

Cuadernos I. Geográfica	20-21	pp. 47-63	Logroño	1994-95
-------------------------	-------	-----------	---------	---------

RELACIONES ENTRE LAS PÉRDIDAS DE AGUA, SUELO Y SEMILLAS EN ZONAS ACARCAVADAS. INFLUENCIA DE LA PENDIENTE

ARTEMI CERDÀ¹
PATRICIO GARCÍA-FAYOS²

RESUMEN. A partir de experimentos con lluvia simulada se estudian las relaciones entre la pérdida de suelo, agua y semillas en suelos degradados de cárcavas. Los volúmenes de agua exportados después de 40 minutos de lluvia a una intensidad de 55 mm h⁻¹ son muy elevados. El encharcamiento y la escorrentía son casi instantáneas y las curvas de escorrentía presentan pronunciadas pendientes debido a las reducidas tasas de infiltración (2 mm h⁻¹). Esto, junto a la elevada erosionabilidad de los suelos (concentración de sedimentos superior a 70 g l⁻¹), hacen que las tasas de erosión sean elevadas (3 Kg m² h⁻¹). Por otra parte, las pérdidas de semillas son muy reducidas. Otros estudios serán necesarios para explicar la razón de la inexistencia y no regeneración de la cubierta vegetal.

El tiempo de encharcamiento y escorrentía están positivamente relacionados ($r^2 = 0,71$), como también lo están la concentración de sedimentos y la tasa de erosión ($r^2 = 0,83$). Relaciones menos claras existen entre el coeficiente de escorrentía y la tasa de erosión ($r^2 = 0,35$), la tasa de erosión y la pérdida de semillas ($r^2 = 0,26$), y el coeficiente de escorrentía y la pérdida de semillas ($r^2 = 0,58$).

ABSTRACT. By means of simulated rainfall experiments, the dynamics of the soil, water and seed losses are studied in degraded soils of gullies. The runoff discharge reached after 40 minutes at an intensity of 55 mm h⁻¹ is very high. Ponding and runoff are almost instantaneous and the runoff curves are very steep because the low infiltration rates (2 mm h⁻¹). The aforementioned characteristics together with the high erodibility of the soils (sediment concentration is higher than 70 g l⁻¹) result in very high erosion rates (3 Kg m² h⁻¹). On the other hand, the seed losses are very low. Further studies will be necessary to explain the non-existence and the non-regeneration of the vegetation cover in the gullies.

1. Departament de Geografia. Universitat de València. 46080 - Valencia
2. Departamento de Desertificación, CSIC-IATA. Valencia

The time to ponding and time to runoff has a positive relationship ($r^2 = 0,71$), as does the runoff sediment concentration and the erosion rates ($r^2 = 0,83$). Less defined relationships exist between the runoff coefficient and the erosion rate ($r^2 = 0,35$), the erosion rate and seed losses ($r^2 = 0,26$), and the runoff coefficient and seed losses ($r^2 = 0,58$).

Palabras clave: Badlands, Hidrología, Erosión, Semillas, Lluvia simulada

Key words: Badlands, Hydrology, Erosion, Seeds, Simulated Rainfall

1. Introducción

Los Badlands son paisajes en los que la vegetación es reducida o inexistente, donde los suelos consisten en una capa de regolita de pocos centímetros de profundidad lo que hace inviables las actividades agrícolas debido a la activa dinámica de los procesos geomórficos superficiales y a sus geformas. Los badlands pueden ser considerados como laboratorios geomorfológicos en miniatura (CAMPBELL, 1974; YAIR *et al.*, 1980; ALEXANDER, 1982; HARVEY y CALVO, 1989) ya que cambios morfológicos en los cauces y en las laderas se producen en cada chaparrón, lo que permite obtener datos de la evolución de las superficies en periodos reducidos. Todo esto ha suscitado el interés de muchos geomorfólogos (HARVEY, 1982; LARONNE, 1982; IMESON, 1983; SDAO *et al.*, 1984; BERNDTSSON, 1988; ALEXANDER y CALVO, 1990; BENITO *et al.*, 1991) y revisiones de distintos aspectos, así como estudios monográficos (BRYAN y YAIR, 1982; CLOTET *et al.*, 1987; ARNÁEZ VADILLO, 1988; CAMPBELL, 1989;).

