

EVOLUCIÓN DEL COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA EN CAMPOS AGRÍCOLAS DEL CENTRO DE ESPAÑA CON DIFERENTES USOS DEL SUELO

RAMÓN BIENES¹, JOAQUÍN GUERRERO-CAMPO^{1*}, JOSÉ ANTONIO AROCA¹, BEATRIZ GÓMEZ¹, JOSÉ MANUEL NICOLAU² Y TÍSCAR ESPIGARES²

RESUMEN

Este estudio pretende determinar la evolución de los coeficientes de escorrentía generados en campos agrícolas bajo cuatro usos del suelo: suelo desnudo mediante aplicaciones con herbicida, cultivo de cebada con mínimo laboreo, abandono del campo con desarrollo de la vegetación espontánea y abandono tras una siembra de leguminosas (pastizal). El ensayo se realizó mediante parcelas experimentales de erosión de 20 x 4 m, en cuatro áreas de suelos y climas distintos durante los años 1994 a 1997 (ambos inclusive).

En ninguna cubierta vegetal se encontró correlación significativa entre la tasa de escorrentía y la intensidad máxima en 30 minutos, o entre la tasa de escorrentía y la energía cinética del aguacero. Sin embargo, en todas las zonas analizadas y para todos los tipos de cobertura vegetal ensayados, se detectó correlación significativa entre la tasa de escorrentía y la pluviometría total registrada entre muestreos.

En las parcelas con suelo desnudo, los valores de los coeficientes de escorrentía anuales mostraron un espectacular aumento con el tiempo, llegándose a alcanzar valores finales de hasta 12 veces el valor inicial. Ello se debió a la formación de costra de splash en estas parcelas. En las parcelas dedicadas al cultivo de cebada, el coeficiente de escorrentía presentó los valores más bajos de los cuatro tratamientos, pero una tendencia muy ligera a aumentar, debida posiblemente al sistema de mínimo laboreo que se empleó. Por el contrario, las parcelas abandonadas con vegetación espontánea así como las de pastizal, presentan según los casos una disminución o estancamiento de los valores del coeficiente de escorrentía. Hay que resaltar que tanto el cultivo de cebada como las parcelas de vegetación espontánea y pastizal presentaron unos valores bastante bajos del coeficiente de escorrentía (en casi todos los casos menor del 1%), teniendo estos tres tratamientos un parecido y buen comportamiento hidrológico. Los valores del número de curva estimados experimentalmente estuvieron comprendidos entre 50 y 76, siendo menores a los propuestos por otros autores para estas condiciones.

Palabras clave: control de la erosión, parcelas experimentales, escorrentías, tierras abandonadas, campos agrícolas, número de curva, mínimo laboreo.

¹ Instituto Madrileño de Investigación Agraria y Alimentaria (IMIA). Apdo 127. 28800 Alcalá de Henares (Madrid). E-mail: ramon.bienes@encin.alcala.es

² Departamento Interuniversitario de Ecología. Universidad de Alcalá de Henares 28871 Alcalá de Henares (Madrid).

* Dirección Actual: Dirección General del Medio Natural. Diputación General de Aragón. Paseo M.º Agustín, 36. 50071 Zaragoza.

SUMMARY

The aim of this study is to quantify the water runoff through agricultural lands with different cover as well as the runoff coefficient evolution during the period 1994-97. Runoff was measured in erosion plots (20 x 4 m) with different land uses, namely bare soil, minimum-tilled barley crop, abandonment with development of spontaneous vegetation and leguminous seeding before desertion. These trials were carried out in four climatically and edaphically contrasted areas located in the centre of Spain.

There were not significant correlations between runoff and maximum rainfall intensity (in 30 minutes) or between runoff and kinetic energy of the rain. However, correlations between runoff and total water rainfall were significant in almost all the areas and land uses. Annual runoff coefficient increased through the time in the bare soil plots, the increase being spectacular in some cases (up to 12 times the initial value). In the barley plots the runoff coefficient shown the least values but a light increase, because the minimum tillage. In contrast with the above results, the runoff coefficient in natural vegetation and pasture plots appeared constant or tends to decrease through the time, but the runoff coefficient in these land uses are quite low and similar to the barley crop plots. The curve number values experimentally estimated in this study were comprised between 50 and 76, and these values were lesser than those other authors have proposed in similar conditions, so measured runoff rates were lesser than we were expected.

Key words: erosion control, experimental plots, runoff, abandoned lands, curve number.

INTRODUCCIÓN

La erosión hídrica es un problema con grandes repercusiones y perjuicios económicos, sociales y ambientales, conllevando entre otros un empobrecimiento del valor agrícola, ganadero y forestal de los suelos (HUDSON 1982; LÓPEZ-BERMÚDEZ & ALBADALEJO 1990). En muchas ocasiones, las elevadas tasas de erosión son debidas a la alta tasa de escorrentía y baja infiltración producida en determinados terrenos. Esta incapacidad de los suelos para captar el agua de lluvia se relaciona generalmente con una elevada compactación del suelo debido, entre otras causas, a la escasez de materia orgánica y de estructura en el horizonte superficial (CALLEBAUT *et al.* 1985). Además, la elevada escorrentía produce un aumento de los procesos erosivos de flujo concentrado, como erosión por regueros, acarcavamientos y otros procesos ligados a la acción erosiva de los ríos y corrientes de agua, conllevando un incremento paulatino de los problemas erosivos ladera abajo.

En áreas cultivadas, el tipo de prácticas agrícolas realizado (forma y tipo de laboreo, especies cultivadas, etc.) ejerce una gran influencia en la conservación del suelo y el agua. Debido a ello se han estudiado, entre otras cosas, los efectos de labo-

reos de conservación y mínimos laboreos para la disminución de las tasas erosivas y la escorrentía (STURGUL 1990; YOO & ROCHESTER 1989). En España, no se conoce con detalle la escorrentía en campos agrícolas con cultivos tradicionales como la cebada, especialmente si se realiza mediante laboreos de conservación. No obstante, los estudios sobre escorrentía y erosión, especialmente en áreas no agrícolas, han adquirido un interés especial, de modo que se han estudiado las tasas que se producen ante diferentes usos del suelo (ALMOROX *et al.* 1994; SALA *et al.* 1991). Uno de los aspectos más abordados en nuestro país ha sido el estudio de las consecuencias hidro-geomorfológicas del abandono de las explotaciones agrarias tradicionales (GARCÍA-RUIZ & LASANTA 1994; LASANTA & GARCÍA-RUIZ 1996). En la segunda mitad del siglo XX, buena parte de la superficie agraria se ha abandonado debido a los cambios y transformaciones socioeconómicas, unido a la Política Agraria Comunitaria que, a partir de 1988 favorece la retirada de tierras de cultivo, con la doble finalidad de reducir los excedentes de producción de alimentos y mejorar las características de algunos suelos y el funcionamiento hidrológico.

