

ARTEMI CERDÀ BOLINCHES \*  
ROSINA NAVARRO MORENO

## TASAS DE EROSIÓN EN UNA SOLANA DE LA SERRA GROSSA. LA COSTERA

### RESUMEN

Mediante el uso de lluvia simulada (55 mm durante una hora) se estudia el comportamiento hidrológico y erosivo de los suelos de una ladera de exposición sur sobre calizas en la Serra Grossa, La Costera. Tanto las tasas de erosión ( $10 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ) como los coeficientes de escorrentía (12 %) son muy reducidos a la escala en que se ha realizado la medición ( $0.25 \text{ m}^2$ ). La posición en la ladera, la humedad del suelo y la concentración de sedimentos -al contrario que la vegetación y la tasa de escorrentía- no determinan las tasas de erosión cuando las mediciones se realizan bajo condiciones de sequedad extrema durante el verano.

Las bajas tasas de escorrentía durante el verano ante lluvias de elevada intensidad (5 años de periodo de recurrencia) y la prevista infiltración de la arroyada en las zonas de mayor infiltración permite predecir la inexistencia de escorrentía superficial directa (Hortoniana) a escala de ladera. Ello implica que los eventos en los que se puede producir erosión por arroyada superficial deben restringirse a aquellos de elevada magnitud y reducida frecuencia.

### ABSTRACT

By means of simulated rainfall (55 mm during one hour), the hydrological and erosional behaviour of soils have been studied in a south-facing slope underlying limestone in La Serra Grossa, La Costera. The erosion rates ( $10 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ) and the runoff coefficients (12 %) were very low at the scale of measurement ( $0.25 \text{ m}^2$ ). The slope position, the soil moisture and the sediment concentration -on the contrary to the vegetation and the runoff rate- do not determine the erosion rate when the measurements are carried out under extreme dry conditions during summer.

The low runoff rates during summer under thunderstorms of high intensity (5 years return period) and the run-on into surfaces with higher infiltration rates allow to foresee no direct surface runoff (Hortonian) at slope scale. This implies that erosion as a consequence of surface overland flow, only will take place during events of high magnitude and low frequency.

---

\* Departament de Geografia. Universitat de València.

## 1. INTRODUCCIÓN

La erosión del suelo es un proceso de degradación ambiental de gran trascendencia para la conservación de los actuales ecosistemas debido a las bajas tasas de regeneración de la capa edáfica. En climas semiáridos, donde las lluvias son escasas, irregulares e intensas, los procesos de erosión son muy activos, en parte porque los suelos están poco desarrollados y sus capacidades de retención hídrica son reducidas. Ello ha llevado a que algunos autores hicieran referencias a procesos de degradación generalizada y desertificación aplicados al ámbito del País Valenciano, especialmente cuando incendios forestales y usos del suelo poco apropiados favorecen el desarrollo de estos procesos (RUBIO, 1987). Esto ha dado lugar a cierto alarmismo y, con ello, a que las inversiones dedicadas a la investigación de los fenómenos de erosión aumentaran substancialmente (SALA *et al.*, 1991; ARNÁEZ *et al.*, 1994). Sin embargo, a pesar de la importancia de los procesos de erosión hídrica todavía existe poca información sobre ellos. Se desconocen los factores, los mecanismos básicos de transformación de la lluvia en escorrentía y existen actualmente muy pocas mediciones de procesos básicos como son la infiltración, generación de escorrentía y pérdida de suelo (THORNES, 1994).

A pesar de las reducidas precipitaciones y elevadas tasas de evapotranspiración, algunos paisajes semiáridos mantienen densas cubiertas vegetales, lo que hace que los suelos no sufran el impacto directo de la lluvia. Además, se ha comprobado que cuando la vegetación protege el suelo la escorrentía es muy reducida (CERDÀ, 1995), o bien se infiltra en los suelos desarrollados sobre los depósitos coluviales de las partes bajas (YAIR y LAVÉE, 1985).

La citada irregularidad climática de los medios semiáridos, junto a la elevada variabilidad espacial, ha provocado que estudios llevados a cabo mediante parcelas de erosión tradicionales (GERLACH, 1967) necesiten un número elevado de mediciones para

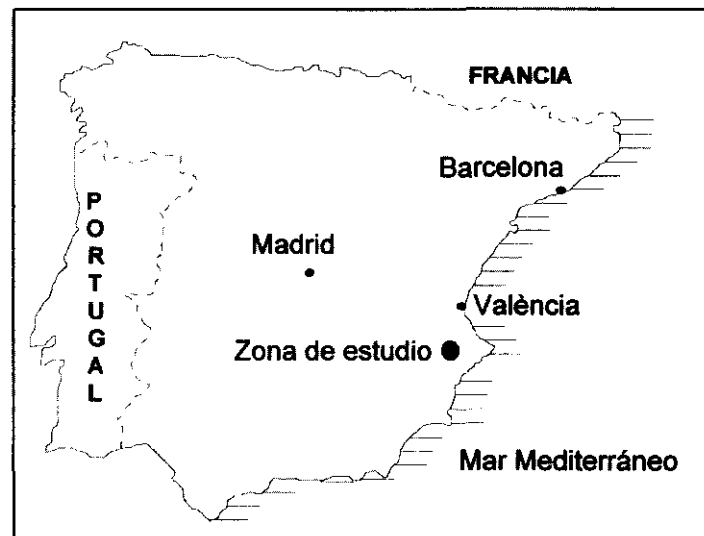


Fig. 1. Localización de la zona de estudio

que sean comparables entre parcelas y extrapolables a otros periodos y espacios geográficos. Ante este problema se diseñaron los primeros simuladores de lluvia, los cuales aparecieron en EE.UU. en los años 30. El desarrollo de esta técnica ha sido espectacular en las últimas décadas (CERDA, 1993a) y ha favorecido que el número de mediciones haya aumentado. Además de una mayor cantidad de mediciones, la lluvia simulada permite que éstas se realicen ante condiciones previas conocidas, lo que favorece una mejor comprensión de los procesos geomorfológicos (MEYER, 1988).

En este trabajo se da a conocer el comportamiento erosivo e hidrológico de suelos vegetados con matorral en una ladera sur sobre calizas durante la estación seca, el verano. Para ello se presentan las mediciones realizadas con un simulador de lluvia del tipo pulverizador a una intensidad de 55 mm h<sup>-1</sup> durante una hora, la cual tiene un periodo de recurrencia de 5 años en la zona de estudio. Se investigan los factores de la erosión y se discuten las implicaciones geomorfológicas del reducido caudal de la escorrentía y las bajas tasas de erosión.

## 2. ÁREA DE ESTUDIO

Las calizas, junto a las dolomías, son el roquedo más abundante en el País Valenciano. Los potentes paquetes de materiales jurásicos y cretácicos han dado lugar a grandes conjuntos montañosos: Caroig, Serra Grossa, Aitana, Mariola, Bèrnia, Benicadell, etc. La zona de estudio es representativa de estos ambientes (fig. 1). Allí, los suelos no presentan marcas de erosión, aunque factores como los incendios forestales, cultivos poco adecuados, sobrepastoreo u otros impactos antrópicos pueden alterar las bajas tasas de erosión y los altos niveles de retención de agua de los suelos.

La ladera sur seleccionada se localiza al sur de la provincia de Valencia, en el término municipal de Genovés, a una altura entre 300 y 370 m s. n. m. La cuenca estudiada



Fig. 2. Vista de la ladera sur objeto de estudio

es drenada por el Barranc de la Serra de la Creu, afluente por la derecha del Riu Albaida, y toda ella se encuentra sobre calizas masivas del Campaniense (IGME, 1981). La precipitación media anual es de 688 mm, aunque el mes de octubre alcanza el 20 % de las lluvias anuales y, en casos extremos, la precipitación diaria puede ser superior a la precipitación media anual. La temperatura media del mes más frío (enero) es de 9,9 °C y la del mes más cálido (agosto) de 26,7 °C.