Se sabe muy poco de la relación entre procesos como la infiltración, la escorrentía y la erosión de suelo y semillas en las zonas acarcavadas así como de la influencia que sobre estos tienen factores como las grietas y la pendiente. El conocimiento de dichas relaciones es básico para entender el funcionamiento de los sistemas geomórficos (GREGORY y WALLING, 1973). La cuantificación de las anteriores variables es difícil en ambientes vegetados, donde prácticamente toda la precipitación es interceptada o infiltrada directamente (BETSON, 1964; DUNNE y LEOPOLD, 1978; CERDÀ, 1995a). En cambio, en los badlands los procesos superficiales son más activos, lo que da lugar a morfologías espectaculares, que han fascinado a los geomorfólogos al mismo tiempo que inhibido el uso agrícola (HOWARD, 1994).

Los badlands se originan normalmente en zonas semiáridas, donde la precipitación además de ser escasa presenta una elevada variabilidad espacial y temporal. Esto, junto a litologías muy erosionables, explica que los procesos geomorfológicos superficiales sean tan intensos. Las características de las lluvias, esencialmente su irregularidad, hacen que su estudio sea muy difícil y costoso

mediante eventos naturales, lo que ha hecho que gran parte de las observaciones y mediciones se lleven a cabo mediante lluvia simulada (BRYAN y YAIR, 1982).

Con el fin de determinar las relaciones entre los principales parámetros hidrológicos y erosivos, y la influencia sobre éstos de la pendiente, se han elegido 13 parcelas de morfología semejante en las laderas de la cuenca experimental de Petrer (CERDÀ, 1995a). En ellas se han realizado experimentos mediante la aplicación de chaparrones de características idénticas para que la variabilidad de la precipitación no afectara las relaciones entre los procesos geomorfológicos (DUNNE et al., 1991)

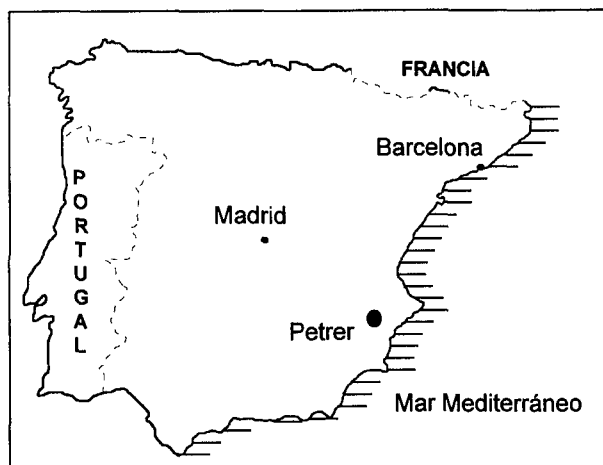


Figura 1. Localización de la zona de estudio de Petrer



Figura 2. Vista de la zona de estudio de Petrer



Figura 3. Vista de una ladera. Los regueros, el encostramiento superficial, el agrietamiento y la falta de vegetación son las características más destacables



Figura 4. Parcela de simulación de lluvia



Figura 5. Vista del simulador de lluvia

2. Metodología

Para el estudio se seleccionó una típica zona de badlands en el sudeste de la Península Ibérica, Petrer (Fig. 1 y Fig. 2), en la cual se han llevado a cabo estudios previos (HARVEY y CALVO, 1989; CALVO *et al.*, 1991; HARVEY y CALVO, 1991; CERDÀ, 1993a; CERDÀ, 1995a; CERDÀ, 1995b). En las laderas se seleccionaron trece parcelas con morfología semejantes, ya que este aspecto influye sobre la respuesta hidrológica, como han demostrado anteriores estudios (PAYÀ y CERDÀ, 1992). Todos los experimentos se realizaron en las laderas, habiéndose tratado los *pediments* en otros trabajos (CERDÀ, 1993a).

