

EXPERIMENTOS CON LLUVIA SIMULADA EN LA CUENCA EXPERIMENTAL DE GUADALPERALÓN. NORTE DE EXTREMADURA. PRIMEROS RESULTADOS

*Dionisia Gómez-Amelia^a; Antonio Ceballos^a;
Susanne Schnabel^b & Artemi Cerdà^b*

^a Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio,
Facultad de Filosofía y Letras. Avenida de la Universidad, s/n. 10071 Cáceres.

^b Departament de Geografia. Universitat de València.
Apartado de Correos 22060, 46080 Valencia

Resumen: La dehesa es uno de los usos del suelo más frecuentes en el suroeste de la Península Ibérica. La extensión de este tipo de explotación ha hecho que quede configurado como un paisaje típico en grandes zonas de Extremadura. A pesar de su importancia espacial, pero también económica y sobre todo ambiental, se conoce muy poco del comportamiento hidrológico y erosivo de los suelos de la dehesa. En este trabajo se presenta la metodología utilizada para la cuantificación de las tasas de erosión, escorrentía, infiltración, etc, ante chaparrones de reducida frecuencia y elevada magnitud. Para ello se han llevado a cabo experimentos con lluvia simulada (53,6 mm durante una hora) sobre parcelas de 0,25 m², por lo que se reproduce el proceso de transformación de la lluvia en caudal o generación de escorrentía a escala de pedón.

Los suelos de la cuenca experimental de Guadalperalón, representativa de la dehesa extremeña, se caracterizan por generar elevados volúmenes de escorrentía debido a que el sobrepastoreo ha favorecido la reducción de las tasas de infiltración (27 mm h⁻¹). A pesar de las elevadas escorrentías, las pérdidas de suelo son bajas (8 g m⁻² h⁻¹), lo que se debe a la reducida concentración de sedimentos en la escorrentía (0,46 g l⁻¹). Esto último es consecuencia de la permanencia de una capa de hierbas y hojarasca, lo que junto a la compactación del

suelo (densidad aparente $1,29 \text{ g cm}^{-3}$) por el pisoteo del ganado favorece una baja erodibilidad de los suelos. Gran parte del material transportado por la arroyada es materia orgánica lo que da lugar a la pérdida de nutrientes, y a la larga, a la degradación de los suelos.

Palabras clave: hidrología de suelos, erosión, simulación de lluvia, dehesa.

Abstract: The present work forms part of a research project carried out in the dehesas, a system of multiple landuse (grazing, forestry, etc.) which occupies large parts of South-West Iberian Peninsula, and consists of openly spaced evergreen woodland with pasture cover. First results of a study are presented which deal with the effect of low frequency, high magnitude rainstorms on soil loss, surface runoff and infiltration. Experiments were carried out using simulated rainfall of $53,6 \text{ mm}$ and one hour duration over a closed plot of $0,25 \text{ m}^2$. They reproduce the process of rainfall transformation into runoff at the pedon scale.

The soils of the Guadalperalón study catchment are representative of the Extremenian dehesas, and are characterized by high runoff production as a consequence of low infiltration rates (27 mm h^{-1}) probably related with overgrazing. In spite of high surface flow soil loss is low ($8,3 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$). The latter is owing to a moderately dense cover of pasture and litter, together with soil compaction caused by animal trampling. Large parts of the material transported by overland flow consist of organic matter, which gives rise to nutrient losses, and produces soil degradation in the long-term.

Key words: soil hydrology, erosion, rainfall simulation, dehesa.

1. INTRODUCCIÓN

Desde 1990 se están estudiando los factores y los procesos hidrológicos y erosivos de las zonas de dehesa en una cuenca experimental en Extremadura bajo condiciones de lluvia natural (Schnabel, 1997). Se ha investigado la erosión laminar en vertientes (Gómez Amelia & Schnabel, 1992), erosión en cárcava (Schnabel & Gómez Amelia, 1993), el factor vegetación en los procesos erosivos (Bernet Herguijuela *et al.*, 1994; Schnabel *et al.*, 1996) y el comportamiento hidrológico de la cuenca (Ceballos *et al.*; 1996; Ceballos & Schnabel; en prensa). El ambiente estudiado corresponde al de una dehesa bajo explotación ganadera, donde la extracción de leña de encina se realiza esporádicamente y el pastoreo es constante. El cultivo afectó a las lomas y vaguadas más favorables hasta 1964.

La investigación que se está llevando a cabo tiene un gran interés ecológico por el elevado valor paisajístico y ambiental de las dehesas, así como por su importancia económica, ya que de la sostenibilidad de estas explotaciones depende la supervivencia de gran parte de la población de la zona. Esta situación es representativa del suroeste del Estado Español, donde la dehesa constituye el 52% de la superficie agrícola (Campos Palacín, 1993). A pesar de su importancia espacial, económica y ecológica, no hay información sobre su dinámica hidrológica y erosiva.

