) se calcularon en relación con la superficie total de la ladera drenada por cada uno de los sistemas de regueros.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Parcelas experimentales

El periodo de experimentación cubrió cuatro campañas agrícolas entre los años 1993/94 y 1996/97). La precipitación anual media fue de 460 mm, con valores anuales comprendidos entre 275 y 573 mm. En este periodo se contabilizaron un número total de episodios de lluvia próximo a 325 eventos. En general se trató de episodios de moderada a baja intensidad de lluvia y con precipitaciones acumuladas en 24 h ( $P_{24}$ ) siempre inferiores a 35 mm y tan sólo en tres ocasiones mayores de 30 mm (Figura 2).

En la Figura 3 se presenta la variabilidad estacional de la erosividad de la lluvia, como valores medios mensuales del índice de erosividad  $R$  (Wischmeier y Smith, 1978). El índice  $R$  fue calculado mediante el análisis de 283 pluviogramas correspondientes a las cuatro campañas agrícolas entre 1993/94 y 1996/97 (De Alba, 1998). Se observa que casi el 50% de la erosividad

de la lluvia corresponde a las precipitaciones invernales que tienen lugar en los meses de septiembre a enero. Un segundo máximo, con un 34% del índice  $R$  total anual, corresponde a las precipitaciones de primavera entre los meses de abril y mayo.

En las parcelas cultivadas, el tipo de manejo determina la variabilidad estacional del recubrimiento del suelo y por tanto la variabilidad del grado de protección del suelo frente a la erosividad de la lluvia (Figura 3). Para los dos sistemas de manejo, Laboreo convencional y No-laboreo, el recubrimiento del suelo muestra una elevada variabilidad en función del cultivo realizado de girasol o cebada, así como una acusada variabilidad estacional. La Figura 3 muestra claramente que el No-laboreo da lugar a una protección del suelo significativamente mayor que el Laboreo convencional, debido a que con el primero permanece sobre la superficie del suelo la práctica totalidad de los rastrojos del cultivo anterior. El Laboreo convencional resulta particularmente desfavorable en el caso del cultivo de girasol, dado que en los periodos en los que las precipitaciones desarrollan el máximo potencial erosivo, tanto en los meses de primavera de abril y mayo como de invierno de diciembre y enero, la superficie del suelo permanece completamente desnuda. Para el cultivo de cebada, las diferencias entre manejos tam-