En este estudio se aborda la problemática a escala menor a 1 m², es decir, las superficies entre-regueros (Fig. 3 y Fig. 4). Por ello, los experimentos han sido llevados a cabo en parcelas de 0,24 m² mediante lluvia simulada generada por un simulador de lluvia portátil, el cual puede ser utilizado en laderas con fuertes pendientes como las de los badlands (CERDÀ, 1995a) (Fig. 5). Las cárcavas de Petrer se han desarrollado sobre margas cretácicas, apareciendo suelos desnudos (badlands) tanto en las laderas norte como en las sur, aunque en este último caso su desarrollo es menor. Todos ellos están relacionados con la incisión del anterior valle pleistoceno debido al diapirismo de la zona y el abancalamiento y posterior abandono del fondo de valle (RODRÍGUEZ AIZPEOLEA, 1992). Las condiciones climatológicas se caracterizan por la baja precipitación media anual: de 296 a 339 mm según autores (GEIGER, 1970; PAYÀ y CERDÀ, 1992). La temperatura media anual es de 16 °C, con un máximo de 25,7 °C en agosto y 11,4 °C en enero. La media anual de días de lluvia es de 33.

Los experimentos se realizaron en la primavera de 1994 cuando los suelos mantenían niveles de humedad bajos (3-6 % en superficie). La duración de cada chaparrón fue de 40 minutos a una intensidad de 55 mm h⁻¹. El periodo de retorno de estos chaparrones es de 7-8 años en la zona de estudio (ELÍAS y RUIZ, 1979).

En todos los suelos la vegetación es inexistente y las pendientes elevadas (mayor a 20°). Las parcelas tienen una longitud de 55 cm, colocándose 24 semillas de las especies más representativas de la zona en la parte superior de la parcela a 30 cm de la salida. Las especies son las siguientes: *Cheirolophus intybaceus*, *Helichrysum stoechas* y *Phagnalon saxatile* (Compuesta), *Cistus albidus* (Cistacea), *Erica multiflora* (Ericacea), *Lygeum spartum* (Gramineae), *Moricandia arvensis* (Crucifera), *Pistacea lentiscus* (Anacardiacea), *Salsola genisoides* (Quenopodiacea) y *Sedum sediforme* (Crassulacea). Previamente las semillas fueron secadas al aire en el laboratorio y tintadas con anilina azul para detectar sus movimientos con facilidad en el campo.

Se tomaron muestras del caudal cada 30 ó 60 segundos para conocer la curva de escorrentía completa cómo se explica en CERDÀ (1993b). Al menos tres veces se tomaron muestras para determinar la concentración de sedimentos y las tasas de erosión. En tres casos la concentración de sedimentos de la escorrentía se muestreó a intervalos de un minuto (todo el caudal) con el fin de conocer con mayor precisión los cambios temporales de la erosionabilidad de los suelos. Los 40 minutos de duración de los experimentos fueron suficientes para alcanzar las tasas de infiltración final estable (CERDÀ, 1993a).

El tiempo de encharcamiento (tp) se midió de forma visual (40 % de la superficie está encharcada). El inicio de la escorrentía (tr) se determinó cuando ésta se inicia en el colector. La curva de escorrentía/infiltración se modeliza según la ecuación de HORTON (1940) como se explica en CERDÀ (1993a):

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

Donde: f = tasa de infiltración instantánea

fc = tasa de infiltración final estable

fo = tasa de infiltración inicial ($t = 0$)

α = constante empírica (forma de la curva de infiltración)

El tamaño de las grietas se obtuvo con 30 mediciones aleatorias dentro de las parcelas. Las muestras de suelo se tomaron en superficie (0-2 cm). La experiencia demuestra que en estos suelos los frentes de humedad no superan los 4-5 cm y normalmente son menores a 3 cm (CERDÀ, 1993a). La humedad previa del suelo se midió por el método gravimétrico y la concentración de sedimentos por desecación. La materia orgánica por el método de Walkley-Black, la textura por el de sedimentación discontinua (clasificación USDA), el carbonato cálcico mediante la calcimetría de Bernard y la densidad aparente por medio de muestras inalteradas tomadas con anillo.