La vegetación cubre el 70-75 % de la superficie, aunque los afloramientos rocosos son importantes en la parte alta. Las especies más abundantes son *Thymus vulgaris*, *Erica multiflora*, *Chamaerops humilis*, *Rosmarinus officinalis*, *Quercus coccifera*, *Sedum sediforme*, *Pinus halepensis*, *Globularia alypum*, *Rhamnus lycioides*, *Stipa tenacissima*, *Lygeum spartum* y *Thymus piperella*. Según la sectorización corológica de COSTA (1986), la zona de estudio corresponde a la Provincia Valenciano-Catalano-Provenzal-Balear, concretamente al Sector Setabense. Allí, el carrascal termófilo ha sido eliminado por el uso antrópico (cultivos, carboneras, pastoreo incendios, etc.) y la vegetación dominante son lentiscales y coscojares (*Quercus cocciferae-Pistacietum lentisci*). Diez años antes de las mediciones se produjo un incendio forestal que arrasó toda la cubierta vegetal, que en la actualidad está totalmente recuperada.

Las laderas presentan una concavidad basal, una convexidad en la cima y un tramo recto en la parte media (fig. 2). La gran cantidad de arcillas y limos rojos depositados en la base son una muestra de la desconexión de la base de la ladera de los cauces actuales, lo cual no deja de ser algo excepcional en las laderas del País Valenciano (CALVO, 1987). En la concavidad basal, la acumulación de *terra rossa* ha favorecido el abancalamiento para el cultivo de olivos, explotaciones que en la actualidad están abandonadas.

### 3. EXPERIMENTOS CON LLUVIA SIMULADA

El simulador de lluvia es del tipo pulverizador y está diseñado para ser utilizado en zonas de difícil acceso como la ladera estudiada. El tamaño de las parcelas es de 0,24 m<sup>2</sup>, aunque el área mojada es superior a 1 m<sup>2</sup> (ver figuras 3 y 4). La lluvia simulada siempre se ha producido con agua desionizada debido a la importancia de las sales en la generación de la escorrentía en medios semiáridos (SHAINBERG *et al.*, 1981; IMESON y VERSTRATEN, 1988).

Los experimentos consistieron en chaparrones de una hora de duración y un volumen de precipitación de 55 mm, lo que supone un periodo de recurrencia de 5 años (GARCÍA BARTUAL, 1986). Para periodos de recurrencia de 10 años, los chaparrones de una hora de duración tienen intensidades medias entre 80 y 90 mm h<sup>-1</sup> (ELÍAS y RUIZ, 1979). En todos los casos, se pretendía alcanzar la infiltración final estable para conocer la curva de escorrentía en su totalidad. El caudal se midió a intervalos de un minuto y cada 10 minutos se tomaron muestras con el fin de conocer la concentración de sedimentos de la arroyada y, con ello, las tasas de erosión. Una detallada explicación de la metodología y el tratamiento de los datos se puede encontrar en CERDÀ (1993a; 1993b; 1995).

Los experimentos se realizaron en los meses de julio y agosto de 1991. Se eligió el verano con el fin de que los suelos tuvieran semejante humedad previa, para que no alterase la variabilidad espacial de los procesos erosión y escorrentía. Aunque el invierno y la primavera de 1991 fueron muy húmedos (372 mm en enero), el verano fue extraordinariamente seco (junio, 0; julio, 6,4 y agosto, 1,5 mm). La humedad previa se midió a 0-2 y 4-6 cm de profundidad por gravimetría.



Fig. 3. Vista del simulador de lluvia

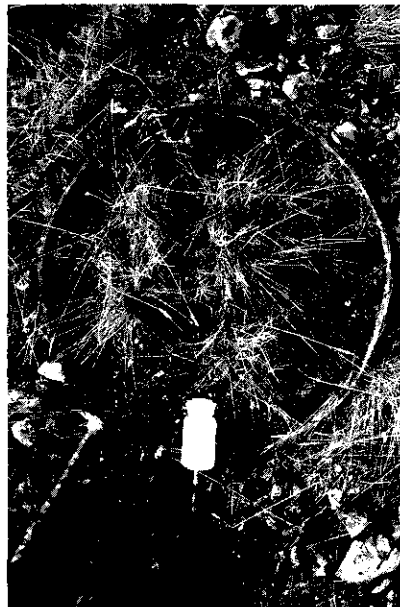


Fig. 4. Vista de una de las parcelas (55 cm de diámetro)

La selección de las parcelas se llevó a cabo tras la descripción de los suelos y la realización de inventarios botánicos. En cada una de las tres partes de la ladera estudiada -alta, media y baja- se repitieron el mismo número de experimentos (10) y se aplicaron los mismos métodos.

La curva de infiltración se ha obtenido mediante la substracción de las tasas de esco-rrentía de la precipitación, ajustando a los valores reales la ecuación de Horton (1940):

$$i = fc - (fo - fc) e^{-\alpha t}$$

Donde:

- $i$  = tasa de infiltración instantánea
- $fc$  = infiltración final o constante
- $fo$  = infiltración inicial
- $t$  = tiempo
- $\alpha$  = reducción exponencial de la tasa de infiltración instantánea

Para la determinación de la textura, contenido en materia orgánica, carbonato cálcico y densidad aparente se utilizaron los procedimientos estándar: sedimentación discontinua, Walkley-Black, calcimetría de Bernard y anillo, respectivamente (CERDÀ, 1993a; 1993b). Las muestras se tomaron en un transecto transversal a la pendiente en

PARTE LADERA	MO (%)	CO <sub>3</sub> Ca (%)	Densidad. (g cm <sup>3</sup> )	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)
<b>ALTA</b>						
1	2,50	6,70	1,03	68,35	20,52	11,13
2	2,15	3,60	1,09	67,72	20,66	11,62
3	4,23	8,00	1,01	63,93	20,50	15,57
4	3,45	6,30	1,12	63,98	21,72	14,30
5	1,54	2,65	1,17	55,04	20,13	24,83
Media	<b>2,77</b>	<b>5,45</b>	<b>1,08</b>	<b>63,80</b>	<b>20,71</b>	<b>15,49</b>
<b>MEDIA</b>						
1	4,65	3,54	0,89	66,43	20,06	13,51
2	2,99	6,50	1,21	65,54	21,66	12,80
3	3,12	7,80	1,10	69,45	19,42	11,13
4	4,15	6,50	1,05	57,31	23,28	19,41
5	2,60	6,60	1,06	52,10	19,32	28,58
Media	<b>3,50</b>	<b>6,19</b>	<b>1,06</b>	<b>62,17</b>	<b>20,75</b>	<b>17,09</b>
<b>BAJA</b>						
1	8,14	9,30	0,95	55,15	31,37	13,48
2	3,21	7,30	1,08	65,69	17,65	16,66
3	3,10	7,16	1,05	48,27	16,17	35,56
4	2,43	5,70	1,11	61,81	19,17	19,02
5	4,32	3,24	1,01	60,32	24,21	15,47
Media	<b>4,24</b>	<b>6,54</b>	<b>1,04</b>	<b>58,25</b>	<b>21,71</b>	<b>20,04</b>

Tabla 1. Contenido de materia orgánica y carbonato cálcico, densidad aparente y textura del suelo. En cada una de las partes de la ladera se seleccionaron a lo largo de una línea transversal a la pendiente cinco puntos separados entre si un metro. La muestra fue tomada en los cuatro centímetros superficiales

cada una de las tres partes de la ladera (alta, media y baja) y en cinco puntos separados entre sí un metro.