Como consecuencia de estos cambios de uso del suelo, en general se ha comprobado que la progresiva

colonización de los campos abandonados ha producido una disminución de la escorrentía y la erosión respecto a la situación anterior cultivada. De este modo, cuando el matorral y el bosque colonizan dichos campos se produce una considerable disminución de la escorrentía total, tal como ha sido comprobado en algunas cuencas de Cataluña (LORENS 1991). Sin embargo, si por cualquier causa la vegetación no es capaz de desarrollarse suficientemente, el abandono puede provocar un aumento de la escorrentía y la erosión (GARCÍA-RUIZ *et al.* 1991; LASANTA *et al.* 1994). Así, en algunos ambientes del Pirineo se ha visto que la evolución puede ser muy diversa, hacia la progresiva erosión o bien edafización, dependiendo de los usos del suelo posteriores al abandono, especialmente el fuego (RUIZ FLAÑO 1993). En áreas más áridas, el abandono suele ser más problemático y es frecuente una evolución de los campos poco deseable. Por ejemplo, en Levante se ha comprobado que, bajo suelos muy desestructurados, el abandono produce una creciente erosión subsuperficial (LÓPEZ-BERMÚDEZ & TORCAL 1996).

Uno de los métodos más utilizados para modelizar la escorrentía en función de la precipitación total es el del número de curva. Conocidas las precipitaciones, pueden calcularse las escorrentías asignando a cada área un número de curva diferente según el tipo de suelo, cubierta vegetal, usos del suelo y condiciones previas de humedad del suelo (LÓPEZ CADENAS *et al.* 1994). Dicho número de curva se asigna siguiendo las tablas publicadas por diversos autores, que indican valores de números de curva para múltiples condiciones ambientales y de manejo (PONCE 1989). No obstante, se recomienda que antes de realizar predicciones, este modelo sea calibrado a las condiciones locales mediante estudios concretos. En la Península Ibérica se han realizado pocos estudios dirigidos a este fin y, menos aún, tratando de estimar los números de curva en áreas agrícolas bajo distintos usos del suelo. De este modo, consideramos de interés aportar números de curva provenientes de experimentación directa y para diversas condiciones ambientales poco estudiadas.

Bajo esta óptica, durante los años 1994 al 1997 se llevó a cabo un proyecto de investigación en el que, entre otros objetivos, se pretendía cono-

cer la evolución hidro y geomorfológica de campos agrícolas bajo diferentes usos del suelo: mantenimiento de suelo desnudo mediante aplicación de herbicida, cultivo de cebada con mínimo laboreo, vegetación espontánea y pastizal. En este artículo se pretende conocer cómo afectan estos diferentes usos del suelo al coeficiente de escorrentía, investigando la evolución de la escorrentía con el tiempo en diversos ambientes de la zona centro peninsular.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

Para realizar el estudio se establecieron cuatro parcelas tipo USLE de 4 x 20 m en cada una de las siguientes localidades: Finca experimental El Encín (Alcalá de Henares, Madrid) del Instituto Madrileño de Investigación Agraria y Alimentaria (IMIA); Centros de Capacitación y Experimentación Agraria de Marchamalo (Guadalajara) y Albaladejito (Cuenca), y Centro Agropecuario del Instituto Tecnológico de Desarrollo Agrario (ITDA) en Aranjuez (Madrid).

Del estudio del observatorio de Alcalá de Henares (La Canaleja), se deduce que el clima es mediterráneo templado (ELÍAS & RUIZ 1977). Las precipitaciones máximas en 24 horas calculadas para las diferentes localidades de estudio, y para un período de recurrencia de 2 años en todos los casos (ELÍAS & RUIZ 1979), arrojan los siguientes valores: 33,6 mm en Alcalá de Henares, 38 mm en la Finca El Encín y 35,4 mm en La Canaleja; 31,4 mm en Aranjuez; 53 mm en Cuenca (El Cuervo) y 54,3 mm en Cuenca (Tejadillos).

Para conocer los eventos climáticos concretos del periodo estudiado, cada campo experimental con las cuatro parcelas dispuso de una estación meteorológica automática con registro de lecturas cada 12 minutos que, mediante el empleo de sensores, midió la pluviometría, velocidad del aire, temperatura del aire, humedad relativa y radiación solar. Estas estaciones están en funcionamiento desde el año 1993. Desde febrero de 1994 hasta el final de 1997 se recogieron las escorrentías y los sedimentos arrastrados en las parcelas experimentales.

En todos los casos, las parcelas se ubicaron en terrenos agrícolas que fueron abandonados y que presentaban pendientes muy uniformes. La pendiente de cada una de las parcelas experimentales se determinó mediante un levantamiento topográfico con una equidistancia entre curvas de nivel de 10 cm. Las pendientes de las parcelas experimentales se indican en la tabla 1 junto con la localización.

Las características concretas de los suelos estudiados son las siguientes:

Las parcelas de Albaladejito (Cuenca) se hallan situadas sobre un suelo truncado en el que el laboreo continuado ha destruido parcialmente la estructura originaria, impidiendo observar en campo evidencias de iluviación de arcilla. El estudio mineralógico de las arenas confirmó que el perfil del suelo está desarrollado sobre un material mioceno (marga) que presenta un gran dominio en toda la comarca, lo que hace que se trate de un suelo muy representativo. Según la *Soil Taxonomy* el perfil lo clasificamos como un *Haploxeralf cálcico*. Representa a los suelos de campiña de topografía ondulada que caracterizan al centro de la provincia de Cuenca, siendo múltiples los ejemplos que de este tipo de suelo pueden observarse a lo largo de la carretera que va desde Tarancón hasta Cuenca, y cuyo aprovechamiento típico es cereal (trigo o cebada) y girasol. Se trata de un suelo muy frecuente en la denominada España caliza. Los tipos de suelo y algunas características edáficas se indican en la tabla 1.

Las parcelas de Aranjuez (Madrid) se hallan situadas sobre margas yesíferas tan frecuentes al sur y sureste de Madrid, las cuales presentan una continuidad en la provincia de Toledo. Según la *Soil Taxonomy* el perfil lo clasificamos como un *Gipsorthid cámbico*. Fisiográficamente se trata de una campiña ondulada con grandes cambios de pendiente en donde los únicos cultivos son cebada, vid y, en menor medida, almendros, con rendimientos muy bajos que apenas hacen rentable su cultivo por ser un suelo agrícola de mala calidad. Presenta serios problemas de drenaje interno que se agudizan en las vaguadas y zonas más deprimidas. Se trata de un suelo desarrollado sobre una marga yesífera, como lo confirmó la mineralogía de las arenas realizada, y que presenta un horizonte de acumulación de yeso vermiforme.

En el caso de El Encín (Madrid), las parcelas experimentales están situadas en una ladera de escasa pendiente, sobre materiales miocenos aflorantes en el salto entre la terraza media y alta del Henares. Este suelo ha sido clasificado, según *Soil Taxonomy*, como *Calcixerollic Xerochrept*. Dada su amplia distribución, puede considerarse como uno de los suelos más frecuentes en las comunidades de Castilla-La Mancha, Levante, Aragón y Andalucía. Se trata de un suelo típicamente cerealista y vitivinícola, y en menor medida dedicado al girasol. Este suelo presenta una evolución moderada, con desarrollo de un horizonte B que presenta una débil estructura edáfica.

TABLA 1
LOCALIDADES ESTUDIADAS Y SUS TIPOS DE SUELO. PEDREGOSIDAD, CLASE TEXTURAL, PH
Y MATERIA ORGÁNICA SE REFIEREN AL HORIZONTE A.

[STUDY AREAS AND THEIR SOIL TYPES. ROUGHNESS, TEXTURE, PH AND ORGANIC MATTER REFERED TO A HORIZON.]