3. Resultados

3.1. Morfología y características básicas de los suelos

Los suelos estudiados corresponden a la morfología más extendida en la zona de estudio (ver CALVO et al., 1991; PAYÀ y CERDÀ, 1992). Las superficies presentan bajas cubiertas de fragmentos de rocas, nulas cubiertas vegetales y costros superficiales muy densas con un elevado índice de agrietamiento. Las grietas alcanzan anchuras de hasta 1 cm (de 4 a 10 mm) y forman polígonos de 5-10 cm de anchura. Estas grietas alcanzan profundidades de 3-4 cm y en ocasiones están

conectadas a la red de fracturas de la roca madre. También existe una segunda red de grietas de menor anchura (1 mm) y profundidad (1-3 mm) aunque no llegan a formar una red de polígonos permanente (Fig. 3b).

La materia orgánica de los suelos es insignificante (0,23 %) (tabla 1). La densidad aparente (1,52 g cm³) y el contenido en carbonato cálcico (68,07 %) son muy altos. La textura es franco-arcillo-limosa (tabla 1). La estructura de estos suelos es débil, con consistencia dura en seco y friable/muy friable en húmedo, y muy adherente y plástica en mojado. Aunque los suelos pueden ser clasificados como regosoles, en realidad tienen un espesor de 3-5 cm de regolita. La pendiente en todos los casos es muy elevada, variando entre 22° y 55° en los diez casos estudiados con una media de 36°.

Tabla 1. Principales características de los suelos.

<i>Parcelas</i>	<i>MO</i> (%)	<i>Arena</i> (%)	<i>Limo</i> (%)	<i>Arcilla</i> (%)	<i>Densidad</i> (g cm ³)	<i>CaCo₃</i> (%)	<i>Pendiente</i> (°)
1	0,12	9,25	45,32	45,43	1,45	70,25	25
2	0,45	8,64	56,35	35,01	1,52	65,35	25
3	0,14	10,26	48,25	41,53	1,46	62,54	40
4	0,35	9,25	56,35	34,40	1,48	63,41	42
5	0,24	7,38	52,34	40,28	1,55	68,26	35
6	0,42	10,22	51,40	38,38	1,49	70,15	35
7	0,19	9,58	48,99	41,93	1,63	72,54	25
8	0,08	7,36	52,32	40,32	1,54	70,12	25
9	0,17	6,58	48,56	44,84	1,52	68,25	22
10	0,06	5,36	56,35	38,29	1,46	63,14	40
11	0,29	9,27	57,36	33,37	1,60	64,90	30
12	0,23	11,25	51,20	37,55	1,52	69,64	50
13	0,26	12,02	46,35	41,63	1,54	70,25	55
Media	0,23	8,83	52,12	39,1	1,53	68,07	35,9

Materia orgánica (MO), textura, densidad aparente, carbonato cálcico y pendiente en las superficies de cada una de las parcelas

3.2. Respuesta hidrológica y erosiva

La lluvia origina cambios muy importantes en las superficies de los badlands, y además éstos se producen muy rápidamente (tabla 2). El encharcamiento aparece entre el minuto 1' 0" y 2' 56" y el inicio de la escorrentía en la salida de la parcela -inicio del hidrograma- entre los minutos 1' 51" y 4' 10". Es de destacar que el inicio del encharcamiento se retrasa casi dos minutos desde el comienzo de la lluvia, lo que es debido a la sequedad del suelo y a que el encharcamiento

generado en la zona entre grietas se infiltra en estas últimas. Esto explica el retraso de más de un minuto entre el encharcamiento (minuto 1' 59") y el inicio del hidrograma (minuto 3' 04"). A pesar de ello, a escala de 55 cm -longitud de la parcela- la escorrentía se genera rápidamente, siendo los volúmenes exportados fuera de la parcela el 75 % de la lluvia.