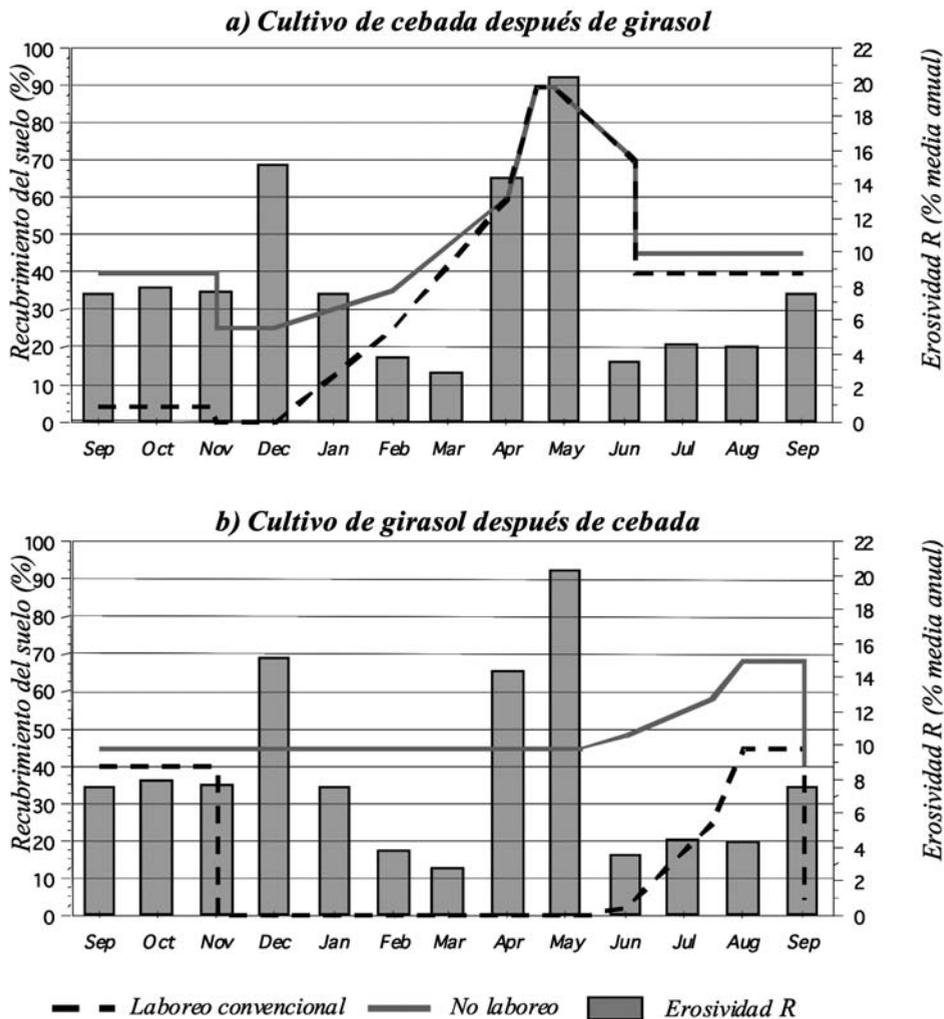


FIGURA 3: Variabilidad estacional del recubrimiento del suelo (%) como resultado de dos alternativas de sistemas de manejo: Laboreo Convencional y No-Laboreo; para la rotación de cultivos cebada-girasol. El recubrimiento del suelo se compara con la variabilidad estacional de la erosividad de la lluvia (Factor R de la USLE, % del total anual).

bién son importantes en los meses de septiembre a marzo. Cabe destacar que en el caso del No-laboreo, el recubrimiento es aún superior al representado en la Figura 3 debido a la acumulación adicional sobre la superficie del suelo de los restos de las malas hierbas eliminadas mediante el uso de herbicidas. Por otro lado, el Barbecho convencional representa el caso extremo en el que el

suelo se mantiene desprotegido durante toda la campaña agrícola.

Para el periodo de experimentación, los coeficientes de escorrentía ( $C_e$ ) anuales medios fueron máximos para las parcelas manejadas mediante técnicas convencionales de laboreo, siendo del 11% para la parcela cultivada mediante prácticas de Laboreo convencional y del 9% para la par-

**TABLA 2:** Resumen de las características de manejo aplicado en los campos estudiados y afectados por procesos de reguerización y acaravamiento.

<i>Características el manejo</i>		
<i>Campo</i>	<i>Prácticsa de laboreo</i>	<i>Orientación de los surcos de laboreo</i>
<i>L1-R2</i>	<i>Subsolador + Vertedera</i>	<i>Dirección paralela a la dirección de máxima pendiente</i>
<i>L2-R1</i>	<i>Subsolador + Vertedera</i>	<i>En contorno, dirección paralela a las curvas de nivel</i>
<i>Rs1</i>	<i>Vertedera + cultivador</i>	<i>Dirección paralela a la dirección de máxima pendiente</i>
<i>Rs2</i>	<i>Vertedera + cultivador</i>	<i>Dirección oblicua a la de máxima pendiente</i>

**TABLA 3:** Características morfológicas de los campos afectados por procesos de reguerización y acaravamiento.

<i>Campo</i>	<i>Pendiente</i>			<i>Desnivel max.</i> (m)	<i>Superficie total drenada</i> (m <sup>2</sup> )
	<i>Longitud max.</i> (m)	<i>Media</i> (%)	<i>Max</i> (%)		
<i>L1-R2</i>	136	8.3	17.6	11.3	3322
<i>L2-R1</i>	42	9.8	13.9	4.1	640
<i>Rs1</i>	51.7	17.0	21.4	8.8	564
<i>Rs2</i>	58	14.5	19.3	8.4	881