El objetivo de este trabajo es presentar la metodología utilizada para el estudio de la respuesta de los suelos de la dehesa extremeña ante lluvias de elevada intensidad y reducida frecuencia, es decir lluvias excepcionales. Para ello, se han realizado experimentos con lluvia simulada con el fin de agilizar la toma de datos y la precisión de las mediciones.

2. ZONA DE ESTUDIO

La cuenca de drenaje estudiada se sitúa al noreste de la ciudad de Cáceres, en la cuenca del río Almonte, afluente del río Tago (fig. 1). Forma parte de la superficie de erosión finimiocena desarrollada sobre la serie metamórfica del Complejo Esquisto Grauváquico (Gómez Amelia, 1985). En las cabeceras de los ríos, el paisaje está dominado por lomas de pendientes suaves y los fondos de las vaguadas están rellenos de sedimentos, mientras que en las zonas cercanas al Tago –debido a la incisión– las pendientes aumentan y en los cauces las acumulaciones son insignificantes.

El clima de la zona es mediterráneo, aunque la influencia atlántica y continental es importante. Font Tullot (1983) lo ha clasificado como Mediterráneo de variedad continental con matiz semiárido. La precipitación media anual es de 511 mm, el 30% de la cual se produce en los meses de noviembre y diciembre. La temperatura media anual es de 16,1 °C, aunque los contrastes

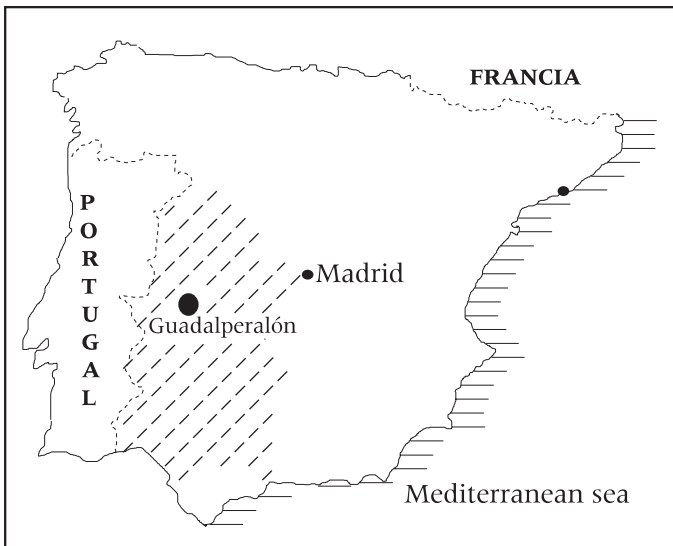


Figura 1: Localización de la zona de estudio. Cuenca de Guadalperalón (en rayado aparece la extensión de las dehesas del suroeste peninsular).

entre el verano y el invierno son muy grandes. La media de las mínimas del mes más frío es 4,0 °C y la media de las máximas del mes más cálido es de 33,5 °C (Font Tullot, 1983). La irregularidad interanual de la precipitación es una de las características más destacadas. La zona de estudio ha sido afectada por una prolongada sequía durante el primer quinquenio de los años 90.

Los suelos son poco profundos, muy densos y con reducido contenido en materia orgánica. El horizonte orgánico original probablemente ha sido eliminado por procesos erosivos, causa de la explotación agro-ganadera de muchos siglos.

La vegetación potencial corresponde a la serie climatofila mesomediterránea luso-extremadureña en la que *Quercus rotundifolia* es la especie dominante. La vegetación natural ha sido transformada para su aprovechamiento agro-ganadero, fundamentalmente, aclarando la cubierta arbórea y sustituyendo el estrato arbustivo por un estrato herbáceo. La densidad arbórea en la cuenca es variable, con zonas desarboladas y muy degradadas, donde *Lavandula stoechas* es la especie dominante, y zonas con densidades de 15 a 40 encinas por hectárea con pastizales. Durante el período en el que se realizaron los experimentos el pastizal permanecía agostado debido a una sequía, con lo que su cobertura vegetal era menor a la cuantificada en otras épocas del año (Bernet Herguijuela *et al.*, 1994).

El cultivo, llevado a cabo en algunas partes de la cuenca y cuyo inicio no es conocido, fue abandonado en 1964. La vocación pastoril ha sufrido cambios a lo largo de los años, debido a la variación del tipo de ganado y de la carga ganadera, aunque dominaba el ganado ovino. La carga ganadera actual es de 2,3 ovejas por hectárea. Las podas se realizan con gran irregularidad y se orientan a la producción de madera y picón.

3. EXPERIMENTOS CON LLUVIA SIMULADA

Mediante chaparrones simulados de elevada intensidad se pretende determinar la respuesta de los suelos ante eventos de muy baja frecuencia pero de elevada magnitud. Estos eventos son difícilmente estudiados con los métodos tradicionales (parcelas), tanto por la irregularidad de la precipitación como por la dificultad de medición de los procesos hidrológicos y erosivos cuando las condiciones son extremas.