Estos elevados volúmenes de escorrentía se deben a las bajas tasas de infiltración final estable (2 mm h^{-1}), y a que los caudales se inician rápidamente y alcanzan las tasas máximas con gran rapidez (Fig. 6). Por lo que respecta a la tasa de infiltración final estable es muy reducida. En algunos casos, el ajuste de la ecuación de Horton da lugar a valores negativos, debido a valores puntuales en la curva de escorrentía o a formas ligeramente distintas a la prevista por el modelo de Horton (ver prueba 04 en la figura 6a).

Tabla 2. Principales parámetros hidrológicos y erosivos.

Parcelas	tp min	tr min	CE	fc mm h^{-1}	cs g l^{-1}	er $\text{g m}^2 \text{h}^{-1}$	sl (%)
1	1' 00"	1' 51"	0,64	3,91	54,16	1818,17	3,90
2	2' 56"	3' 31"	0,76	4,08	47,22	1925,75	2,65
3	1' 35"	2' 20"	0,90	2,43	69,51	3407,09	8,90
4	1' 30"	3' 20"	0,65	-2,79	65,09	2255,82	2,92
5	2' 40"	3' 27"	0,51	6,51	64,50	1748,23	0,48
6	1' 50"	2' 05"	0,85	1,71	62,92	2876,33	7,92
7	2' 30"	4' 00"	0,73	3,27	50,79	1980,22	1,67
8	1' 39"	2' 30"	0,78	2,42	70,70	2974,35	2,50
9	1' 50"	2' 40"	0,75	0,34	65,64	2624,35	2,50
10	1' 40"	2' 35"	0,81	0,18	63,15	2761,76	4,58
11	1' 40"	2' 20"	0,78	5,56	64,53	2752,51	4,17
12	2' 10"	3' 00"	0,80	1,31	105,07	4514,13	4,58
13	2' 45"	4' 10"	0,76	1,53	102,52	4182,59	4,58
Media	1' 59"	3' 04"	0,75	2,34	68,14	2755,48	3,95

Tiempo de encharcamiento (tp), Tiempo de escorrentía en salida (tr), Coeficiente de escorrentía (CE), Tasa de infiltración final estable (fc), Concentración de sedimentos (cs), Tasa de erosión (er) y Pérdidas de semillas (sl) generadas por chaparrones de 40 minutos de duración y 55 mm h^{-1} de intensidad

Las elevadas pérdidas de agua están acompañadas por altas tasas de erosión. Esto es debido a la elevada concentración de sedimentos, la cual oscila entre 65 y 105 g l^{-1} , aunque puntualmente alcance los 140 g l^{-1} . Las tasas de erosión varían entre 2 y $5 \text{ Kg m}^2 \text{h}^{-1}$ (ver tabla 2 y figuras 6a y 6b).