Localidad	Albaladejito (Cuenca)	Marchamalo (Guadalajara)	El Encín (Madrid)	Aranjuez (Madrid)
Latitud	40° 04' 32" N	40° 41' 0" N	40° 31' 27" N	40° 04' 45" N
Longitud	2° 11' 45" O	3° 12' 26" O	3° 19' 13" O	3° 31' 30" O
Pendiente	8,9%	12,3%	6%	10%
Pedregosidad	< 1%	25%	17%	0
Clase textural (ISSS)	Franco - arenosa	Arcillosa	Franco - arcillosa	Arcillosa
pH	7.4	7.5	8.2	7.4
Mat. Orgánica	0,6%	1,1%	1,1%	1,8%
Horizontes de diagnóstico presentes	Ochrico; Argílico y Cálcico	Ochrico y Argílico	Ochrico; Cámbico y Cálcico	Ochrico y Gypsico

Por último, las parcelas experimentales de Marchamalo (Guadalajara) representan a los suelos de campiña desarrollados sobre terrazas altas parcialmente desmanteladas por la erosión. Encontramos esta unidad fisiográfica ampliamente repartida por todos los valles de los ríos (e incluso arroyos en ocasiones) situados al oeste de Guadalajara y este de Madrid (Henares, Jarama, Torote, Camarmilla, Arroyo de Meco, ...). Estos suelos los encontramos dedicados al cultivo de la cebada, olivo y garbanzos. Las parcelas están ubicadas sobre una ladera de un pequeño cerro constituido por arcosas y fangos arcósicos correspondientes al Terciario superior (Mioceno), sobre un suelo parcialmente truncado que presenta abundantes cantos de cuarcita rodada (40-45%) a partir de los 85 cm, así como una acumulación de carbonato cálcico recubriendo los cantos de cuarcita. Se trata de un suelo muy bien estructurado, con síntomas muy acusados de iluviación de arcilla en todo el perfil, a excepción del horizonte superficial. Según la *Soil Taxonomy* este perfil ha sido clasificado como *Rhodoxeralf típico*. Este tipo de suelo también lo encontramos en las subsidencias y dolinas del páramo pontiense que se extiende por todo el sureste de Madrid.

En todos los casos, el régimen de humedad es xérico y el térmico es méxico (LÁZARO *et al.* 1978).

La vegetación natural del entorno de las parcelas de Albaladejito está dominada por *Quercus ilex* subsp. *ballota*, *Q. coccifera*, *Q. faginea*, *Pinus pinaster* y *Juniperus oxycedrus*, acompañadas de diferentes especies de *Cistus*. En Aranjuez las especies dominantes son *Stipa tenacissima*, *Thymus* spp. y *Helianthemum squamatum*. Los cultivos dominan una gran superficie de las áreas estudiadas, especialmente en Marchamalo y El Encín, y los más importantes son la cebada, el almendro y la vid en Aranjuez, mientras que en Albaladejito abundan la cebada, la esparceta, el girasol y la vid. Los campos abandonados son ocupados durante los primeros años por una vegetación espontánea compuesta por un elevado número de especies, en él dominan principalmente las siguientes familias: cruciferae, gramineae, compositae y papaveraceae, siendo abundantes especialmente: *Diplotaxis eruroides*, *Papaver hybridum* y *Hordeum leporinum*.

En el Encín y Marchamalo la vegetación natural ha sido sustituida por los cultivos de secano.

Toma y análisis de datos

Las dimensiones de las parcelas tipo USLE (4 x 20 m²) se establecieron de forma que fuera aplicable la USLE (WISCHMEIER & SMITH 1978). Estas parcelas experimentales tienen en la parte de menor cota un canalón de recogida de sedimentos y agua de escorrentía, el cual está comunicado con un depósito de 360 l de capacidad. Este depósito lleva adosado un divisor de flujo con cinco salidas, de las cuales la central está conectada con un segundo depósito también de 360 l.

Los tratamientos que se han aplicado son: 1) suelo desnudo mediante la aplicación de herbicida, 2) cultivo de cebada en secano bajo un sistema de mínimo laboreo, 3) abandono del cultivo con la implantación de vegetación espontánea sin ninguna intervención y 4) abandono del cultivo tras una siembra de leguminosas, de modo que se favorezca su paso a pastizal. Estas leguminosas se eligieron por su capacidad de autosiembra y adecuación al suelo y clima de cada localidad (tabla 2). Se sembraron en marzo de 1994, pero al ser las condiciones climatológicas muy desfavorables (figura 1) se sembró de nuevo en octubre de 1994. Unos días antes de realizar ambas siembras se labró ligeramente la parcela. A finales de 1995 se hizo un refuerzo de leguminosas mediante una siembra a voleo sin labrar el terreno.

TABLA 2
ESPECIES DE LEGUMINOSAS INTRODUCIDAS
EN LAS PARCELAS DE PASTIZAL.
[PLANT SPECIES INTRODUCED IN THE
«LEGUMINOUS SOWING PLOTS».]

Localidad	Especies introducidas
Albaladejito	<i>Onobrychis hispanica</i>
Aranjuez	<i>Medicago sativa</i> var. <i>Ayna</i> <i>Astragalus cicer</i> <i>Hedysarum spinosissimum</i> <i>Hedysarum humile</i>
El Encín	<i>Medicago sativa</i> , var. <i>Ayna</i> <i>Astragalus cicer</i>
Marchamalo	<i>Medicago sativa</i> , var. <i>Ayna</i> <i>Astragalus cicer</i>