	<i>Liq</i>	<i>Mus</i>	<i>Pla</i>	<i>Cvt</i>	<i>Ave</i>	<i>Hoj</i>	<i>Prs</i>	<i>Pie</i>
<b>ALTA</b>	%	%	%	%	cm	%	cm	%
1	20	0	35	55	34	8	16	60
2	10	5	50	65	58	4	29	20
3	25	0	45	70	65	12	25	85
4	10	5	15	30	22	3	57	60
5	20	20	90	130	78	15	75	75
6	5	35	100	140	89	20	42	0
7	0	10	95	105	33	12	40	75
8	2	2	88	92	58	10	45	25
9	0	14	100	114	87	40	62	12
10	2	4	84	90	52	12	49	12
Media	9,4	9,5	70,2	89,1	57,6	13,6	44,0	42,4
<b>MEDIA</b>								
1	0	32	100	132	66	2	45	20
2	10	0	60	70	27	8	45	35
3	0	5	50	55	42	5	35	40
4	0	2	60	62	36	15	42	40
5	0	10	55	65	51	6	32	90
6	0	5	90	95	62	20	43	40
7	0	5	70	75	36	10	32	50
8	0	5	45	50	30	9	29	45
9	0	14	100	114	85	32	45	30
10	10	2	50	62	24	4	16	92
Media	2,0	8,0	68,0	78,0	45,9	11,1	36,4	48,2
<b>BAJA</b>								
1	0	10	100	110	35	0	21	24
2	0	8	100	108	60	32	29	35
3	0	1	80	81	30	4	27	90
4	0	15	100	115	69	8	21	23
5	0	0	35	35	10	12	14	45
6	0	3	60	63	19	3	14	40
7	5	9	20	34	31	0	12	60
8	0	1	25	26	24	0	10	80
9	0	8	55	63	19	12	14	65
10	0	10	100	110	54	15	21	65
Media	0,5	6,5	67,5	74,5	35,1	8,6	18,3	52,7

Tabla 2. Características de las superficies estudiadas. Parcelas (10) de la parte alta, media y baja de la ladera sur estudiada. Cubierta de líquenes (*Liq*), musgos (*Mus*) y plantas (*Pla*), cubierta total de vegetación (*Liq* + *Mus* + *Pla*) (*Cvt*), altura de la vegetación (*Ave*), cubierta de hojarasca (*Hoj*), profundidad del suelo (*Prs*) y cubierta de fragmentos de rocas (*Pie*)

#### 4. RESULTADOS

##### *Características de los suelos y la cubierta vegetal*

La ladera estudiada presenta suelos poco desarrollados, litosoles. Sólo en las hendiduras fruto de la disolución de la caliza se produce la acumulación de sedimentos, con lo que se favorece la formación de luvisoles. El análisis que aquí se presenta se refiere al horizonte superficial, concretamente los 4 primeros centímetros. La textura de los suelos es franco arenosa, aunque se observa que las texturas más groseras se encuentran en la parte alta de la ladera. Es de destacar que esta tendencia, encontrada a lo largo de la ladera en valores medios, es poco significativa si se observa la gran variabilidad dentro de cada ladera en puntos separados entre sí un metro (Tabla 1).

La materia orgánica en el suelo varía entre 2,77 % como valor medio de la parte alta y 4,24 % para la parte baja de la ladera. La parte media ocupa una situación intermedia (3,5 %). La densidad aparente del suelo -directamente relacionada con el contenido de la materia orgánica- sigue una tendencia semejante: 1,08, 1,06 y 1,04 g cm<sup>3</sup> respectivamente para la parte alta, media y baja de la ladera.

Como en el caso de la textura, las diferencias dentro de cada parte de la ladera es superior a las diferencias medias entre la parte alta, media y baja. Lo mismo ocurre para el carbonato cálcico, el cual aumenta ligeramente de 5,45 % en la parte alta hasta 6,54 % en la parte baja de la ladera, pasando por 6,19 % en la parte media.

La cubierta de los suelos es muy densa, tanto por la componente biótica (plantas y musgos) como por la pedregosidad (Tabla 2). Los líquenes sólo aparecen significativamente en la parte alta de la ladera, sobre afloramientos rocosos o piedras y, por lo tanto, no pueden afectar las tasas de erosión, escorrentía o infiltración. Los musgos y las plantas muestran cubiertas semejantes a lo largo de la ladera, aunque la distribución de la vegetación en manchas hace que la variabilidad espacial dentro de cada tramo de la ladera sea muy elevada.

La cubierta total de vegetación alcanza valores muy elevados: 89, 78 y 74 % para la parte alta, baja y media, respectivamente. La altura máxima media de la vegetación también es elevada, aunque las diferencias son más claras: 58, 46 y 35 cm para la parte baja, media y alta. Una tendencia similar se encuentra con respecto a la hojarasca: 14, 11 y 9 %, respectivamente.

Un comportamiento semejante al de las anteriores variables, lo encontramos en la profundidad del suelo, sin duda directamente relacionada con la altura de las plantas y el desarrollo edáfico. Así, el suelo tan sólo alcanza 18 cm de profundidad en la parte alta, mientras que en la parte media y baja de la ladera alcanza 36 y 44 cm respectivamente. Por el contrario, la cubierta de fragmentos de roca decrece desde la parte alta a la baja: de 53 al 42 %. La variabilidad espacial dentro de cada parte de la ladera es mayor que entre sus valores medios.

##### *Respuesta hidrológica*

##### **Humedad antecedente**

La humedad del suelo antes de los experimentos confirma que en todos los casos la situación previa corresponde a la del verano: suelos muy secos (Tabla 3). En la capa superficial del suelo (0-2 cm) y en valores medios, la humedad oscila entre



LADERA	PARTE ALTA			PARTE MEDIA			PARTE BAJA		
	<i>hs</i>	<i>hss</i>	<i>hsm</i>	<i>hs</i>	<i>hss</i>	<i>hsm</i>	<i>hs</i>	<i>hss</i>	<i>hsm</i>
Parcela	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1	0,8	4,2	2,5	2,1	1,9	2,0	1,8	4,3	3,0
2	2,1	4,1	3,1	2,2	4,2	3,2	3,6	6,7	5,2
3	1,3	5,4	3,3	0,6	5,7	3,2	3,9	6,5	5,2
4	1,3	5,4	3,3	2,0	6,1	4,0	3,0	6,0	4,5
5	1,2	2,1	1,7	1,3	5,4	3,3	4,0	6,2	5,1
6	2,0	6,1	4,0	0,8	4,2	2,5	1,5	6,5	4,0
7	1,6	5,4	3,5	0,9	4,2	2,5	1,7	6,5	4,1
8	0,9	7,9	4,4	0,9	5,3	3,1	1,9	4,7	3,3
9	2,0	5,0	3,5	4,3	5,4	4,9	2,1	3,2	2,7
10	2,6	3,2	2,9	2,5	7,0	4,8	2,7	4,2	3,5
Media	1,6	4,9	3,2	1,8	4,9	3,4	2,6	5,5	4,1

Tabla 3. Humedad del suelo antes de los experimentos a dos profundidades: 0-2 cm (*hs*) y 4-6 cm (*hss*), y su valor medio (*hsm*)

2,6 % en la parte baja, 1,6 % en la parte alta y 1,8 % en la parte media de la ladera. A una profundidad de 4-6 cm la humedad es claramente mayor: 5,5 % para la parte baja y 4,9 % para la parte media y alta de la ladera. A pesar de estas diferencias, los volúmenes de agua en el suelo son tan reducidos que se puede considerar como condiciones iniciales semejantes para todos los experimentos. También en este aspecto resalta la elevada variabilidad espacial dentro de cada uno de los tramos estudiados a lo largo de la ladera.