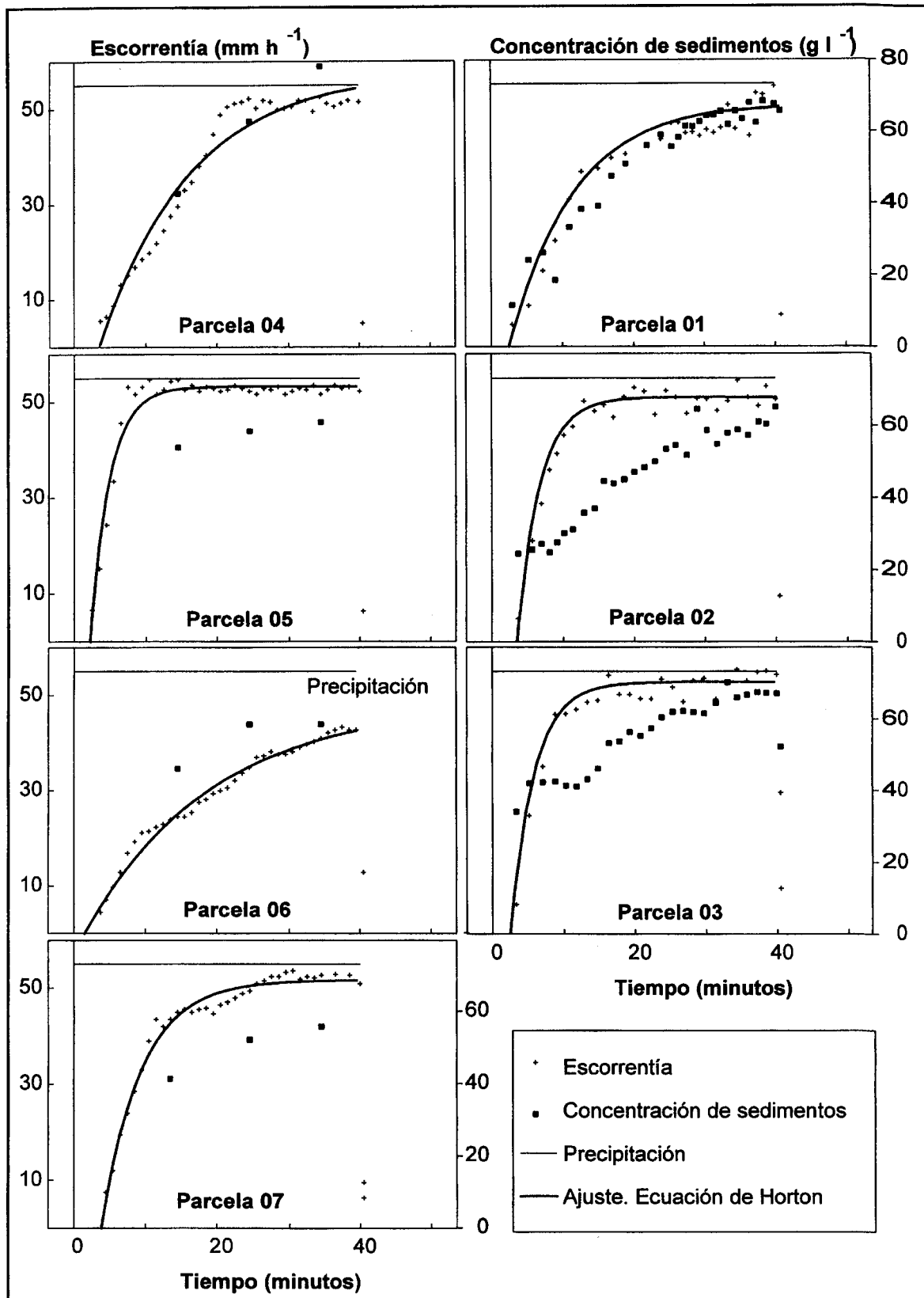


Fig.6a. Hidrogramas y evolución de la concentración de sedimentos de la escorrentía