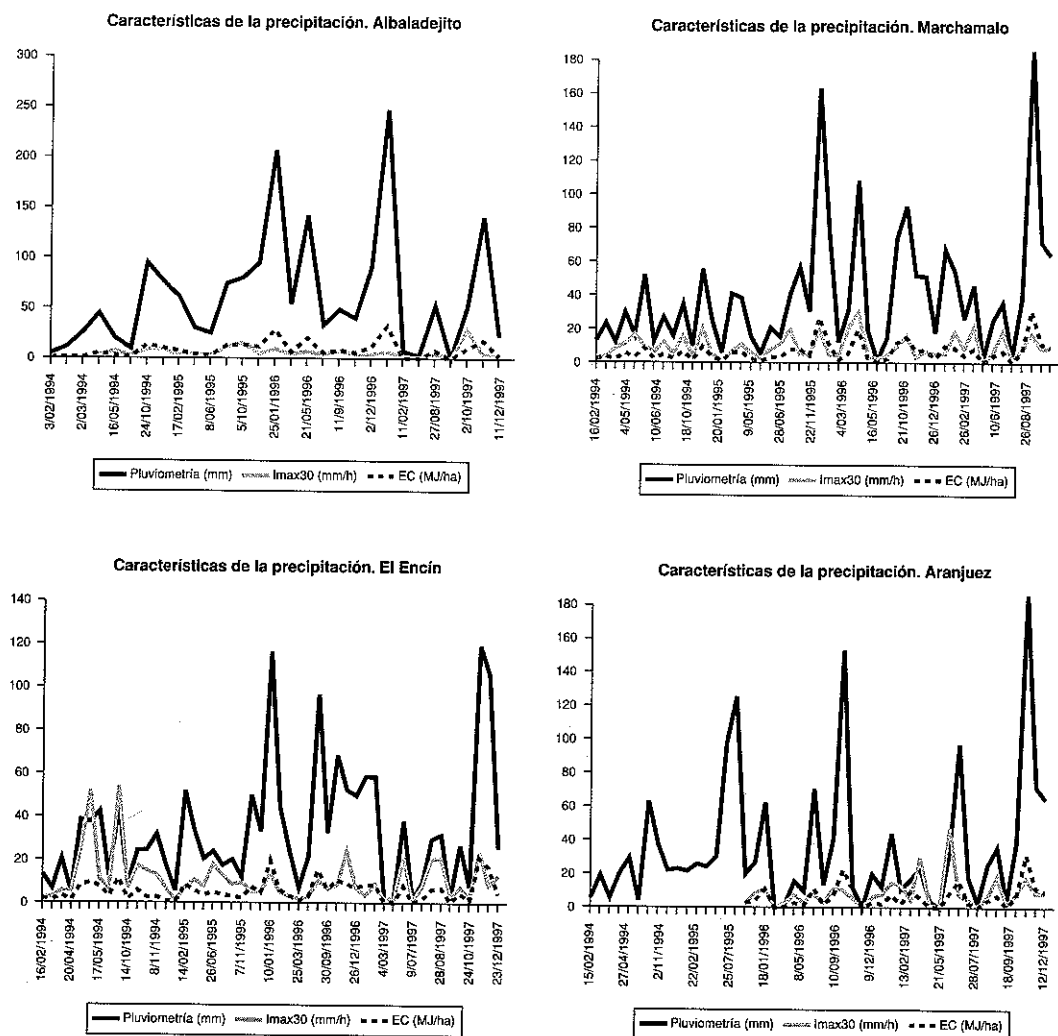


Fig. 1. Variaciones en la precipitación (pluviometría total, lmax. 30 minutos y energía cinética) durante los cuatro años de estudio y en las cuatro localidades muestreadas. [Rainfall characteristics (total rainfall, lmax. 30 minutes and kinetic energy) during the four studied years and in the four study areas.]

El «mínimo laboreo» empleado en las parcelas cultivadas de cebada, ha consistido únicamente en dos pases de cultivador (tipo *chisel*) poco antes de la siembra. Se pretende con ello comprobar la eficacia de este sistema en el control de la erosión. La labor se ha realizado a favor de la pendiente, pretendiendo con ello imitar la costumbre del agricultor, motivada bien por evitar el riesgo de vuelco del tractor o bien porque la estructura de la finca

(parcelas estrechas y largas) no permite hacerlo a favor de las curvas de nivel sin que ello implique un aumento de los costes de producción. Para realizar las siembras, que se llevaron a cabo de mitad de noviembre a mitad de diciembre (excepto en el año 1994 que se hubieron de retrasar hasta febrero de 1995), se abrieron surcos con un tractor que entraba marcha atrás en la parcela y tras clavar la reja salía de ella. Inmediatamente se sembraba a

mano en líneas y a chorrillo, esto es, colocando un chorrillo de semillas en cada surco. La recolección de la cebada, que se realizó todos los años entre finales de junio y mediados de julio, se llevó a cabo a mano y con el uso de la hoz.

A partir de los datos aportados por las estaciones meteorológicas, se determinaron las intensidades máximas en 30 minutos (I_{max30}) y las energías cinéticas (EC) para cada aguacero. Para las localidades de Marchamalo y El Encín, también se consideraron asimismo las intensidades punta registradas por las estaciones meteorológicas y que se corresponden a intervalos de 12 minutos (I_{max12}).

Los números de curva se estimaron siguiendo a RITTER y GARDNER (1991), aunque tomando $I_0 = 0,2S$, (ver LÓPEZ CADENAS 1994). En cada parcela y para cada uno de los eventos de lluvia superiores a 5 mm se calculó el valor del número de curva. La mediana de los valores se consideró como el número de curva para condiciones de suelo II, normales.

Los datos se analizaron empleando el coeficiente de correlación de Pearson, previa transformación loga-

rítmica en base 10 de las tasas de escorrentía, debido a la necesidad de cumplir los requisitos necesarios de normalidad y a que las relaciones entre variables eran de tipo exponencial. Para la comparación entre tratamientos se usó el test de Tukey en el análisis de varianza con medidas repetidas. Se empleó este análisis a fin de eliminar la variabilidad en el coeficiente de escorrentía que era debida a las diferencias entre cada evento lluvioso. Los análisis se realizaron con los programas SPSS 8 y Statística 6.

RESULTADOS

Se determinó el volumen e intensidad de la lluvia caída y las tasas de escorrentía que se generaron en cada una de las localidades estudiadas y bajo los usos del suelo citados. Los coeficientes de escorrentía (volumen de escorrentía / volumen de agua caída) se determinaron para cada evento, recogiendo cantidades apreciables de agua de escorrentía incluso para precipitaciones de tan sólo 10 mm. Como se observa en la tabla 3 y la

TABLA 3
CARACTERÍSTICAS MEDIAS DE LA LLUVIA Y LA ESCORRENTÍA EN LAS DIFERENTES ÁREAS ESTUDIADAS.
[RAINFALL AND RUNOFF CHARACTERISTICS IN THE FOUR STUDIED AREAS.]

	Suelo desnudo	Cebada	Veg. espontánea	Pastizal	Volumen (mm)	I30 (mm/h)	EC (MJ/ha)
ALBALADEJITO					Escorrentía (mm) (n = 28)		
					Lluvia (mm) (n = 28)		
Media (± DE)	2,28 (± 4,19)	0,19 (± 0,33)	0,29 (± 0,38)	0,42 (± 0,55)	63,8 (± 59,7)	5,8 (± 5,6)	8,64 (± 8,2)
Valor mínimo-máximo	0-21	0-1,3	0-1,89	0-2,4	0,4-247,6	0,4-28,6	0,003-8,2
MARCHAMALO					Escorrentía (mm) (n = 48)		
					Lluvia (mm) (n = 48)		
Media (± DE)	3,33 (± 6,64)	0,22 (± 0,25)	0,28 (± 0,34)	0,28 (± 0,36)	40,5 (± 37,3)	9,5 (± 6,6)	6,6 (± 6,23)
Mín-Max	0-29,2	0-1,17	0-1,77	0-1,71	1,4-186,4	0,8-30,4	0,27-31,69
EL ENCÍN					Escorrentía (mm) (n = 49)		
					Lluvia (mm) (n = 49)		
Media (± DE)	2,84 (± 4,67)	0,18 (± 0,48)	0,28 (± 0,31)	0,4 (± 1,16)	33,2 (± 28,3)	10,9 (± 10,8)	5,5 (± 4,8)
Mín-Max	0-27,01	0-3,4	0-1,12	0-8,32	1,8-119,4	0,8-53,8	0,24-21,1
ARANJUEZ					Escorrentía (mm) (n = 36)		
					Lluvia (n = 36, salvo I30 y EC con n = 20)		
Media (± DE)	3,83 (± 6,72)	0,52 (± 1,19)	0,47 (± 0,97)	1,18 (± 3,19)	34 (± 34,7)	10,3 (± 10)	6,09 (± 5,7)
Mín-Max	0-25,54	0-6,52	0-5,18	0-13,66	1,4-153,4	1,8-47,8	0,27-22,6

DE = Desviación estándar.
DE = Standard deviation.