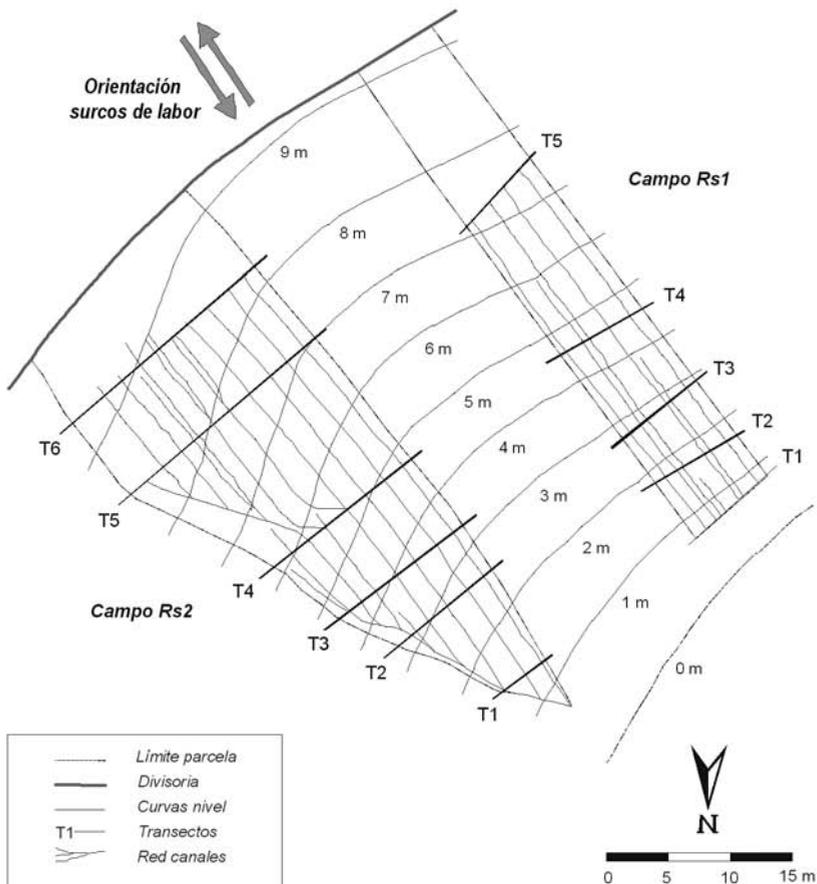
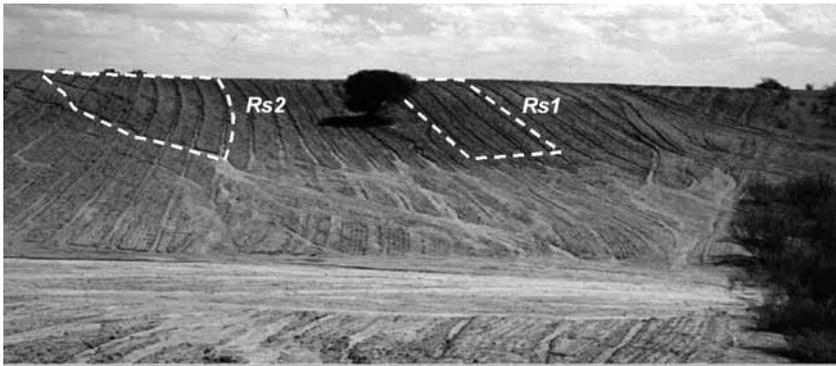
cela mantenida en Barbecho; mientras que en la parcela de No-laboreo el  $C_e$  anual medio se limito al 6%. En cuanto a las pérdidas de suelo, la tasa de erosión fue máxima en la parcela con Barbecho con  $7.3 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , seguida de las parcelas de Laboreo convencional con  $6.0 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  y de No-laboreo con  $3.6 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . En la parcela de Abandono el desarrollo de la vegetación espontánea recubrió más del 70% de la superficie a partir de apenas 18 meses, dando lugar a coeficientes de escorrentía y tasas de erosión prácticamente nulos.

#### **Efectos erosivos del episodio de elevada intensidad de lluvia**

Como efectos erosivos del episodio extremo se observaron abundantes rasgos indicadores de fuertes pérdidas de suelo tanto en las laderas como en los fondos de

pequeñas vaguadas y zonas de convergencia de la escorrentía superficial. En las laderas, la presencia de fenómenos de incisión lineal por reguerización y acaravamiento se mostró asociada principalmente a campos mantenidos en Barbecho y desprovistos de cubierta vegetal alguna. En el resto de laderas, principalmente con cubiertas de cultivos de girasol, rastrojeras de cereales o vegetación espontánea, los procesos fueron mucho más limitados y correspondieron a fenómenos de erosión difusa.