Los experimentos han consistido en chaparrones de una intensidad de 53,6 mm h⁻¹ mantenidos durante una hora sobre 1 m² de terreno, aunque las mediciones se realizan sólo en la parte central (0,25 m²) para reducir el efecto borde (Meyer, 1988). Antes y después de la lluvia se medía la humedad del suelo (0-3 cm) con el fin de conocer directamente la capacidad de retención

hídrica de los suelos. También se ha determinado el tiempo y el volumen de agua necesario para generar encharcamiento y escorrentía. La arroyada superficial se ha medido cada minuto. Se tomaron tres muestras –al principio, mitad y al final del hidrograma– para conocer su concentración de sedimentos y con ello la tasa de erosión. En todos los experimentos se pretendía alcanzar la tasa de infiltración final estable con el fin de conocer este parámetro, así como la curva de escorrentía en su totalidad. Una detallada explicación de la metodología y el tratamiento de los datos se puede encontrar en Cerdà (1993a; 1993b; 1995a).

El simulador de lluvia empleado es el modelo de Cerdá (1993a; 1995a; 1995b), desarrollado a partir del diseñado por Calvo *et al.* (1988). Es del tipo pulverizador y su diseño permite la utilización en zonas de difícil acceso y elevadas pendientes.

En cada parcela se ha medido el frente de humedad después del experimento. La humedad del suelo (0-3 cm) se ha determinado antes y después del experimento con el método gravimétrico. Las simulaciones de lluvia se realizaron a finales de mayo de 1995 después de un período de reducidas precipitaciones, que originó una situación más característica de verano que de primavera: suelos secos y vegetación herbácea agostada.

La selección de las parcelas se llevó a cabo tras varios años de estudios de los procesos hidrológicos y erosivos, así como de la dinámica de la cubierta vegetal. En general, la cubierta de hierbas es preponderante, con excepción de la parcela B, donde domina el arbusto *Lavandula stoechas*. La influencia directa de la copa de *Quercus rotundifolia* se ha estudiado en otros trabajos (Cerdà *et al.*, en prensa).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Características superficiales de las parcelas

Los experimentos con lluvia simulada se realizaron en laderas con distinta exposición. La cuenca de drenaje presenta una orientación Norte-Sur que hace que las laderas sean de exposición Este (parcelas C, D y E), Oeste (parcela B) o bien Sur en la parte alta de la cuenca (parcela A) (tabla 1). La pendiente de las parcelas seleccionadas es mucho más homogénea, variando entre 10° y 12°.

La vegetación es muy dispar entre las parcelas. En una de ellas, el 80% de la vegetación es cantueso, *Lavandula stoechas* (parcela B), mientras que en las otras básicamente son las hierbas y la hojarasca de éstas las que protegen el suelo. Esto explica que la altura de la vegetación –con la excepción del

arbusto— sea muy reducida. Los musgos y líquenes son poco frecuentes, y sólo en algunos puntos alcanza valores elevados (30%, parcela E). La pedregosidad también es abundante en la parcela B (75%) pero reducida en el resto.

La cubierta vegetal total (planta + musgos + líquenes + hojarasca) es reducida (41,4% en término medio), oscilando entre el 2% en una zona muy alterada por el sobrepastoreo y el cultivo en los años 40-60 (parcela A), y el 105% en la zona de matorral de cantueso. La cubierta total del suelo—incluyendo piedras y vegetación— es de 180% en parcela B y alcanza tan solo 36% como promedio en las parcelas con cubierta de pasto (17 - 62%).

Es de destacar la elevada variabilidad de la cubierta vegetal dentro de la cuenca de drenaje. Esta elevada variabilidad espacial es típica de los ecosistemas semiáridos como el Mediterráneo. Así, en la zona estudiada existen coeficientes de variación con valores superiores al 100%, con la excepción de la pendiente (todas las parcelas se seleccionaron en las laderas) y la hojarasca ($Cv = 85\%$).

Tabla 1. Características de las parcelas. Exposición (Exp.), pendiente (Pend.), cubierta de hojarasca (Hoja.), cubierta de musgos y líquenes (Mu. y Li.), plantas, cubierta vegetal total (Ve. tot., plantas + musgos + líquenes), cubierta de piedras (Piedra), cubierta total (Cu. tot., vegetación + musgos), altura de la vegetación (Alt. ve.) y flora.