TABLA 4

PRECIPITACIÓN TOTAL EN LOS DOS PRIMEROS AÑOS (SECOS) Y LOS DOS ÚLTIMOS (HÚMEDOS), DIFERENCIAS EN EL REPARTO DE LA PRECIPITACIÓN EN PRIMAVERA Y VERANO RESPECTO A OTOÑO E INVIERNO.

[TOTAL RAINFALL IN THE TWO FIRST STUDIED YEARS (DRIES) AND IN THE TWO LAST YEARS (MOIST), AND DIFFERENCES IN THE RAINFALL DURING SPRING-SUMMER RESPECT AUTUMN-WINTER.]

Período	Albaladejito	Marchamalo	El Encín	Aranjuez
1994/95	646	598	593	427
may-sep	158	274	290	360
oct-abr	487	324	303	292
1996/97	1.139	1.344	1.031	831
may-sep	276	269	270	191
oct-abr	862	1.074	761	640

figura 1, se obtuvieron valores muy dispares tanto en la lluvia caída como en la escorrentía generada, siendo la media de los eventos lluviosos entre 33 y 64 mm según la localidad. La escorrentía varió entre 0% y alrededor de 30% en algunos casos, lo cual era de esperar dadas las grandes diferencias que hay de un evento lluvioso a otro tanto en lo que a intensidad de la lluvia respecta, como a desarrollo de la cubierta vegetal. Las medias oscilaron alrededor de 3 mm en las parcelas de suelo desnudo y menos de 0,5 mm en el resto de parcelas.

El análisis de la precipitación de los cuatro años estudiados revela grandes diferencias, caracterizándose dos años de fuerte sequía, 1994 y 1995, y otros dos con precipitaciones cuantiosas, 1996 y 1997 (figura 1, tabla 4). La principal diferencia entre estos dos períodos radica en la época en que se concentran las lluvias y la intensidad de las mismas. Así, en el período 1994/95 las precipitaciones que tuvieron lugar durante los meses de mayo a septiembre, en la que destacaba su carácter tormentoso, representaron más del 45% del total excepto en Albaladejito. Por el contrario, durante el período 1996/97, estas precipitaciones tormentosas tuvieron una menor incidencia en el conjunto de las precipitaciones, representando del 20 al 25% del total según las localidades.

La variable pluviométrica que mejor se correlaciona con las tasas de escorrentía es la pluviome-

TABLA 5

COEFICIENTES DE CORRELACIÓN ENTRE LAS VARIABLES PLUVIOMÉTRICAS Y LAS TASAS DE ESCORRENTÍA EN LAS DIFERENTES PARCELAS, LAS CUALES DIFIEREN EN EL USO DEL SUELO. PARCELAS DE ALBALADEJITO (CUENCA).

[CORRELATION COEFFICIENTS BETWEEN RAINFALL VARIABLES AND RUNOFF RATES IN THE DIFFERENT PLOTS (WITH DIFFERENT LAND USES). ALBALADEJITO (CUENCA).]

Albaladejito	P (precipitación total)	Imax30	EC ¹
Imax30	0,25		
EC	0,99**	0,37	
Escorrentía según uso:			
Desnudo	0,74**	0,49**	0,77**
Cebada	0,66**	0,45*	0,69**
Vegetación espontánea	0,70**	0,35	0,73**
Pastizal	0,73**	0,33	0,76**

* Significativas para el nivel $p < 0,05$, ** $p < 0,01$.

¹ Energía cinética.

tría total registrada entre muestreos (P). Ello se ha encontrado en prácticamente todos los usos del suelo y las diferentes áreas estudiadas, lo que reafirma la solidez de esta relación. La energía cinética (EC) para cada aguacero no se relacionó tan fuertemente y otras variables pluviométricas como las intensidades máximas en 30 y 12 minutos (Imax30 e Imax12), apenas se relacionaron con el coeficiente de escorrentía (tablas 5, 6, 7 y 8).

TABLA 6

COEFICIENTES DE CORRELACIÓN ENTRE LAS VARIABLES PLUVIOMÉTRICAS Y LAS TASAS DE ESCORRENTÍA EN LAS DIFERENTES PARCELAS, LAS CUALES DIFIEREN EN EL USO DEL SUELO. PARCELAS DE MARCHAMALO GUADALAJARA.

[CORRELATION COEFFICIENTS BETWEEN RAINFALL VARIABLES AND RUNOFF RATES IN THE DIFFERENT PLOTS (WITH DIFFERENT LAND USES). MARCHAMALO (GUADALAJARA).]

Marchamalo	P (precipitación total)	Imax30	Imax12	EC ¹
Imax30	0,55**			
Imax12	0,48**	0,95**		
EC	0,99**	0,61**	0,54**	
Escorrentía según uso:				
Desnudo	0,73**	0,52**	0,51**	0,74**
Cebada	0,64**	0,33*	0,22	0,61**
Vegetación espontánea	0,75**	0,35*	0,23	0,72**
Pastizal	0,69**	0,28	0,17	0,65**

* Significativas para el nivel $p < 0,05$, ** $p < 0,01$.

¹ Energía cinética.

TABLA 7

COEFICIENTES DE CORRELACIÓN ENTRE LAS VARIABLES PLUVIOMÉTRICAS Y LAS TASAS DE ESCORRENTÍA EN LAS DIFERENTES PARCELAS, LAS CUALES DIFIEREN EN EL USO DEL SUELO. PARCELAS DE EL ENCÍN (MADRID).

[CORRELATION COEFFICIENTS BETWEEN RAINFALL VARIABLES AND RUNOFF RATES IN THE DIFFERENT PLOTS (WITH DIFFERENT LAND USES). EL ENCÍN (MADRID).]

El Encín	P (precipitación total)	Imax30	Imax12	EC ¹
Imax30	0,29*			
Imax12	0,29*	0,96**		
EC	0,97**	0,46**	0,45**	
Escorrentía según uso:				
Desnudo	0,61**	0,48**	0,49**	0,63**
Cebada	0,66**	0,33*	0,29	0,65**
Vegetación espontánea	0,73**	0,30*	0,26	0,69**
Pastizal	0,62**	0,44**	0,39**	0,64**

* Significativas para el nivel $p < 0,05$, ** $p < 0,01$.

¹ Energía cinética.

El coeficiente de escorrentía anual (escorrentía total a lo largo del año / pluviometría total en el año), puede reflejar la evolución gradual de las parcelas. A lo largo de los cuatro años estudiados, se puede observar un aumento del coeficiente de escorrentía con el tiempo en las parcelas que han mantenido su suelo desnudo a base de aplicaciones sucesivas de herbicidas, aumento que en algunos casos ha sido realmente espectacular (caso de Albadalejito o Marchamalo) llegándose a alcanzar valores finales de más de 12 veces el valor inicial (tabla 10). Los otros usos han tenido una evolución mucho más estable. No obstante, se observa que en las parcelas con cebada, el coeficiente de escorrentía anual tiende a aumentar ligeramente en algunas de las áreas, concretamente en Aranjuez y Albadalejito. Por el contrario, ese aumento no se observa en las parcelas con vegetación espontánea o con siembra de leguminosas (pastizal). En estos dos casos se observa una estabilidad en los coeficientes de escorrentía e incluso una disminución gradual con el tiempo, que se aprecia en las áreas de Aranjuez y El Encín (tabla 9).