#### Cambios producidos por la lluvia

La respuesta ante la lluvia simulada -siempre de 55 mm h<sup>-1</sup> de intensidad y 60 minutos de duración- es muy variable. En cada parte de la ladera, las diferencias entre parcelas son muy elevadas, mientras que las diferencias entre cada uno de los tramos de las laderas no son significativas. El encharcamiento (*tp*) se produce en ocasiones muy rápidamente, incluso en el primer minuto, mientras que en otras aparece después de 10 minutos (9 mm de lluvia) o incluso no aparece tras 55 mm de precipitación durante 1 hora. Lo mismo ocurre con el inicio de la escorrentía (*tes*, tiempo de inicio de la medición de la escorrentía en la salida de la parcela o inicio del hidrograma), lo que confirma la elevada variabilidad espacial en la generación de la escorrentía en la ladera estudiada (Tabla 4).

#### Hidrogramas y balance hidrológico

Los volúmenes de agua infiltrada después de 60 minutos de lluvia son similares en la parte baja (46,7 mm), en la parte media (47,2 mm) y la parte alta (47,91 mm). La elevada variabilidad espacial dentro de cada parte de la ladera hace que estas diferencias sean insignificantes. También la escorrentía media presenta valores semejantes para cada tramo de la ladera: 6,26, 6,56 y 7,11 mm h<sup>-1</sup>, respectivamente para la parte alta, media y baja de la ladera.

Estas insignificantes diferencias entre las partes de las laderas se ven reflejadas por coeficientes de escorrentía que oscilan entre 0,11 para la parte alta de la ladera y 0,13 para la parte baja. Por el contrario, las diferencias entre parcelas son muy elevadas. Es posible

	<i>tp</i>	<i>tes</i>	<i>Vi60</i>	<i>Esm</i>	<i>Ce</i>
	min	min	mm	mm h <sup>-1</sup>	
<b>ALTA</b>					
1	2' 20"	4' 10"	39,10	14,30	0,26
2	5' 30"	8' 45"	47,62	6,57	0,12
3	1' 37"	7' 45"	46,88	5,65	0,10
4	3' 15"	4' 16"	35,98	17,86	0,32
5	6' 10"	7' 00"	52,68	2,39	0,04
6	9' 26"	11' 00"	53,51	1,51	0,03
7	8' 14"	11' 00"	51,54	3,15	0,06
8	4' 40"	5' 20"	46,70	7,04	0,13
9	np	nr	55	0	0
10	4' 40"	6' 00"	50,11	4,08	0,07
Media	<b>5' 06"</b>	<b>6' 55"</b>	<b>47,91</b>	<b>6,26</b>	<b>0,11</b>
<b>MEDIA</b>					
1	np	nr	55	0	0
2	3' 00"	6' 36"	46,30	7,38	0,13
3	2' 45"	3' 02"	31,46	20,79	0,38
4	4' 11"	8' 00"	45,44	7,87	0,17
5	3' 56"	8' 35"	48,89	5,24	0,10
6	11' 11"	22' 37"	54,10	1,12	0,02
7	8' 21"	17' 16"	51,38	3,08	0,06
8	10' 07"	11' 15"	44,60	7,87	0,14
9	np	nr	55	0	0
10	3' 42"	5' 18"	39,94	12,29	0,22
Media	<b>5' 54"</b>	<b>10' 20"</b>	<b>47,21</b>	<b>6,56</b>	<b>0,12</b>
<b>BAJA</b>					
1	11' 11"	22' 37"	54,20	1,11	0,02
2	np	nr	55	0	0
3	3' 56"	8' 35"	48,89	5,24	0,10
4	np	nr	55	0	0
5	4' 00"	9' 00"	43,16	14,74	0,27
6	4' 11"	8' 00"	45,87	7,48	0,16
7	2' 20"	4' 10"	46,34	7,88	0,14
8	1' 50"	3' 40"	33,26	15,54	0,30
9	5' 30"	5' 48"	32,36	19,11	0,35
10	np	nr	55	0	0
Media	<b>4' 43"</b>	<b>8' 49"</b>	<b>46,71</b>	<b>7,11</b>	<b>0,13</b>

Tabla 4. Parámetros hidrológicos. Tiempo de encharcamiento (*tp*), inicio de la escorrentía (*tes*), volumen de lluvia infiltrada hasta el minuto 60 (*Vi60*), tasa escorrentía media (*Esm*) y coeficiente de escorrentía (*Ce*). np, sin encharcamiento. nr, sin escorrentía

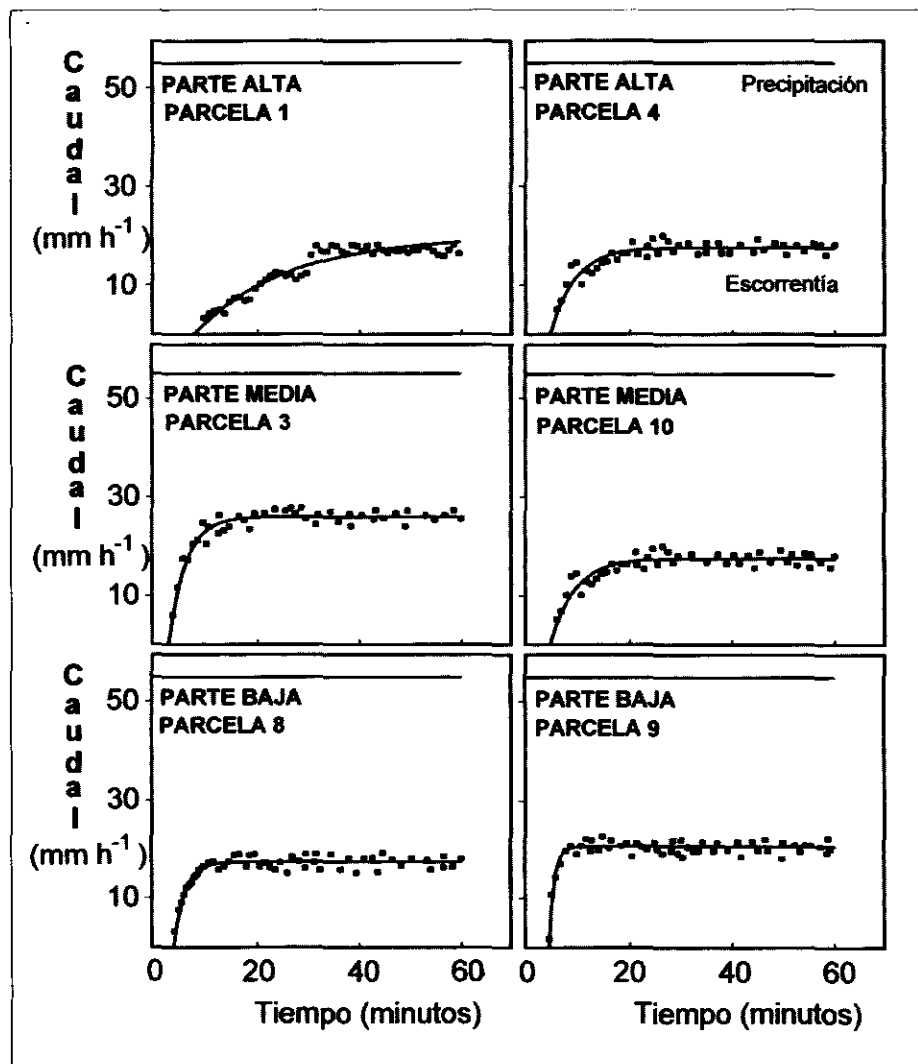


Fig. 5. Ejemplo de los hidrogramas con mayores caudales

	<b>Cs</b>	<b>Te</b>	<b>Tcs</b>
	g l <sup>-1</sup>	gr m <sup>2</sup> h <sup>-1</sup>	
<b>ALTA</b>			
1	1,69	24,17	-0,10
2	1,58	10,36	-0,06
3	2,26	12,76	-0,03
4	1,89	33,73	0,04
5	1,71	4,08	-0,05
6	2,52	3,81	-0,09
7	1,95	6,15	0,02
8	0,98	6,89	-0,06
9	0	0	nr
10	1,53	6,22	-0,08
Media	<b>1,61</b>	<b>10,82</b>	<b>-0,05</b>
<b>MEDIA</b>			
1	0	0	nr
2	1,87	13,77	-0,03
3	0,71	14,76	0,01
4	1,45	11,41	0,01
5	3,42	17,91	-0,19
6	1,68	1,87	0,03
7	1,54	4,74	0,01
8	0,91	7,16	-0,10
9	0	0	nr
10	0,73	9,03	-0,04
Media	<b>1,23</b>	<b>8,06</b>	<b>-0,04</b>
<b>BAJA</b>			
1	3,96	4,39	-0,10
2	0	0	nr
3	2,16	11,33	-0,08
4	0	0	nr
5	1,12	16,52	-0,02
6	1,70	12,72	-0,02
7	3,12	24,54	-0,18
8	0,81	12,54	-0,03
9	0,85	16,18	-0,02
10	0	0	nr
Media	<b>1,37</b>	<b>9,82</b>	<b>-0,07</b>