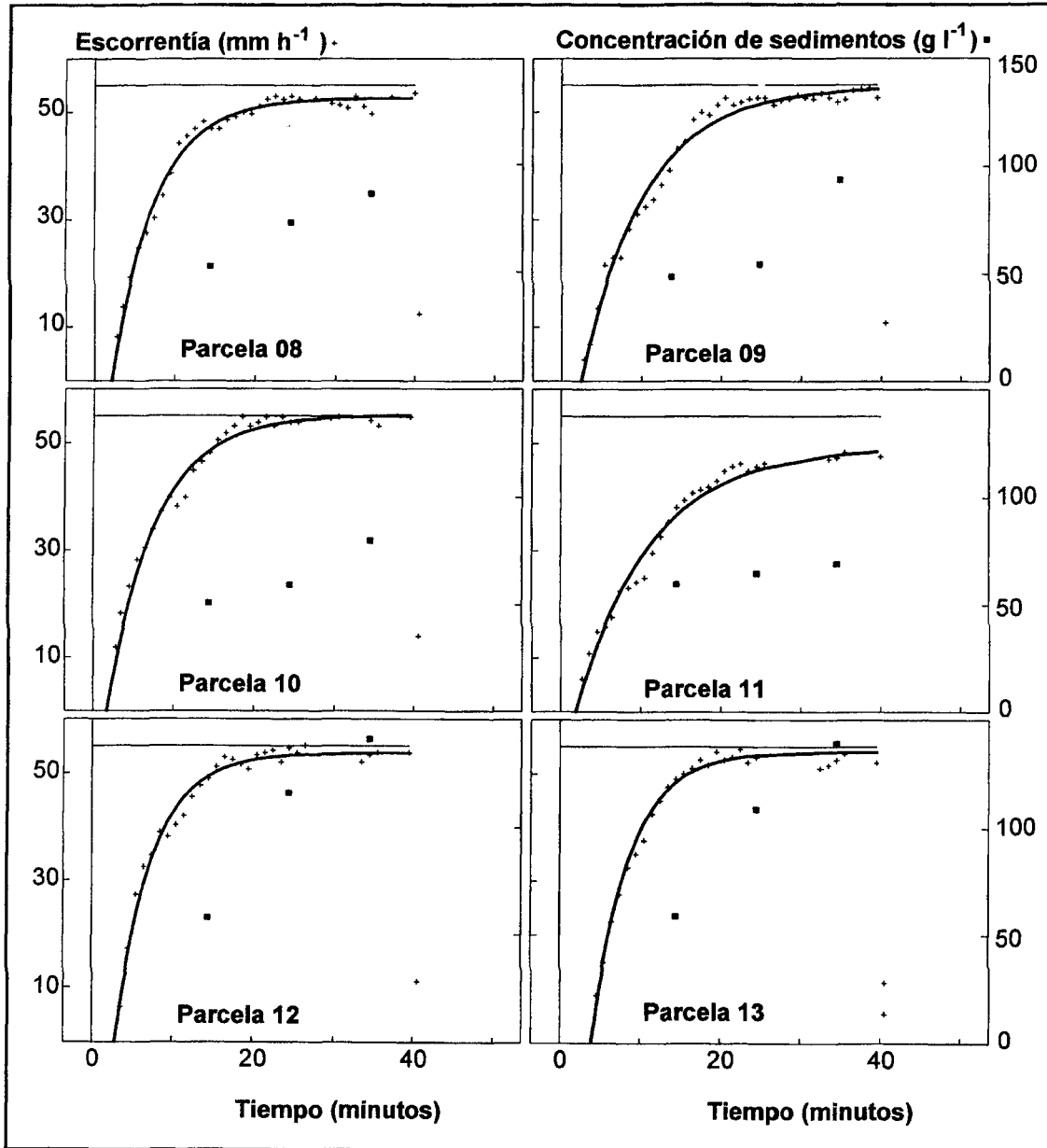


Fig.6b. Hidrogramas y evolución de la concentración de sedimentos de la escorrentía

El número de semillas erosionadas durante los experimentos es muy reducido, afectando tan sólo a un 4 % del total (0,48 - 8,90 %). Estas pérdidas de semillas se produjeron durante los primeros instantes del proceso, cuando al estar la superficie del suelo seca la salpicadura favorecía el movimiento de semillas. Con la superficie húmeda las semillas quedaban pegadas al suelo debido a los pelos, alas, formas especiales, etc., de las semillas. Muy pocas semillas fueron erosionadas después, incluso cuando se alcanzaron los mayores caudales que superaron en ocasiones los $0,2 \text{ l min}^{-1}$. Un año después de los experimentos gran parte

de las semillas siguen pegadas en la superficie de los badlands, lo que significa que los chaparrones naturales tampoco son capaces de erosionar de forma significativa las semillas depositadas en la superficie de los badlands.

3.3. Influencia de la pendiente

La pendiente juega un papel esencial en la dinámica de los sistemas geomorfológicos debido a la aceleración de los procesos de erosión y a la reducción de la sedimentación. A ello hay que sumar en el caso de los badlands que la pendiente ejerce un efecto claro sobre la morfología superficial de los suelos, aumentando el tamaño de las grietas ($r^2 = 0,83$). Sin embargo, aunque también existe una relación positiva de la pendiente con el encharcamiento, estadísticamente es poco significativa ($r^2 = 0,13$). En el caso del inicio de la escorrentía ($r^2 = 0,05$) esta relación es inexistente. La influencia de la pendiente es también nula en el caso del parámetro coeficiente de escorrentía ($r^2 = 0,02$) y negativo en el de la tasa de infiltración final estable ($r^2 = 0,09$).