	Exp.	Pend.	Hoja.	Mu. y li.	Plantas	Ve. tot.	Piedras	Cu. tot.	Alt. ve.	Flora
Parcela	(°)	(°)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(cm)	
A	170	12	1	1	0	2	15	17	1	Hierbas
B	265	11	25	0	80	105	75	180	15	Cantueso
C	90	10	35	2	4	41	2	43	2	Hierbas
D	90	13	10	2	5	17	5	22	1	Hierbas
E	90	14	10	30	2	42	20	62	3	Hierbas
Media		12,00	16,20	7,00	18,20	41,40	23,40	64,80	4,20	
Std		1,58	13,59	12,88	34,60	39,35	29,75	66,84	6,07	
Cv (%)		13,18	83,89	184,06	190,11	95,04	127,15	103,15	144,48	

4.2. Alteraciones introducidas por la lluvia

Los chaparrones de una hora de duración pueden dar lugar a alteraciones hidrológicas importantes en los suelos. En el horizonte superficial (0-3 cm) se ha comprobado un aumento de más de 27 puntos en el contenido de agua (tabla 2). La lluvia no sólo ha producido un aumento del agua en el suelo, sino que además ha favorecido una reducción apreciable de la variabilidad espacial de la humedad. En concreto, el coeficiente de variación se redujo a la mitad, pasando de 15,1% antes de la lluvia a 7,4% tras la lluvia.

Al contrario que la humedad del suelo, la densidad y la porosidad no se han visto alteradas de forma significativa por las lluvias, ni en sus valores absolutos ni en su variabilidad espacial.

Tabla 2. La humedad, la densidad y la porosidad del suelo antes y después de los chaparrones (53,6 mm durante una hora).

Parcela	Antes de la lluvia			Después de la lluvia		
	Humedad (%)	Densidad ($g\ cm^{-3}$)	Porosidad (%)	Humedad (%)	Densidad ($g\ cm^{-3}$)	Porosidad (%)
A	1,30	1,51	41,76	26,43	1,48	43,27
B	0,83	1,36	47,74	25,56	1,26	51,46
C	1,08	1,17	54,92	29,25	1,21	53,35
D	0,95	1,18	54,65	31,26	1,31	49,63
E	1,01	1,25	51,84	27,16	1,12	56,91
Media	1,03	1,29	50,18	27,93	1,28	50,92
Std	0,16	0,13	4,94	2,06	0,12	4,52
Cv (%)	15,11	9,86	9,85	7,39	9,39	8,88

4.3. Respuesta hidrológica

Los chaparrones de $53,6\ mm\ h^{-1}$ producen que los suelos se encharquen después de $8' 15''$ en término medio. Este encharcamiento tan retrasado en comparación con otras zonas naturales o seminaturales (Cerdà, 1995a) se debe a la reducida humedad de los suelos ($< 2\%$) durante el período en el que se realizaron los experimentos. La movilización del agua encharcada, es decir el inicio de la escorrentía se produce en término medio $1' 26''$ después del encharcamiento. Si bien el encharcamiento del suelo ante lluvias intensas es bastante retrasado, la posterior transformación del encharcamiento en escorrentía de forma rápida es típica de suelos degradados durante los periodos secos. Un comportamiento similar se ha encontrado en zonas muy degradadas como son los *badlands* (malpaís), en los cuales, durante los periodos secos, las grietas favorecen la infiltración, cuando estas se cierran ($2' - 3'$ después del inicio de la lluvia) el encharcamiento se transforma de forma casi instantánea en escorrentía (Cerdà, 1993a).

La variabilidad espacial del tiempo de encharcamiento (tp) y de escorrentía (te) es importante (tp varía entre $3'$ y $11' 15''$ y te varía entre $4'$ y $13'$), siendo muy semejantes los coeficientes de variación de ambos parámetros, con 43% y 38% , respectivamente (tabla 3).

La tasa de escorrentía media es de $19,3\ mm\ h^{-1}$, lo que supone un coeficiente de escorrentía media (Ce) de $36,5\%$. La tasa de infiltración final estable

Tabla 3. Respuesta hidrológica de los suelos ante los chaparrones de 53,6 mm h⁻¹ durante una hora. Tiempo de encharcamiento (*tp*), tiempo de inicio de la escorrentía (*te*), tasa de escorrentía media (*Esm*), coeficiente de escorrentía (*Ce*), coeficiente de escorrentía en el 25% final de la curva de escorrentía (*Ce25*), tasa de infiltración final estable (*fc*), tiempo para el final de la escorrentía después de la lluvia (*tef*), profundidad del frente de humedad (*fh*).

	<i>tp</i>	<i>te</i>	<i>Esm</i>	<i>Ce</i>	<i>Ce25</i>	<i>fc</i>	<i>tef</i>	<i>fh</i>
<i>Parcela</i>	(min)	(min)	(mm h ⁻¹)	(%)	(%)	(mm h ⁻¹)	(min)	(cm)
A	3' 00"	4' 00"	36,65	69,38	87,30	8,91	2' 16"	4,5
B	9' 30"	10' 30"	11,26	21,31	32,29	37,77	2' 50"	6,0
C	11' 15"	13' 00"	11,13	21,08	33,60	37,61	3' 33"	7,0
D	6' 30"	8' 05"	24,05	45,53	70,57	15,17	2' 00"	6,0
E	11' 00"	12' 50"	13,31	25,20	39,78	33,17	2' 50"	7,0
Media	8' 15"	9' 41"	19,28	36,50	52,71	26,53	2' 42"	6,1
Std	3,48	3,68	11,08	20,97	24,82	13,54	0,51	1,02
Cv (%)	42,68	38,47	57,45	57,45	47,09	51,03	20,55	16,80