Tabla 5. Repuesta erosiva. Concentración de sedimentos (Cs), tasas de erosión (Te) y tendencia de la concentración de sedimentos (Tcs). Sin escorrentía (nr)

encontrar suelos con coeficientes de escorrentía superiores a 0,3 junto a otros en los que los chaparrones de 55 mm de lluvia durante una hora no generaron escorrentía y en los cuales ni siquiera el suelo se encharcó. Hay que destacar que aquella parte de la ladera (baja) que presenta coeficientes de escorrentía mayores es a su vez donde más superficies (30 %) sin escorrentía se han encontrado. En ésta, durante un chaparrón natural de las mismas características que el simulado, la reinfiltración de la escorrentía en los suelos con mayor capacidad de infiltración favorecerá incluso menores tasas de escorrentía.

En general, las tasas de infiltración son muy elevadas. Ello explica curvas de escorrentía con muy reducido caudal. En la figura 5 se presentan los seis hidrogramas con mayores caudales y en los que se observa que la escorrentía máxima normalmente se alcanza en los primeros 20 minutos.

#### *Respuesta erosiva. Pérdida de sedimentos*

La erosionabilidad de los suelos estudiados es muy baja. La concentración de sedimentos en la escorrentía es tan sólo de  $1,4 \text{ g l}^{-1}$  en término medio, lo que junto a las reducidas tasas de escorrentía da lugar a una exportación de sedimentos insignificantes (Tabla 5). El resultado son tasas de erosión muy reducidas, las cuales oscilan entre  $10,8 \text{ g m}^2 \text{ h}^{-1}$  en la parte alta,  $8 \text{ g m}^2 \text{ h}^{-1}$  en la parte media y  $9,8 \text{ g m}^2 \text{ h}^{-1}$  en la parte baja de la ladera. Estas diferencias son insignificantes en comparación con la alta variabilidad entre parcelas dentro de cada parte de la ladera. Así, la concentración de sedimentos oscila entre 0 y  $4 \text{ g l}^{-1}$ , mientras que la tasa de erosión alcanza  $34 \text{ g m}^2 \text{ h}^{-1}$  en unos casos y en otros es nula debido a la infiltración directa de toda la lluvia precipitada.

Es de gran interés geomorfológico conocer si la concentración de sedimentos (*Tcs*), aumenta o decrece con el tiempo ya que las tasas de erosión durante eventos de gran magnitud vendrán determinadas por estas tendencias. Los resultados demuestran que en general se produce una reducción de la concentración de sedimentos, la cual es mayor en la parte baja de la ladera (Tabla 5) donde todos los suelos presentan tendencias negativas, mientras que en las restantes posiciones existen algunos casos con tendencias positivas.

## 5. DISCUSIÓN

Debido a su latitud, los ecosistemas mediterráneos muestran grandes disparidades en su funcionamiento debido a la exposición (KIRBY, 1986; KIRBY *et al.*, 1990). Así, en las laderas sur la cubierta vegetal es menor, se distribuye de forma diferente y la composición florística es distinta a las de las laderas norte (GONZÁLEZ HIDALGO, 1992; 1994). También se han relacionado las laderas de exposición sur con tasas de erosión y escorrentía elevadas (LA ROCA *et al.*, 1988). A pesar de ello, en la ladera aquí estudiada, siempre en condiciones de humedad muy reducida típica del verano, la arroyada superficial es poco importante. El 20 % de los experimentos no produjeron escorrentía y en la mitad de ellos los caudales fueron menores que el 10 % de la precipitación. La elevada cubierta vegetal y de fragmentos de roca da lugar a que además de los caudales, la erosionabilidad de los suelos y las tasas de erosión sean muy reducidas.

No se ha encontrado ninguna relación entre las tasas de erosión y la posición en la ladera. En cambio, sí se ha encontrado una clara influencia de la cubierta vegetal (fig. 6)

como ya ha ocurrido en otros casos, tanto en el Mediterráneo como en otros ecosistemas (MEEWING, 1969; MUNN *et al.*, 1973; ELWELL y STOCKING, 1976; LEE y SKOGERBOE, 1985; BERDNTSSON *et al.*, 1985; WOO y LUK, 1990; SIMANTON, 1991; CERDÀ, 1995). A pesar de que los suelos presentan perfiles más profundos vertiente abajo, las texturas son ligeramente más finas y el contenido en materia orgánica es mayor, las diferencias entre los distintos tramos de las laderas -alto, medio y bajo- no son significativas desde el punto de vista de la arroyada superficial.

Por el contrario, la disposición de la vegetación determina el comportamiento hidrológico y erosivo de los suelos. La distribución de la vegetación en manchas de matorral más denso, especialmente *Quercus coccifera* y *Pistacea lentiscus*, y zonas pasillo menos vegetadas (*Thymus vulgaris*, *Globularia alypum*, etc.), está directamente relacionado con tasas de infiltración muy elevadas en el primer caso y bajas-medias en el segundo (CERDÀ, 1993a). Estas diferencias también son la explicación de tasas de erosión insignificantes en los suelos vegetados y algo mayores en las zonas pasillo desnudas de vegetación. El que estas últimas se caractericen por una importante cubierta de piedras hace que la pérdida de suelo se reduzca ostensiblemente y que siempre los valores absolutos sean muy reducidos. Sin duda, la influencia de la vegetación en el proceso de infiltración (DUNNE *et al.*, 1991; CERDÀ, 1995) y con ello sobre la generación de escorrentía, explica la elevada variabilidad espacial de las tasas de erosión.

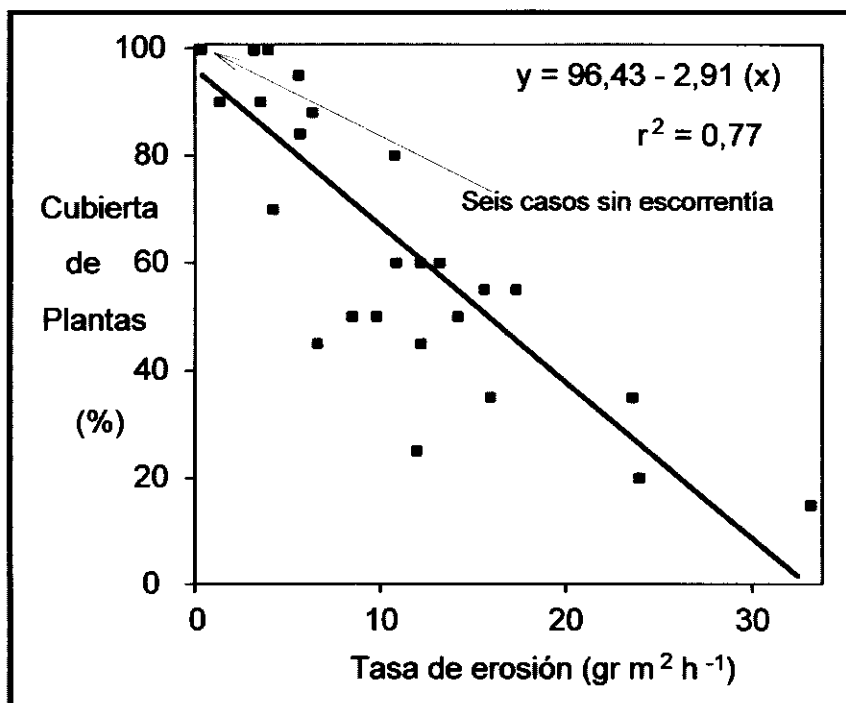


Fig. 6. Relación de la tasa de erosión con la cubierta de plantas.