Considerando por separado cada uno de los eventos lluviosos mayores de 10 mm ocurridos durante todo el periodo de estudio (1994 a 1997), por ser estos los que han generado escorrentías en cantidades apreciables, observamos que en las cuatro áreas el tratamiento de suelo desnudo produce

TABLA 8

COEFICIENTES DE CORRELACIÓN ENTRE LAS VARIABLES PLUVIOMÉTRICAS Y LAS TASAS DE ESCORRENTÍA EN LAS DIFERENTES PARCELAS, LAS CUALES DIFIEREN EN EL USO DEL SUELO. PARCELAS DE ARANJUEZ (MADRID).

[CORRELATION COEFFICIENTS BETWEEN RAINFALL VARIABLES AND RUNOFF RATES IN THE DIFFERENT PLOTS (WITH DIFFERENT LAND USES). ARANJUEZ (MADRID).]

Aranjuez	P (precipitación total)	Imax30	EC ¹
Imax30	0,16		
EC	0,92**	0,32	
Escorrentía según uso:			
Desnudo	0,72**	0,32	0,58**
Cebada	0,60**	0,17	0,53*
Vegetación espontánea	0,60**	0,06	0,63**
Pastizal	0,64**	-0,18	0,64**

* Significativas para el nivel $p < 0,05$, ** $p < 0,01$.

¹ Energía cinética.

mucha mayor escorrentía que el resto de tratamientos (figura 2). Sin embargo, las diferencias

TABLA 9

EVOLUCIÓN DEL COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA ANUAL (%) PARA CADA UNO DE LOS USOS DEL SUELO EN LAS DIFERENTES ÁREAS DE ESTUDIO.

[RUNOFF ANNUAL COEFFICIENT (%) AND ITS EVOLUTION IN THE DIFFERENT LAND USES AND STUDIED AREAS.]

Año	Suelo desnudo	Cebada espontánea	Vegetación	Pastizal
ALBALADEJITO				
1994	0,84	0,19	0,51	0,62
1995	1,98	0,18	0,24	0,75
1996	4,74	0,38	0,75	0,75
1997	6,93	0,55	0,49	0,93
MARCHAMALO				
1994	0,62	0,51	0,74	0,67
1995	7,25	0,51	0,75	0,65
1996	13,29	0,78	0,75	0,81
1997	7,68	0,35	0,67	0,66
EL ENCÍN				
1994	4,93	0,38	1,12	3,39
1995	6,60	0,21	0,70	0,54
1996	10,29	0,45	0,90	0,81
1997	11,25	0,98	0,81	0,76
ARANJUEZ				
1994	6,72	0,32	3,52	4,82
1995	9,35	0,94	1,61	8,49
1996	13,92	2,65	0,94	3,34
1997	13,09	1,50	0,98	0,78

TABLA 10
COBERTURA VEGETAL EN PORCENTAJE EN LAS DIFERENTES ÁREAS Y AÑOS DE ESTUDIO.
[VEGETATION COVER IN PERCENTAGE IN THE DIFFERENT AREAS AND YEARS STUDIED.]

Campaña agrícola:		93/94		94/95		95/96		96/97	
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Albaladejito (Cuenca)	Cebada	<5	55	5	93	10	90	7	80
	Veg. espont.	14	83	80	96	90	90	85	90
	Pastizal	<5	25	20	20	<5 ¹	80	75	90
Marchamalo (Cuenca)	Cebada	<5	87	17	89	<5	25	14	80
	Veg. espont.	<5	69	57	93	62	85	80	90
	Pastizal	<5	15	10	10	<5 ¹	95	90	95
Encín (Madrid)	Cebada	<5	80	12	92	<5	70	12	40
	Veg. espont.	<5	49	40	63	63	70	75	90
	Pastizal	<5	10	10	10	<5 ¹	80	80	90
Aranjuez (Madrid)	Cebada	<5	71	14	71	5	61	11	40
	Veg. espont.	<5	15	12	13	13	65	60	75
	Pastizal	<5	10	5	10	<5 ¹	45	40	75

entre cebada, vegetación espontánea y pastizal ya no son tan evidentes, ni se mantienen constantes en cada una de las áreas estudiadas. El tratamiento con cebada tiende a ser el que presenta menor coeficiente de escorrentía de todos, pero únicamente en El Encín las diferencias son significativas con el resto de tratamientos, mientras que en Albaladejito la parcela con cebada produce significativamente menor escorrentía que la sembrada con leguminosas (pastizal). Las diferencias entre pastizal y vegetación espontánea no son significativas en ningún caso, si bien en alguna zona se aprecia una ligera tendencia a ser mayor la escorrentía en las parcelas de pastizal que en las de vegetación espontánea (figura 2).

Las diferencias entre tratamientos y localidades, están en buena parte determinadas por el desarrollo de la cobertura vegetal (tabla 10). Las parcelas con cebada alcanzaron rápidamente elevados grados de desarrollo vegetal, si bien tuvieron el comportamiento cíclico propio del manejo que se realiza, con disminuciones en verano-otoño. Las parcelas con vegetación espontánea tuvieron un desarrollo vegetal muy dispar según las localidades, rápido en Albaladejito y Marchamalo, medio en El Encín y lento en Aranjuez, donde hasta que transcurrieron 2,5 años no se alcanzó el 50% de cobertura vegetal.

Para poder modelizar la producción de escorrentía se obtuvieron números de curva usando los

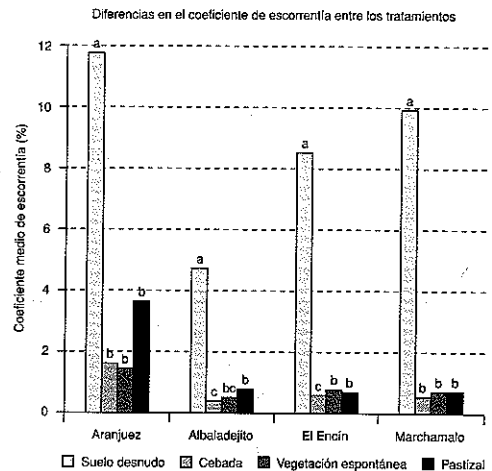


Fig. 2. Diferencias en las medias de los coeficientes de escorrentía (%) para cada uno de los tratamientos (suelo desnudo, cebada, etc.) se realiza por separado en cada una de las zonas de estudio. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos a un nivel $p < 0,01$ usando el test de Tukey en el análisis de varianza con medidas repetidas. [Differences in the average of runoff coefficients (%) between the different land uses. The comparison between land uses (bare soil, cereal crop, etc.) was made separately in each study area. Different letters show significant differences between land uses at level $p < 0,01$ using the Tukey test.]

TABLA 11
 ESTIMACIONES DEL NÚMERO DE CURVA PARA LA ESCORRENTÍA EN CONDICIONES NORMALES DE
 HUMEDAD Y DURANTE LOS CUATRO AÑOS DEL ESTUDIO.
 [RUNOFF CURVE NUMBER ESTIMATIONS IN THE DIFFERENT AREAS DURING FOUR YEARS.]