(*fc*) es de 26,5 mm h⁻¹, mientras que el coeficiente de escorrentía en el tramo final de la curva de escorrentía (últimos quince minutos) supera el 50% de la precipitación. La variabilidad espacial presenta valores elevados, con coeficientes de variación que superan normalmente el 50%. Esto supone que *Ce* oscile entre 31 y 63%, mientras que *fc* varía entre 9 y 38 mm h⁻¹. Esta respuesta hidrológica de los suelos es muy distinta a la de otras zonas naturales o seminaturales dentro de los ecosistemas semiáridos (Cerdà, 1995a). Incluso en zonas recientemente incendiadas (Llovet *et al.*, 1994) se han encontrado tasas de escorrentía menores, a pesar de la eliminación de la vegetación y la degradación del suelo por el fuego.

Las bajas tasas de infiltración, y con ello los elevados volúmenes de escorrentía, se debe a la degradación de la vegetación por el pastoreo, pero también a la compactación de la capa superficial del suelo por el pisoteo. La densidad del suelo alcanza 1,29 g cm⁻³ en los tres primeros centímetros superficiales (tabla 2). Las elevadas tasas de escorrentía medidas después de una hora de lluvia se pueden comprobar en la figura 2, donde se presentan las curvas de escorrentía de cada una de las cinco parcelas estudiadas.

El fin de la escorrentía se produce 2' 42" después de la lluvia. Esto ilustra el abundante encharcamiento producido sobre el suelo y que necesita casi tres minutos para drenar totalmente. La variabilidad de este parámetro es muy reducida (*Cv* = 21%) lo que se debe a que las pendientes de las parcelas son similares y a que en todas las parcelas se partía de un encharcamiento total. Ello hace que el drenaje se produzca de forma similar y retrasada (tabla 3). Los frentes de humedad después de sesenta minutos de lluvia (53,6 mm)

alcanzan en término medio 6,1 cm. También en este caso la variabilidad espacial es muy reducida ($C_v = 17\%$) (tabla 3).

Chaparrones de sesenta minutos de duración y 53,6 mm de precipitación son poco probables en la dehesa extremeña. De hecho, la máxima precipitación en una hora con un período de recurrencia de cien años es de 37,1 mm h^{-1} (Schnabel, 1997). En cambio, son mucho más probables los eventos de