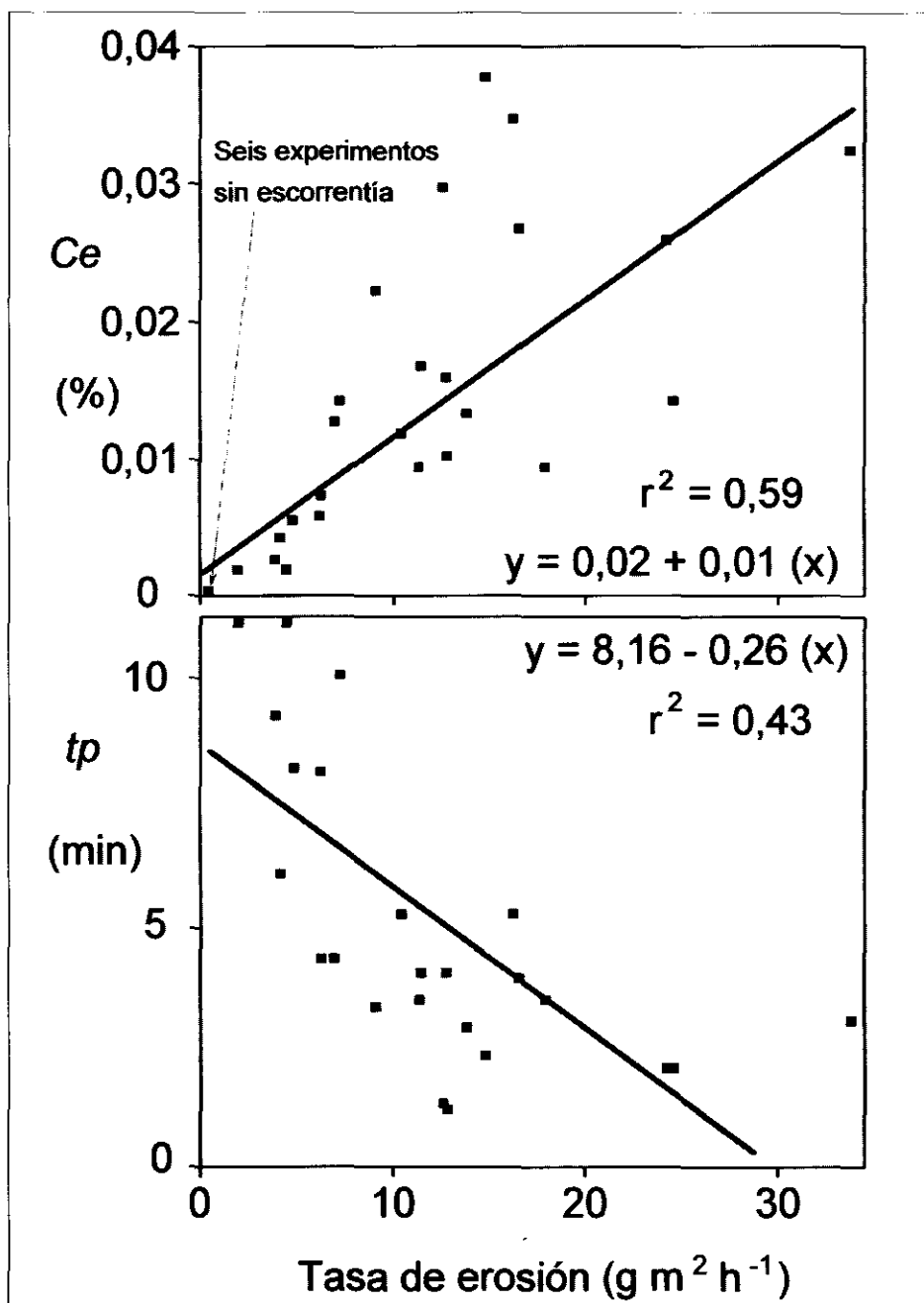


Fig. 7. Relación de la tasa de erosión con el coeficiente de escorrentía ( $C_e$ ) y el tiempo de inicio del encharcamiento ( $t_p$ )

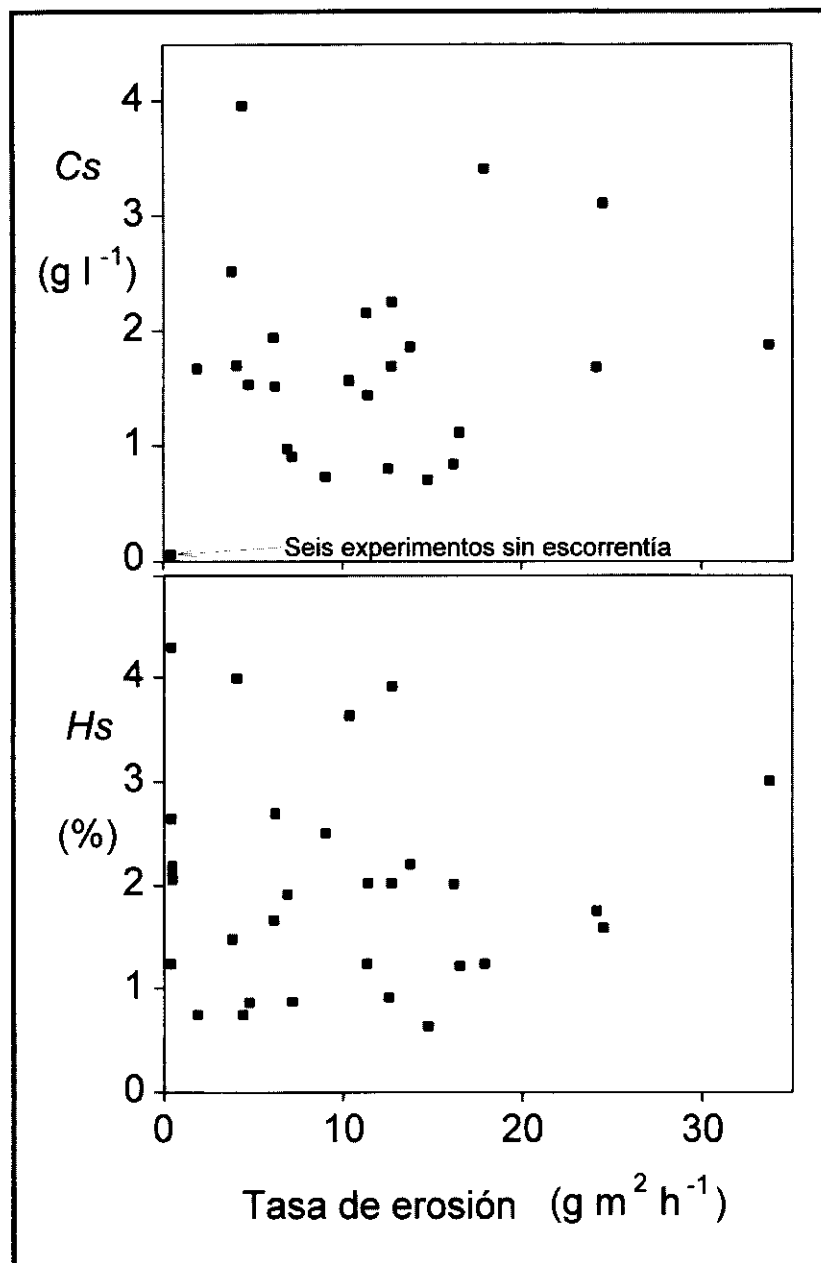


Fig. 8. Relación de la tasa de erosión con la concentración de sedimentos ( $C_s$ ) y la humedad previa de suelo en superficie ( $H_s$ ) (0-2 cm de profundidad)