Tratamiento	Área estudiada			
	Albaladejito	Marchamalo	El Encín	Aranjuez
Suelo desnudo con herbicida	55	69	74	76
Cebada con mínimo laboreo	50	61	63	73
Abandono con vegetación espontánea	54	62	65	70
Siembra de leguminosas antes del abandono	54	61	65	70

datos experimentales de este estudio (tabla 11). El número de curva muestra valores bastante bajos en Albaladejito (de 50 a 55) y altos en Aranjuez (de 70 a 76), mientras que en las otras dos localidades dichos números son intermedios. Los valores más altos se obtuvieron en parcelas de suelo desnudo, alcanzando aproximadamente 75 en Aranjuez y El Encín. Apenas se observan diferencias entre los otros tres tratamientos, siendo generalmente el cultivo de cebada el que presenta los valores más bajos (tabla 11).

DISCUSIÓN

A diferencia de los resultados de JIMÉNEZ MARTÍNEZ *et al.* (1995) que afirman que para precipitaciones inferiores a 20 mm apenas hay escorrentía, nosotros hemos recogido cantidades apreciables de agua de escorrentía incluso para precipitaciones de tan sólo 10 mm. En nuestros resultados se aprecia de manera muy evidente la fuerte relación que existe entre la tasa de escorrentía y la precipitación total para ese evento lluvioso. Con la energía cinética las correlaciones no son de tanta intensidad y no existe una relación clara con las intensidades máximas en 12 y 30 minutos, que son las variables que frecuentemente definen mejor la erosividad de la lluvia e integran la ecuación USLE (Wischmeier & Smith 1978). De modo que en las localidades estudiadas la escorrentía se genera en función más de la precipitación total que de su intensidad, relación que no se observa en otros ambientes pero que es compatible con los modelos de saturación y modelos hortonianos propuestos por diversos autores.

De cara a la modelización de la escorrentía, hay que hacer notar que este estudio aporta números de curva verificados y válidos para el área estudiada, que escasamente superan un valor de 50 en Albaladejito, pero alcanzan incluso 76 en las parcelas de suelo desnudo de Aranjuez. Nuestros valores del número de curva en las parcelas de suelo desnudo son mucho menores que los que propone PONCE (1989), que propone números de curva entre 86 y 94 (dependiendo del tipo de suelo) para barbecho con suelo desnudo. Lo mismo parece observarse en el cultivo de cebada, en el que hemos observado unos números de curva entre 50 y 67 frente a los valores de 78 a 91 que propone PONCE (1989) dependiendo de los tipos de suelo que podemos encontrar en las parcelas de estudio. De este modo, observamos que, al menos en las áreas estudiadas, la escorrentía real que se produce es generalmente menor que la que predicen las tablas más frecuentemente usadas (PONCE 1989), así como otros estudios (YOO & ROCHESTER 1989).

Tal como cabría esperar, el tratamiento de suelo desnudo con herbicida pronto comienza a ser el que produce mayores coeficientes de escorrentía, que además van en claro aumento a medida que transcurre el tiempo. Este aumento se debe a que la ausencia de cobertura vegetal favorece que el suelo se apelmace con rapidez, de modo que comienza a formarse una costra de splash. Esta costra, con la consiguiente disminución de la porosidad en los primeros centímetros del suelo, es la causa principal de este aumento de la escorrentía con el tiempo (CALLEBAUT *et al.* 1985). La formación de la costra se ve favorecida por el bajo

contenido en materia orgánica del epipedón (TINKER 1988). Así pues, nos encontramos ante un proceso de degradación física que exige de la intervención humana para ser frenado.

A primera vista no puede concluirse nada general acerca de las diferencias en los coeficientes de escorrentía entre el cultivo de cereal, el abandono (vegetación espontánea) y la siembra de leguminosas (pastizal). Estos tres tratamientos frenan de forma bastante adecuada la producción de escorrentía. A nivel global, y durante los cuatro años de estudio, el cultivo de cebada es el tratamiento que suele producir los menores coeficientes de escorrentía. No obstante, si observamos su evolución en el tiempo, parece observarse una tendencia muy atenuada a que aumente el coeficiente de escorrentía en aquellas parcelas que se dedicaron al cultivo de la cebada. La causa de este aumento habría que buscarla en el sistema de mínimo laboreo que se empleó, dándose tan sólo una labor con chisel antes de la siembra. Según ANDRASKI *et al.* (1985) la tasa de escorrentía depende en buena parte del laboreo empleado. Éstos y otros autores, como JOHNSON & MOLDENHAUER (1979) y Sturgul *et al.* (1990) observaron menores escorrentías con laboreos de conservación que con los laboreos tradicionales, mientras que MUELLER *et al.* 1984 observaron lo contrario. De una u otra manera, hay que destacar que este cultivo de cebada es claramente conservativo, generando escasas tasas y coeficientes de escorrentía y teniendo un deseable comportamiento hidrológico, tal como se ha observado en otros ambientes con sistemas de mínimo laboreo y laboreo de conservación (YOO & ROCHES-TER 1989; STURGUL *et al.* 1990).

Conforme transcurre el tiempo se observa que el coeficiente de escorrentía disminuye o se estanca en las parcelas abandonadas, colonizadas por vegetación natural espontánea, así como especialmente en las de pastizal. En los últimos años del estudio sus valores se igualan con los de las parcelas de cebada. Este comportamiento pone de manifiesto que estos tipos de manejo del suelo (abandono con vegetación espontánea y pastizal) no conllevan una compactación del mismo o formación de costras superficiales de splash en ninguna de las áreas analizadas del centro penin-

sular. Estos resultados confirman las tendencias observadas en diversos estudios, por ejemplo los llevados a cabo en campos abandonados de Alicante, con unos 1.000 mm anuales de precipitación (RODRÍGUEZ-AIZPEOLEA *et al.* 1991). Aquí se observa que la escorrentía es mayor en los campos abandonados que en los cultivados. Los primeros presentan la mayor tasa de escorrentía al año de abandono, tasa que disminuye poco a poco conforme transcurre el tiempo.

En campos abandonados del área surpirenaica, GARCÍA RUIZ (1996) midió mediante parcelas de erosión coeficientes de escorrentía superiores en tratamientos de barbecho que bajo siembra de cereal. No obstante, los coeficientes mínimos se produjeron en campos abandonados hace varios años y cubiertos de matorral, igual que han señalado otros autores trabajando en las mismas zonas (LASANTA *et al.* 1994; RUIZ-FLAÑO 1993). En áreas semiáridas, donde el crecimiento de las plantas está muy limitado, CERDÀ (1997) ha comprobado que la escorrentía se incrementa incluso hasta tres años después del abandono agrícola, para más tarde disminuir hasta valores menores a los que se producían en las áreas cultivadas.

Podemos concluir que, en nuestro estudio, la fuerte disminución de la escorrentía al cabo de 3 o 4 años en los tratamientos de vegetación espontánea y siembra de leguminosas se debe a que la vegetación espontánea ha sido capaz de cubrir buena parte de la superficie de las parcelas (BIENES & TORCAL 1997). Tal como señala GARCÍA RUIZ (1996), la escorrentía y la erosión dependen de la eficacia de los procesos de colonización vegetal y sólo en el caso de que ésta no sea capaz de cubrir densamente los antiguos campos abandonados, la escorrentía y la erosión del suelo pueden convertirse en un problema.