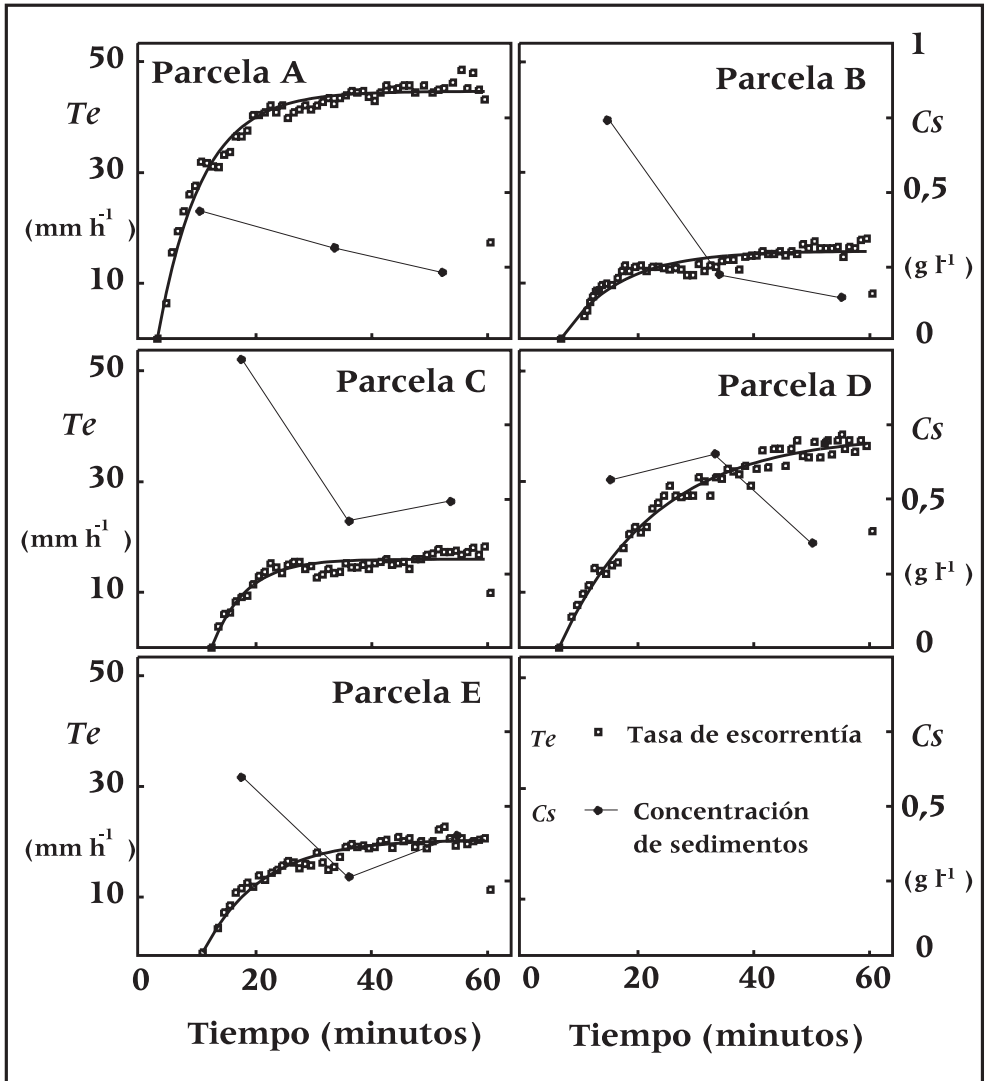


Figura 2: Hidrogramas (cambios temporales de la tasa de escorrentía) y evolución de la concentración de sedimentos.

lluvia intensa pero de reducida duración, como son los de quince minutos. En la tabla 4 se presentan los coeficientes de escorrentía obtenidos a partir de los hidrogramas generados por la lluvia simulada para intervalos de quince minutos, lo que simula cuatro chaparrones consecutivos de 13,4 mm partiendo de un estado de sequedad extrema (*Ce0-15*) (tabla 4). Los tres últimos intervalos (*Ce15-30*, *Ce30-45* y *Ce45-60*) se inician por lo tanto con el suelo saturado como demuestra el hecho que el encharcamiento se había producido en todas las parcelas antes del minuto 15.

Durante los primeros quince minutos se producen tasas de escorrentía reducidas (11%) para aumentar progresivamente (25%, 32% y 37%) hasta el último intervalo de quince minutos. La importancia del estado del suelo, especialmente la humedad antecedente, determina las tasas de escorrentía de una forma muy clara: el aumento de la escorrentía es más del doble pasando del estado seco al húmedo. También hay una clara evolución temporal de la variabilidad espacial de la escorrentía, ya que ésta es muy variable al principio del experimento ($C_v = 128\%$) para reducirse progresivamente con el aumento del caudal y la saturación del suelo (74, 62 y 57%). La influencia de la humedad del suelo sobre la capacidad de infiltración de los suelos y por lo tanto sobre la escorrentía se ha comprobado en distintos estudios (Cerdà, 1995b), si bien es de gran interés conocer el efecto en la dehesa extremeña, donde se ha confirmado la existencia de hidrofobia de las capas superficiales de los suelos (Cerdà *et al.*, en revisión). En el futuro se deben realizar mediciones en periodos húmedos, ya que el contenido de agua en el suelo da lugar a respuestas muy distintas ante lluvias similares. Ello puede favorecer un mejor entendimiento de los procesos de generación de escorrentía y erosión.

Tabla 4. Coeficientes de escorrentía a distintos intervalos temporales. Desde el inicio hasta el minuto 15 (*Ce0-15*), desde el inicio hasta el minuto 30 (*Ce0-30*), desde el inicio hasta el minuto 45 (*Ce0-45*) y desde el inicio hasta el minuto 60 (*Ce0-60*).

	<i>Ce0-15</i>	<i>Ce0-30</i>	<i>Ce0-45</i>	<i>Ce0-60</i>
<i>Parcela</i>	(%)	(%)	(%)	(%)
A	35,58	55,98	64,75	69,38
B	5,82	14,55	19,07	21,31
C	1,44	12,50	18,10	21,08
D	10,04	27,17	38,28	45,53
E	2,41	14,05	21,12	25,20
Media	11,06	24,85	32,26	36,50
Std	14,11	18,37	19,94	20,97
Cv (%)	127,62	73,93	61,80	57,45

4.4. Respuesta erosiva

El aumento de la pérdida de suelo debido a las actividades antrópicas es uno de los problemas más acuciantes en los ambientes semiáridos, los cuales por sus condiciones climáticas sufren riesgo de desertificación (UNITED NATIONS, 1977). Los experimentos realizados han permitido conocer las tasas de erosión a nivel de microparcela bajo condiciones de elevada sequedad previa. El promedio de la concentración de sedimentos en la escorrentía ha sido de $0,46 \text{ g l}^{-1}$ y la tasa de erosión de $8,28 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (tabla 5). En comparación con datos obtenidos con la misma metodología en otras zonas estos valores se pueden considerar bajos (Cerdà, *et al.* 1995, Cèrda & Lavee, 1995). Este hecho está probablemente relacionado con la baja erodibilidad de los suelos debido a su compactación (densidad aparente $1,29 \text{ g m}^{-3}$). El pisoteo del ganado junto con una estructura poco desarrollada provocan su compactación. La cubierta de plantas y de hojarasca no explican las diferencias de erosión observadas.