En la figura 6 se muestra la relación negativa entre la tasa de erosión y la cubierta de plantas. En ella podemos distinguir entre las zonas muy vegetadas (> 80%) con insignificantes tasas de erosión (< 7 g m<sup>2</sup> h<sup>-1</sup>), zonas poco vegetadas (< 40 %) con tasas de erosión ligeramente mayores (> 12 g m<sup>2</sup> h<sup>-1</sup>) y finalmente una situación intermedia en ambos aspectos. En general, la dispersión de la muestra es muy elevada, lo que sin duda está relacionado con la multitud de factores que intervienen en el proceso de erosión hídrica (THORNES, 1985; MORGAN, 1986). Entre ellos cabe destacar la pedregosidad superficial, la cual favorece que las zonas menos protegidas por la vegetación sigan manteniendo tasas de erosión reducidas. Diferentes estudios demuestran la influencia positiva de la pedregosidad en la reducción de la exportación de sedimentos y agua (POESEN, 1986; ABRAHAMS y PARSONS, 1991; POESEN e INGELMO, 1992).

La tasa de erosión tiene una clara relación positiva con los coeficientes de escorrentía. Obviamente, cuanto mayor sea la escorrentía, mayor será la pérdida de suelo. Además, los suelos que producen un encharcamiento más rápido son los que tienen mayores tasas de erosión, sin duda como consecuencia de las rápidas y abundantes escorrentías (fig. 7). En cambio, la tasa de erosión no tiene relación alguna con la concentración de sedimentos, ya que la primera depende directamente de la escorrentía generada (fig. 8). Por lo tanto, la descarga hídrica es la que determina la pérdida de suelo.

En relación con la erodibilidad de los suelos, la concentración de sedimentos en la escorrentía decrece con el tiempo, lo que demuestra que el suministro de material se reduce durante el evento. Por tanto, las tasas de erosión decrecerán con el tiempo, una vez estabilizada la escorrentía. El que en estos suelos los agregados sean más estables cuando están húmedos puede explicar el menor suministro de sedimentos una vez mojado el suelo (CERDÀ, 1993c).

Al cambiar de escala, de parcela a ladera, y como en las cuencas de drenaje (WALLING, 1983), con el aumento del tamaño del área de medición las tasas de erosión deben decrecer por la infiltración de parte de la escorrentía superficial. Esto favorecerá la sedimentación de gran parte del material movilizado en las zonas vegetadas y dará lugar a un drástico decrecimiento de las tasas de erosión, hasta incluso sólo producirse una ligera redistribución de los sedimentos en las laderas, siendo insignificantes el volumen de sedimentos exportados respecto a los movilizados. Este proceso de redistribución de los sedimentos da lugar a que se desarrollen formas especiales en las laderas cuando la vegetación está distribuida en manchas (SÁNCHEZ y PUIGDEFÁBREGAS, 1994a; 1994b).

La humedad previa del suelo no muestra en este caso relación alguna con los procesos de erosión debido a la sequedad extrema encontrada en los suelos durante el verano (fig. 8). La homogeneidad de la humedad previa hace difícil que se encuentren diferencias entre las distintas parcelas experimentales. De gran interés sería comparar estos experimentos con otros realizados durante una estación húmeda, cuando la superficie debe haber sido limpiada de sedimentos por las lluvias precedentes. En esto deben influir los cambios en la estabilidad de los agregados, los cuales en zonas muy cercanas y con condiciones semejantes muestran diferencias muy importantes entre los periodos secos y los húmedos (BOIX *et al.*, 1994).

Las bajas tasas de escorrentía encontradas en el verano ante lluvias de elevada intensidad (5 años de periodo de recurrencia) y la prevista infiltración de la arroyada en las zonas de mayor infiltración permite predecir la inexistencia de escorrentía superficial directa, también denominada hortoniana (HORTON, 1933). Ello implica que los eventos en

los que se puede producir erosión por arroyada superficial directa deben restringirse a aquellos de elevada magnitud ( $> 55 \text{ mm h}^{-1}$ ) y reducida frecuencia ( $> 5$  años).

El matorral, básicamente *Quercus coccifera* y *Pistacia lentiscus*, se muestra muy eficiente en la reducción de la erosión como otros autores han demostrado (FRANCIS y THORNES, 1990a; 1990b). Hay una evidente interrelación entre las zonas con mayores tasas de erosión y menores cubiertas vegetales, y viceversa (THORNES, 1990). También se ha confirmado la elevada variabilidad espacial, aunque es menor a la medida por otros autores en zonas más áridas (SCOGING, 1982).

## 6. CONCLUSIONES

Los suelos desarrollados sobre laderas de exposición sur sobre calizas en la Serra Grossa, La Costera, presentan tasas de erosión y coeficientes de escorrentía muy reducidos en términos medios ante chaparrones de elevada intensidad (55 mm durante 1 hora) en condiciones de sequedad extrema durante el verano. Teniendo en cuenta que parte de la escorrentía superficial se reinfiltará en las zonas con elevadas tasas de infiltración, las cuales no generaron escorrentía durante los experimentos, y que el periodo de recurrencia de los eventos simulados es de cinco años, se puede concluir que la escorrentía superficial directa se producirá sólo durante eventos de elevada magnitud ( $> 55 \text{ mm h}^{-1}$ ) y reducida frecuencia ( $> 5$  años).

No existe relación alguna entre la posición de la ladera y las tasas de erosión. En cambio, la distribución de la vegetación controla la pérdida de suelo y los volúmenes de agua escurridos. La pérdida de suelo vendrá determinada por la escorrentía generada, ya que la concentración de sedimentos -normalmente baja- no influye en las tasas de erosión. La humedad previa no influye sobre las tasas de erosión.

## AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a Ana Blázquez y Esperanza Cassassola la ayuda prestada en el campo y el laboratorio, al Ministerio de Educación y Ciencia la concesión de una beca postdoctoral en el extranjero (Doctores y Tecnólogos en el Extranjero, 1995-1996) al primero de los autores y al profesor V.M. Rosselló la revisión y los comentarios del trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

- ARNÁEZ, J., GARCÍA RUIZ J.M. Y GÓMEZ VILLAR, A. (1994): *Geomorfología en España*, Editorial Geoforma, Logroño, tomo II, 467 p.
- ABRAHAMS, A.D. Y PARSONS, A.J. (1991): "Relation between infiltration and stone cover on a semiarid hillslope, Southern Arizona", *Journal of Hydrology*, 122, 49-59.
- BERDNTSSON, R., LARSON, M., DAHLBLOM, P., NGUYEN, V.L., HOGLAND, W. Y NIEMCZYNOWICZ, J. (1985): *Hydrological studies in Tunisia*, University of Lund, Rapport 3107, 132 p.
- BOIX, C., CALVO, A., SORIANO, M.D., Y TIENESSEN, I. (1994): *Variabilidad espacio-temporal de la agregación de suelos en laderas mediterráneas*. En J. ARNÁEZ, J.M. GARCÍA RUIZ Y A. GÓMEZ VILLAR, (Eds.): *Geomorfología en España*, 289-302.
- CALVO CASES, A. (1987): *Geomorfología de laderas en la montaña del País Valenciano*, I.V.E.I., Col. Politécnica, València, 301 p.
- CERDÀ, A. (1993a): *La Infiltración en los Suelos del País Valenciano. Factores y Variaciones*