El cultivo de cebada es un sistema que precisa del laboreo para mantener bajas las tasas de escorrentía, y su eficiencia para la captación de agua requiere de la actividad del hombre. Sin embargo, hay que señalar que en todos los ambientes estudiados, la vegetación espontánea llega a controlar a medio plazo la tasa de escorrentía de manera tan eficaz como el cultivo de cebada. Todo ello denota que, si bien en un primer momento pue-

den darse situaciones opuestas, en un plazo razonable la dinámica sucesional natural origina unos sistemas capaces de disminuir progresivamente los coeficientes de escorrentía. Como resultado de ello, a largo plazo estos sistemas naturales auto-mantenidos producen tasas de escorrentía mucho menores que los sistemas mantenidos por el hombre, como los cultivos. Más aún cuando la sucesión llegue a originar cubiertas vegetales más complejas, con la formación de bosques pluries-

tratificados de bajísimos coeficientes de escorrentía (PONCE 1989).

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos las correcciones de inglés de Pilar Castro, así como la financiación del INIA dentro del proyecto SC93-022-C2-1 del que forma parte este trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMOROX, J., DE ANTONIO, R., SAA, A., CRUZ DÍAZ, M. & GASCÓ, J.M. 1994. Métodos de estimación de la erosión hídrica. Editorial Agrícola Española. Madrid.
- ANDRASKI, J.J., DANIEL, T.C., LOWERY, B. & MUELLER, D.H. 1985. Runoff results from natural and simulated rainfall for four tillage systems. *Transactions of the ASAE* 28: 1219:1225.
- BIENES ALLAS, R. & TORCAL SÁINZ, L. 1997. Influencia del manejo del suelo sobre la erosión en depósitos de terraza (El Encín y Marchamalo). *Cuaternario y Geomorfología*, 11: 113-124.
- CALLEBAUT, F., GABRIELS, D. & DE BOODT, M. (eds.). 1985. Assesment of soil surface sealing and crusting. Ghent State University.
- CERDÀ, A. 1997. Soil erosion after land abandonment in a semiarid environment of Southeastern Spain. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 11: 163-176.
- ELÍAS, F. & RUIZ, L. 1977. *Agroclimatología de España*. INIA. Madrid.
- ELÍAS, F. & RUIZ, L. 1979. *Precipitaciones máximas de España*. INIA. Madrid.
- GARCÍA RUIZ, J.M., RUIZ FLAÑO, P., LASANTA, T., MONTSERRAT, G., MARTÍNEZ-RICA, J.P. & PARDINI, G. 1991. Erosion in abandoned fields, what is the problem? En: M. Sala, J.L. RUBIO y J.M. García Ruiz (eds.). *Soil erosion studies in Spain*, pp. 97-108. Geofoma ediciones. Logroño.
- GARCÍA RUIZ, J.M. 1996. Marginación de tierras y erosión en áreas de montaña. En: T. LASANTA, & J.M. GARCÍA-RUIZ (eds.). *Erosión y recuperación de tierras en áreas marginales*. pp: 33-50. Instituto de Estudios Riojanos. Sociedad Española de Geomorfología. Logroño.
- GARCÍA RUIZ, J.M. & LASANTA, T. (eds.). 1994. *Efectos geomorfológicos del abandono de tierras*. Sociedad Española de Geomorfología. Zaragoza.
- HUDSON, N. 1982. *Conservación del suelo*. Editorial Reverté. Barcelona.
- JIMÉNEZ MARTÍNEZ, M.A. & GARCÍA-ROSELL MARTÍNEZ, L. 1995. Abandono de campos de cultivo en relación con procesos de erosión y alteración de la cubierta vegetal. *Studia Oecologica* 12:183-198.
- JOHNSON, C.B., MOLDENHAUER, W.C. 1979. Effect of chisel versus moldboard plowing on soil erosion by water. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43: 177-179.
- LASANTA, T., & GARCÍA-RUIZ, J.M. (eds.). 1996. *Erosión y recuperación de tierras en áreas marginales*. Instituto de Estudios Riojanos. Sociedad Española de Geomorfología. Logroño.

- LASANTA, T., PÉREZ RONTOMÉ, M.C. & GARCÍA RUIZ, J.M. 1994. Efectos hidromorfológicos de diferentes alternativas de retirada de tierras en ambientes semiáridos de la depresión del Ebro. En: J.M. García Ruiz & T. Lasanta (eds.). Efectos geomorfológicos del abandono de tierras. Sociedad Española de Geomorfología. Zaragoza.
- LÁZARO, F., ELÍAS, F. & NIEVES, M. 1978. Regímenes de humedad de los suelos de la España Peninsular. INIA. Madrid.
- LLORENS, P. 1991. Resposta hidrológica i dinàmica de sediments en una petita conca pertorbada de muntanya mediterrània. Tesis Doctoral, Universidad de Barcelona.
- LÓPEZ BERMÚDEZ, F. & TORCAL, L. 1986. Procesos de erosión en túnel (piping) en cuencas sedimentarias de Murcia (España). Estudio preliminar mediante difracción de rayos X y microscopio electrónico de barrido. Papeles de Geografía Física 11: 7-20.
- LÓPEZ-BERMÚDEZ, F. & ALBALADEJO, J. 1990. Factores ambientales de la degradación del suelo en el área mediterránea. En: J. Albaladejo, M.A. Stocking & E. Díaz (eds.). Degradación y regeneración del suelo en condiciones ambientales mediterráneas, pp. 15-46. Consejo Superior de Investigaciones Científicas Murcia.
- LÓPEZ CADENAS, F. (coord.). 1994. Restauración hidrológico forestal de cuencas y control de la erosión. TRAGSA, TRAGSATEC, Mundiprensa. Madrid.
- MUELLER, D.H., WENDT, D.H. & DANIEL, T.C. 1984. Soil and water losses as affected by tillage and manure application. Soil Sci. Soc. Am. J. 48: 896-900.
- PONCE, V.M. 1989. Engineering hydrology. Principles and practices. Prentice Hall. New Jersey. 640 pp. conservation tillage. Journal of Soil and Water Conservation, 38: 494-496.
- RITTER, J.B. & GARDNER, T.W. 1991. Runoff curve numbers for reclaimed surface mines in Pennsylvania. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 117: 656-666.
- RODRÍGUEZ-AIZPEOLEA, J., PÉREZ-BADIA, R. & CERDÁ-BOLINCHES, A. Colonización vegetal y producción de escorrentía en bancales abandonados: Vall de Gallinera, Alacant. Cuaternario y Geomorfología 5: 119-129.
- RUIZ-FLAÑO, P. 1993. Procesos de erosión en campos abandonados del Pirineo. Geoforma Ediciones. Logroño.
- SALA, M., RUBIO, J.L. & GARCÍA-RUIZ, J.M. (ed.). 1991. Soil erosion studies in Spain. Geoforma Ediciones. Logroño.
- STURGUL, S.J., DANIEL, T.C. MUELLER, D.H. Tillage and canopy cover effects on interrill erosion from first-year alfalfa. Soil Sci. Soc. Am. J. 54: 1733-1739.
- TINKER, P.B. 1988. Soil damage - physical and chemical processes. Ecological Bulletins, 39:17-22. Copenhagen.
- WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses -a guide to conservation planning. USDA-Science and Education Administration Agric. Handbook 537, U.S. Govt. Print. Office, Washington, D.C.
- YOO, K.H. & ROCHESTER, E.W. 1989. Variation of runoff characteristics under conservation tillage systems. Transactions of the ASAE 32: 1625-1630.