Se seleccionaron como parcelas de control, cuatro campos en Barbecho manejados mediante prácticas convencionales de laboreo (Tabla 2), en los que se observó la presencia de redes de canales de regueros y cárcavas efímeras (ej. Figura 4). Los campos presentaron longitudes máximas de entre 29 y 136 m y pendientes medias del 8 al 18% y



**FIGURA 4:** Formaciones de regueros en una ladera agrícola en condiciones de Barbecho convencional (Barbecho blanco). La orientación de los surcos de labor es paralela a la dirección de la máxima pendiente en el campo Rs1 y según una dirección oblicua a la de máxima pendiente en el campo Rs2 (Rielves, Toledo).

TABLA 4: Propiedades físicas y químicas del suelo en los campos estudiados.

Campo	Horizontes del suelo	Análisis textural			Textura	Densidad (g /cm <sup>3</sup> )	pH (H <sub>2</sub> O)	Reacción con HCl	Carb. Org. (%)	Cond. Elec. (µS cm <sup>-1</sup> )
		Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)						
L1-R2; L2-R1	Ap	58.2	29	12.8	Franco arenosa	1.33	7.8	No	0.19	258
	Btk	69.2	10	20.8	Franco arcillo arenosa	1.53	7.9	Fuerte	0.27	173
Rs1; Rs2	Ap (Bt ploughed)	68	8.6	23.4	Franco arcillo arenosa	1.4	7.8	No	0.23	191

TABLA 5: Tasas de erosión estimadas mediante métodos volumétricos.

Campos	Tasa de pérdida de suelo		Rebajamiento medio
	(t)	(t /ha)	(mm /ha)
L1-R2	74.3	224.2	-16.8
L2-R1	48.3	754.8	-56.8
Rs1	6.7	119.0	-8.5
Rs2	27.0	306.6	-21.9

máximas de entre el 14 y 20% (Tabla 3). En cuanto a la extensión de las parcelas, desde la divisoria de aguas hasta la base de la ladera, presentaron superficies totales comprendidas entre 560 y 3320 m<sup>2</sup>. La tabla 4 recoge un resumen de las propiedades físicas y químicas del suelo en los distintos campos estudiados.

Los resultados obtenidos a partir de la cubicación de los volúmenes ocupados por los canales de regueros indican pérdidas de suelo comprendidas entre 5 y 56 m<sup>3</sup> en las distintas parcelas. Por parcelas, las tasas de erosión variaron entre 755 y 119 t ha<sup>-1</sup> (Tabla 5), que expresadas como valores medios equivalentes de rebajamiento de la superficie del suelo se sitúan entre 56.8 y 7.7 mm respectivamente. Para el conjunto de parcelas la tasa media de pérdida de suelo resultó ser extraordinariamente elevada e igual a 351.2 t ha<sup>-1</sup>.

Es importante destacar que estas tasas de erosión tan sólo representan una estimación parcial de las pérdidas de suelo ocurridas durante la tormenta, ya que los métodos

de campo utilizados no permitieron cuantificar las pérdidas ocasionadas por procesos de erosión difusa o arroyada superficial. En consecuencia, las tasas de erosión obtenidas deben ser consideradas como valores mínimos de pérdida de suelo, siempre inferiores a las tasas reales.

Si se considera el periodo de retorno de 9 años calculado para episodios de lluvia similares en el área de estudio (De Alba *et al.*, 1998), se obtiene una tasa anual media equivalente de 39 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (Tabla 6). Adicionalmente, los resultados pusieron de manifiesto que la orientación de la rugosidad superficial (i.e., orientación de los surcos de labor) es un factor clave que condiciona los patrones espaciales de concentración de escorrentía superficial y por tanto la capacidad erosiva de la escorrentía. Los valores máximos de pérdida de suelo correspondieron al campo labrado siguiendo una orientación paralela a las curvas de nivel (laboreo en contorno o laboreo a nivel). La tasa de erosión fue intermedia en el campo labrado siguiendo una dirección oblicua respecto a la

TABLA 6.- Importancia relativa de los efectos erosivos de los episodios de lluvia de moderada y baja intensidad frente a los de episodios extremos.