- Espacio-Temporales*. Tesis Doctoral Inédita, Universitat de València. 357 p.
- CERDÀ, A. (1993b): "Metodología 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. (1993c): "Incendios forestales y estabilidad de agregados", *Cuad. de Geogr.*, 53, 1-16.
- CERDÀ, A. (1995): *Factores y Variaciones Espacio-Temporales de la Infiltración en los Ecosistemas Mediterráneos*, Editorial Geoforma, Logroño, 159 p.
- COSTA, M. (1986): *La vegetación en el País Valenciano*, Ser. Publ. Universitat de València, 246 p.
- DUNNE, T., ZHANG, W. Y AUBRY, B.F. (1991): "Effects of rainfall, vegetation and microtopography on infiltration and runoff", *Water Resources Research*, 27, 9, 2271-2285.
- ELÍAS, J. y RUIZ BELTRÁN, L. (1979): *Precipitaciones Máximas en España*, Ministerio de Agricultura, Madrid, 545 p.
- ELWELL, H.A. Y STOCKING, M.A. (1976): "Vegetal cover to estimate soil erosion hazard in Rhodesia", *Geoderma*, 15, 61-70.
- FRANCIS, C.F. Y THORNES, J.B. (1990a): *Matorral: Erosion and Reclamation*. En ALBALADEJO, J., STOCKING, M.A. y DÍAZ, E. (Eds.): *Degradación y Regeneración del suelo en condiciones ambientales mediterráneas*, 86-115.
- FRANCIS, C.F. Y THORNES, J.B. (1990b): *Runoff hydrographs from Three Mediterranean Vegetation Cover Types*. En THORNES, J.B. (Ed.): *Vegetation and Erosion*, 365-384.
- GARCÍA BARTUAL, R. (1986): *Estructura estocástica de los hietogramas correspondientes a precipitaciones extremas*. Tesis de licenciatura, Universidad Politécnica de Valencia, 252 p.
- GERLACH, T. (1967): *Evolutions actuelles des versants dans les Carpathes, d'après l'exemple d'observations fixes*. En MACAR, P. (Ed.): *L'évolution des versants*, 129-138.
- GONZÁLEZ HIDALGO, J.C. (1992): *Pautas Espaciales de la Erosión Hídrica en el Semiárido Aragonés. Exposición Topográfica y Cubierta Vegetal, Factores de Erosión*, Tesis Doctoral Inédita, Universidad de Zaragoza, 375 p.
- GONZÁLEZ HIDALGO, J.C. (1994): "Relaciones hídricas suelo/planta afectadas por la exposición de la ladera", *Studia Ecologica*, X-XI, 89-100.
- HORTON, R.E. (1933): "The role of infiltration in the hydrologic cycle", *EOS Trans A.G.U.*, 14, 446-460.
- HORTON, R.E. (1940): "An approach toward a physical interpretation of infiltration capacity", *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, 5, 399-417.
- IGME (1981): *Mapa Geológico de España* (E:1/50.000). Játiva (Hoja 795).
- IMESON, A.C. Y VERSTRATEN, J.M. (1988): "Rills on badland slopes: a physico-chemical controlled phenomenon", *Catena supplement* 12, 139-50.
- KIRBY, M.J. (1986): *Conditions for valley asymetry derived from a slope evolution model*, Working paper 477, Leeds Univ., School of Geography.
- KIRBY, M.J., ATKINSON, K. Y LOCKWOOD, J. (1990): *Aspect, Vegetation Cover and Erosion on Semi-arid Hillslopes*. En J.B. THORNES (Ed.): *Vegetation and Erosion*, 25-40.
- LA ROCA, N., CABRELLES, J.L., DUPRÉ, M., QUILES, X., TORREGROSA, A. Y VIÑALS, M.J. (1988): "Arroyada superficial y erosión", Estación experimental de Requena, Valencia, *Cuaternario y Geomorfología*, 1, 43-56.
- LEE, C.R. Y SKOGERBOE, J.G. (1985): *Quantification of erosion control by vegetation on problem soils*. En EL SWAIFY, W.C., MOLDENHAUER, W.C. Y LO, A. (Eds.): *Soil Erosion and Conservation*, Soil Conservation Soc. America, 437-444.

- MEEWING, R.O. (1969): "Infiltration and soil erosion as influences by vegetation and soil in northern Utah", *Journal of Range Management*, 23 (3) 185-188.
- MEYER, L.D. (1988): Rainfall simulators for soil conservation research, En LAL, R. (Ed.): *Soil Erosion Research Methods*, 74-95.
- MORGAN, R.P.C. (1986): *Soil Erosion and Conservation*, Longman, New York, 298 p.
- MUNN, D.A., MCLEAN, E.O., RAMÍREZ, A. Y LOGAN, T.J. (1973): "Effect of soil, cover, slope, and rainfall factors on soil and phosphorus movement under simulated rainfall conditions", *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 37, 428-431.
- POESEN, J. (1986): "Surface sealing as influenced by slope angle and position of simulated stones in the top layer of loose sediments", *Earth Surfaces Processes and Landforms*, 11, 1-10.
- POESEN, J. E INGELMO, F. (1992): "Runoff and sediment yields from topsoils with different porosity as affected by rock fragment cover and position", *Catena*, 19, 451-474.
- RUBIO, J.L. (1987): "Desertificación en la Comunidad Valenciana: antecedentes históricos y situación actual de la erosión", *Revista Valenciana d'Estudis Autònoms*, 7, 231-258.
- SALA, M., RUBIO, J.L. y GARCÍA-RUIZ, J.M. (1991): *Soil Erosion Studies in Spain*, Geoforma Ediciones, Logroño, 228 p.
- SÁNCHEZ, G. Y PUIGDEFÁBREGAS, J. (1994a): "Interactions of plant growth and sediment movement on slopes in a semi-arid environment", *Geomorphology*, 9, 243-260.
- SÁNCHEZ, G. Y PUIGDEFÁBREGAS, J. (1994b): "Simulación del desarrollo de macollas de esparto (*Stipa tenacissima* L.) en relación a la arquitectura y el transporte de sedimentos", *Studia Oecologica*, X-XI, 211-219.
- SCOGING, H. (1982): *Spatial variations in infiltration, runoff and erosion on hillslopes in semi-arid Spain*. En BRYAN, R. y YAIR, A. (Eds.): *Badland geomorphology and piping*, 89-112.
- SHAINBERG, I., ROADES, J.D. Y PRATHER, R.J. (1981): "Effect of low electrolyte concentration on clay dispersion and hydraulic conductivity of a sodic soil", *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 45, 273-277.
- SIMANTON, J.R. (1991): "Revegetation of Semiarid Rangelands: Problems, Procedures, and Probabilities", *Rangelands*, 13 (3) 129-132.
- THORNES, J.B. (1985): "The ecology of erosion", *Geography*, 70 (3), 222-36.
- THORNES, J.B. (1990): *The Interaction of Erosional and Vegetational Dynamics in Land Degradation: Spatial Outcomes*. En THORNES, J. B. (Ed.): *Vegetation and erosion: Processes and Environments*, 41-54.
- THORNES, J.B. (1994): *Catchment and Channel Hydrology*. En ABRAHAMS, A.D. y PARSONS, A.J. (Eds.): *Geomorphology of Desert environments*, 257-287.
- WALLING, D.E. (1983): "The sediment delivery problem", *Journal of Hydrology*, 65, 209-237.
- WOO, M.-K. y LUK, S.-H. (1990): "Vegetation effects on soil and water losses on weathered granitic hillslopes, south China", *Physical Geography*, 11 (1) 1-16.
- YAIR, A. y LAVEE, H. (1985): *Run off generation in arid and semi-arid zones*. En ANDERSON y BURT, T.P. (Eds.): *Hydrological Forecasting*, 183-220.