Las pérdidas registradas durante los experimentos son sustancialmente menores que las producidas durante una tormenta del 7 de agosto de 1992 (Schnabel, 1997). Este suceso con una máxima intensidad en diez y treinta minutos de $60,0$ y $32,8 \text{ mm h}^{-1}$, respectivamente, provocó las máximas pérdidas de sedimento durante el tiempo de estudio (desde 1990). El estado de la cubierta vegetal y de la humedad antecedente (muy seco) era muy parecido a la situación encontrada durante los experimentos de infiltración. La diferencia entre la erosión producida bajo condiciones naturales (promedio en vertientes: $107,0 \text{ g m}^{-2}$) y simuladas ($8,28 \text{ g m}^{-2}$) se atribuye al tamaño pequeño de la microparcela. No obstante, las dos metodologías aplicadas indican que la tasa media anual de erosión es baja.

En ocasiones, la turbiedad de la escorrentía es elevada, lo que se debe a que gran parte de los materiales erosionados son restos de materia orgánica de origen vegetal o de los excrementos de las ovejas. En este sentido, los problemas de la erosión aunque no se ven reflejados en el peso del material erosionado, si se verán reflejados a la larga por el empobrecimiento de los suelos al no regenerarse el horizonte orgánico. La escorrentía puede movilizar gran cantidad de materia orgánica debido a su fragmentación por el pisoteo del ganado y a su elevada flotabilidad, lo que facilitará su transporte fuera de la cuenca de drenaje.

Las elevadas tasas de escorrentía comentadas anteriormente explican la facilidad con que la materia orgánica (hojarasca y excrementos) es erosionada. El sobrepastoreo y la continua pérdida de la fracción orgánica producirá –de hecho ha producido durante siglos– la explotación de los suelos de la dehesa, lo que puede dar lugar a su degradación.

Tabla 5. *Respuesta erosiva de los suelos ante los chaparrones de 53,6 mm h⁻¹ durante una hora. Concentración de sedimentos en la escorrentía (Cs) y tasa de erosión (Te).*

	Cs	Te
Parcela	(g l ⁻¹)	(g m ² h ⁻¹)
A	0,34	12,35
B	0,39	4,34
C	0,64	7,15
D	0,50	12,13
E	0,41	5,41
Media	0,46	8,28
Std	0,12	3,75
Cv (%)	26,57	45,36

Desde el punto de vista geomorfológico es importante destacar que la concentración de sedimentos de la escorrentía se reduce con el tiempo. Es decir, a mayor duración de la lluvia, la concentración de sedimentos decrece como consecuencia del agotamiento del material disponible de ser erosionado (fig. 2). Así, se puede entender que en los suelos de la dehesa extremeña, el proceso de erosión está altamente condicionado por la existencia o no de material disponible de ser erosionado. Este material normalmente está compuesto por los excrementos de los animales (ovejas) y por los fragmentos de hierbas y hojarasca, lo que hace que la existencia o no de lluvias previas (lavado o no del suelo) determine las tasas de erosión. En este sentido, es de gran interés geomorfológico conocer el comportamiento de los suelos ante lluvias similares, pero después de lluvias que modifiquen las condiciones de humedad y material disponible a ser erosionado.

5. CONCLUSIONES

Los datos presentados corresponden a mediciones a partir de experimentos con lluvia simulada (53,6 mm durante una hora) durante un período seco (finales de mayo de 1995) sobre parcelas de 0,25 m². Con ello se ha caracterizado el proceso de transformación de la lluvia en escorrentía a escala de pedón. En el futuro es necesario llevar a cabo estas mismas mediciones durante estaciones húmedas para comprobar el efecto del agua edáfica sobre el suelo y las respuestas de éstos ante las lluvias. También son necesarios experimentos sobre parcelas mayores, así como la monitorización de cuencas de drenaje de distintas dimensiones, con el fin de conocer el efecto de la escala de medición sobre los procesos hidrológicos y erosivos.

A la escala de medición (0,25 m²), ante lluvias intensas (55 mm h⁻¹), y con niveles de humedad muy bajos, los suelos de la cuenca experimental de