	Tasa anual de erosión		Rebajamiento equivalente de la superficie del suelo
Tasa total de erosión	46.3 t ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>		3.1 mm año <sup>-1</sup>
Episodios extremos <sup>1</sup>	39.0 t ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	84.2%	2.6 mm año <sup>-1</sup>
Episodios de moderada y baja intensidad de lluvia <sup>2</sup>	7.3 t ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	15.8%	0.5 mm año <sup>-1</sup>

<sup>1</sup> Tasa anual media equivalente considerando el periodo de retorno de 9 años para el episodio de elevada intensidad registrado en Rielves (1995).

<sup>2</sup> Tasa de erosión media registrada en la parcela de Barbecho blanco durante el periodo 1993/94-96/97 en la Finca Experimental La Higuera.

de la máxima pendiente y, en último lugar, las parcelas con los surcos paralelos a la dirección de la máxima pendiente presentaron los valores más reducidos de pérdida de suelo. Los resultados sugieren la existencia de un valor umbral máximo de intensidad de lluvia a partir del cual el laboreo siguiendo una dirección paralela a la de las curvas de nivel puede no ser una buena práctica de conservación, sino que por el contrario incrementar de manera muy significativa las pérdidas de suelo (De Alba, 1998; De Alba y Benito, 2002). Esta última conclusión puede resultar inesperada dado que el laboreo a nivel tiende a ser considerado como una práctica de conservación de aplicación universal para reducir la erosión hídrica. Sin embargo, los resultados y conclusiones obtenidos están en consonancia con diversos antecedentes recogidos en la literatura. Destacan entre otros los trabajos de Smith *et al.* (1945), Wischmeier y Smith (1978) y Foster *et al.* (1997), en los que se indica que el laboreo a nivel aplicado por sí sólo a menudo resulta ineficaz para el control de la erosión hídrica. En España, destaca la publicación de 1957 del Servicio de Conservación de Suelos del Ministerio de Agricultura (SCS, 1957) en la que se indica

que el cultivo a nivel no es aconsejable en el caso de suelos arcillosos o que presentan horizontes subsuperficiales de permeabilidad reducida y en zonas sujetas a lluvias intensas. López Cadenas (1998) indica que las prácticas culturales a nivel tan sólo son eficaces en terrenos con pendientes inferiores al 12% y cuando la pluviometría es de relativamente baja intensidad y volumen.

## CONCLUSIONES

Los sistemas de manejo agrícola con prácticas convencionales de laboreo dan lugar a tasas de erosión muy superiores a los valores que deberían ser considerados como máximos tolerables en el área de estudio, que en el caso más favorable de edafogénesis nunca deberían superar tasas anuales de 11.2 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (De Alba, 1998). Los resultados obtenidos indican que para las condiciones experimentales, el modelo de manejo de No-laboreo reduce de forma muy significativa tanto las pérdidas de suelo por erosión hídrica como de agua por escorrentía superficial respecto al Laboreo convencional. De tal modo que en las parcelas experimentales las tasas de erosión se redujeron en torno al 30% ( $C_e = 9\%$  frente a  $C_e = 6\%$ ) el coeficien-

te de escorrentía y en aproximadamente un 40% la tasa de erosión (6 frente a 3.6 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>). En cuanto al modelo de abandono, las pérdidas de suelo y de agua por escorrentía pasaron a ser no significativas como resultado del rápido desarrollo de una cubierta vegetal espontánea.

El caso extremo de manejo desfavorable correspondió al Barbecho convencional. Si se contabilizan conjuntamente las pérdidas de suelo medias anuales registradas en la parcela experimental (7.3 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) y las tasas anuales equivalentes producidas durante episodios de lluvia de elevada intensidad (39.0 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>), se obtiene una tasa de erosión anual media de 46.3 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, que corresponde a rebajamientos de la superficie el suelo de entre 3.1 y 3.6 mm año<sup>-1</sup> (para densidades aparentes del suelo de 1.5 y 1.3 gr cm<sup>-3</sup> respectivamente). Se pone de manifiesto la predominancia de los efectos erosivos de los episodios de extremos de elevada intensidad de lluvia frente a los efectos acumulados de episodios de moderada y baja intensidad pero mayor frecuencia. De acuerdo con las tasas de erosión obtenidas, los episodios de elevada intensidad serían los responsables de más del 84% de las pérdidas de suelo anuales medias.

El conjunto de resultados revelan la necesidad de validar y evaluar la eficacia de las distintas prácticas de conservación para combatir la erosión hídrica, a las condiciones ambientales específicas del territorio donde van a ser aplicadas. Los resultados indican el papel predominante que desempeña tanto el recubrimiento de la superficie del suelo como la orientación de la rugosidad superficial generada por los surcos de laboreo, para determinar la respuesta erosiva de los campos. Este es el caso del laboreo siguiendo una dirección paralela a la de las curvas de nivel, que a pesar de ser considerado como una práctica universal de conservación. Los resultados obtenidos en Castilla-La Mancha revelan que esta prácti-

ca puede intensificar muy significativamente las pérdidas de suelo durante episodios de elevada intensidad de lluvia.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores quisieran expresar su agradecimiento al personal de la Finca Experimental La-Higueruela (CCMA, CSIC), por su colaboración en el mantenimiento y seguimiento de las parcelas experimentales. La realización de este trabajo ha sido posible gracias a la financiación de un contrato de investigación del Programa Ramón y Cajal (MCyT), la Junta de CC. de Castilla-La Mancha y del Ministerio de Medio Ambiente en el marco de la RESEL.

## REFERENCIAS

- De Alba, S. (1997). Metodologías para el estudio de la erosión en parcelas experimentales: relaciones erosión-desertificación a escala de detalle. En J. Ibáñez, B.L. Valero Garcés y C. Machado (Eds.). *El paisaje mediterráneo a través del espacio y del tiempo. Implicaciones en la desertificación*. CCMA-CSIC, Geoforma Ediciones. Logroño, pp. 259-293.
- De Alba, S. (1998). *Procesos de degradación del suelo por erosión en sistemas agrícolas de ambiente mediterráneo en el centro de España*. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Madrid, pp. 590.
- De Alba, S., Benito, G., Pérez-González, A. (1998). Erosión de 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 y F. Salvador Franch, (Eds) *Investigaciones recientes de la Geomorfología española*. Sociedad Española de Geomorfología, pp. 483-492.

- De Alba, S. y Benito, G. (2002). Effects of soil surface management on erosion during extreme rainfall events in semiarid agricultural lands (Central Spain). En: Abstracts symposium, The Significance of Soil Surface Characteristics in Soil Erosion. *UE-COST 623 Soil Erosion and Global Change*. Strasbourg.
- FAO. 1989. *Leyenda del mapa mundial de suelos de la FAO-UNESCO* (Versión en castellano de: FAO, 1988. FAO-UNESCO Soil Map of the World: Revised Legend. FAO World Soil Resources Reports No. 60, pp. 119, Rome). Soc. Esp. Ciencia del Suelo. Santiago de Compostela, pp. 201.
- Foster, G.R., Weesies, G.A., Renard, K.G., Poder, D.C., McCool, D.K., Porter, J.P. (1997). Support practice factor (P). En *Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the revised universal soil loss Equation (RUSLE)*. Cap. 6, 183-251.
- López Cadenas, F. (1998). *Restauración hidrológico forestal de las cuencas y control de la erosión*. TRAGSA, TRAGSATEC, Ministerio de Medio Ambiente, Ed. Mundi-Prensa. Madrid, pp. 945.
- MOPT (1992). *Medio Ambiente en España 1991*. MOPT, Madrid.
- Oliver Moscardó, S., González Ponce, R. y Lacasta Dutoit, C. 1985. Caracterización climática de la Finca Experimental La Higuera. En: A. Blanco de Pablos (Ed.). *Avances sobre la investigación en Bioclimatología*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. pp. 87-95.
- Schmidt, B.L., Allmaras, R.R., Mannering, J.V., Papendick, R.I. (1982). *Determinants of soil loss tolerance*. Am. Soc. of Agronomy - Soil Sci. Soc. of Am. Madison, pp. 153.
- SCS (1957). *La práctica de conservación de suelo*. Servicio de Conservación de Suelos, Ministerio de Agricultura. Madrid, pp. 127.
- Smith, D.D., Whitt, D.M., Zingg, A.W. (1945). *Investigation in erosion control and reclamation of eroded Shelby and related soils at the Conservation Experiment Station, Missouri 1932-42*. USDA Tech.Bull. 883.
- Wischmeier, W.H. y Smith, D.D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses*. Agriculture Handbook nº 537. United States Department of Agriculture. Washington.