Guadalperalón se caracterizan por generar elevados volúmenes de escorrentía debido a las reducidas tasas de infiltración cuando el suelo está saturado (27 mm h^{-1}). A pesar de las elevadas escorrentías, las tasas de erosión son bajas ($8 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$), lo que se debe a la reducida concentración de sedimentos en la escorrentía ($0,46 \text{ g l}^{-1}$). Esto último es atribuido fundamentalmente a la baja erodibilidad de los suelos y a una cubierta vegetal poco desarrollada. Es de especial importancia resaltar que el material transportado por la arroyada es en gran parte materia orgánica (restos vegetales y excrementos) lo que da lugar a la pérdida de nutrientes, y a la larga, a la degradación de los suelos y la desertificación del medio.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido financiado en el marco del proyecto AMB95/0986-C02-02 de la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT) y apoyado por la Junta de Extremadura, Dirección General de Enseñanzas Universitarias e Investigación, y Fondo Social Europeo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bernet Heguijuela, R.; Schnabel, S. & Gómez Amelia, D.** (1994): La cubierta vegetal como factor de degradación en una zona de Dehesa (Provincia de Cáceres). En: J. Arnáez, J.M. García Ruiz y A. Gómez Villar (eds.), *Geomorfología en España*, 211-225.
- Calvo, A.; Gisbert, B.; Palau, E. & Romero, M.** (1988): Un simulador de lluvia portátil de fácil construcción. En: M. Sala y F. Gallart (eds.): *Métodos y técnicas para la medición de procesos geomorfológicos*, S. E. G. Monografía 1, 6-15.
- Campos Palacín, P.** (1993): Valores comerciales y ambientales de las dehesas españolas. *Agricultura y Sociedad*, 66, 9-41. MAPA, Madrid.
- Ceballos, A.; Schnabel, S. & Cerdà, A.** (1996): El efecto de la escala sobre los procesos de escorrentía superficial. En: Grandal, A. y Pagés, J (eds). *IV Reunión de Geomorfología*, 91-102.
- Ceballos, A. & Schnabel, S.** (en prensa): Runoff generation in a small catchment under silvo-pastoral landuse in SW Spain. *Conference on Ecohydrological Processes in Small Basins*. ERB, Strasbourg (France).
- Cerdà, A.** (1993a): *La infiltración en los suelos del País Valenciano. Factores y variaciones espacio-temporales*. Tesis Doctoral, Universitat de València, 357 pp + apéndice.
- Cerdà, A.** (1993b): Metodologías para el estudio de la hidrología y erosión de superficies degradadas (badland) a partir de lluvia simulada. *Cuaternario y Geomorfología*, 7, 35-48.
- Cerdà, A.** (1995a): *Factores y variaciones espacio-temporales de la infiltración en los ecosistemas mediterráneos*. Geoforma Ediciones, Logroño, 151 pp.
- Cerdà, A.** (1995b): Seasonal variability of infiltration rates under contrasting slope conditions in Southeast Spain. *Geoderma*, 69, 217-232.
- Cerdà, A.; Imeson, A.C. & Calvo, A.** (1995): Fire and aspect induced differences on the erodibility and hydrology of soils at la costera, Valencia, Southeast Spain. *Catena*, 24, 289-304.

- Cerdà, A. & Lavee, H.** (1995): Escorrentía y erosión en los suelos del desierto de Judea. *Geographicalia*, 32, 17-36.
- Cerdà, A.; Schnabel, S.; Ceballos, A. & Gómez Amelia, D.** (en prensa): Soil hydrological response under simulated rainfall in the dehesa ecosystem, Extremadura, Sw Spain. *Earth Surface Processes and Landforms*.
- Font Tullot, I.** (1983): *Climatología de España y Portugal*. Instituto Nacional de Meteorología, Madrid, 295 pp.
- Gómez Amelia, D.** (1985): La Penillanura Cacerëña. Estudio Geomorfológico. Universidad de Extremadura, Cáceres, 397 pp.
- Gómez Amelia, D. & Schnabel, S.** (1992): Procesos sedimentológicos e hidrológicos en una pequeña cuenca bajo explotación de dehesa en Extremadura. En: López Bermúdez, F., Conesa García, C. & Romero Díaz, M.A. (eds.), *Estudios de Geomorfología en España*, 55-63.
- Llovet, J.; Bautista, S. & Cerdà, A.** (1994): Influencia de las lluvias otoñales sobre la respuesta hidrológica and erosiva de los suelos quemados en ambientes semiáridos. Benidorm. Alacant». En: J. Arnàez, J.M. García Ruiz y A. Gómez Villar (eds.): *Geomorfología en España*, 82-91.
- Meyer, L.D.** (1988): Rainfall simulators for soil conservation research. En: Lal, R. (ed.): *Soil Erosion Research Methods. Soil and Water Conservation Society/International Society of Soil Science*, 74-95.
- Schnabel, S.** (1997): *Soil Erosion and Runoff Production in a Small Watershed under Silvo-pastoral Landuse (Dehesas) in Extremadura, Spain*. Geoforma Ediciones, Logroño.
- Schnabel, S. & Gómez Amelia, D.** (1993): Variability of gully erosion in a small catchment in South-west Spain. *Acta Geológica Hispánica*, 28, 27-35.
- Schnabel, S.; Gómez Amelia, D. & Bernet Herguijuela, R.** (1996): La pérdida de suelo y su relación con la cubierta vegetal en una zona de dehesa. *Actas del VII Coloquio Ibérico de Geografía*, Cáceres, septiembre, 1995.
- United Nations** (1977): *Desertification: Its Causes and Consequences*. Pergamon Press. Oxford, 448 pp.