La relación de la pendiente con la pérdida de suelo es positiva, siendo mucho más clara con la concentración de sedimentos ($r^2 = 0,58$) que con la tasa de erosión ($r^2 = 0,49$). Con la pérdida de semillas, aunque positiva, la relación presenta una elevada dispersión ($r^2 = 0,14$).

3.4. Relaciones entre las distintas variables hidrológicas y erosivas

En general las relaciones entre las distintas variables hidrológicas y erosivas son poco claras debido a la elevada variabilidad espacial. Tan sólo entre *tp* y *tr* ($r^2 = 0,71$) y entre *sc* y *er* ($r^2 = 0,83$) los coeficientes de correlación son elevados (ver tablas 4 y 5).

Tabla 4. Valor del parámetro b en la ecuación del tipo $y = a + b(x)$ entre las principales variables hidrológicas y erosivas

	tp	tr	CE	fc	sc	er	sl
tp	-	1,23	-0,04	1,50	6,86	132,01	-1,69
tr		-	-0,03	-0,14	5,84	115,61	-1,29
CE			-	-6,49	35,92	5039,59	17,33
fc				-	-1,78	-109,01	-0,20
sc					-	45,85	0,03
er						-	0,00
sl							-

tp, Tiempo de encharcamiento; tr, Tiempo de escorrentía; CE, Coeficiente de escorrentía; fc, Tasa de infiltración final estable; er, Tasa de erosión; sl, Pérdida de semillas.

Tabla 5. Coeficientes de correlación (r²) entre las principales variables hidrológicas y erosivas

	tp	tr	CE	fc	sc	er	sl
tp	-	0,71	0,04	0,11	0,04	0,01	0,15
tr		-	0,06	0,00	0,07	0,01	0,19
CE			-	0,07	0,05	0,35	0,58
fc				-	0,06	0,10	0,05
sc					-	0,83	0,05
er						-	0,26
sl							-

tp, Tiempo de encharcamiento; tr, Tiempo de escorrentía; CE, Coeficiente de escorrentía; fc, Tasa de infiltración final estable; er, Tasa de erosión; sl, Pérdida de semillas.

4. Discusión y conclusiones

Las laderas de los badlands están dominadas por procesos superficiales que dan lugar a formación de regueros, expansión de la regolita con la humectación, agrietamientos, tubificaciones y movimientos en masa de reducida envergadura (CALVO y HARVEY, 1989). Sin duda el proceso más activo es la arroyada superficial, lo que aquí se ha confirmado por los elevados volúmenes de agua escurridos y la gran cantidad de sedimentos transportado, a pesar de haberse medido en superficies muy reducidas (0,25 m²).

En los badlands, la escorrentía se inicia muy rápidamente y necesita volúmenes de lluvia muy reducidos para producirse. Además, los caudales aumentan exponencialmente (CERDÀ, 1993a) hasta que las tasas de infiltración se estabilizan alrededor del minuto 20. Cuando el suelo está totalmente saturado en superficie y las grietas han sido cerradas por la expansión de las arcillas, por su colmatación con sedimentos o saturadas por la arroyada, casi el 95 % de la precipitación se transforma en escorrentía.

Al contrario que en otros ambientes, la concentración de sedimentos aumenta con el tiempo (ABRAHAMS et al., 1988). El control químico del proceso de erosión en los badlands, en concreto la dispersión de las arcillas al entrar en contacto con el agua, determina un aumento de la erodibilidad del suelo con el tiempo (IMESON y VERSTRATEN, 1988; GERITS, 1991). Este comportamiento está directamente relacionado con que los agregados son más estables en seco que en húmedo (CERDÀ, 1993c), al contrario que en otros tipos de suelo (CERDÀ, 1993a). Lo anterior tiene unas claras implicaciones geomorfológicas,

ya que cuanto mayor sea la duración de los eventos, será mayor la pérdida de suelo por unidad de tiempo. Ello supondrá un importante aumento de las tasas de erosión con el tiempo debido a que el suministro de sedimentos no se agota sino que aumenta. Otros autores han encontrado idénticos comportamientos en ambientes con morfología y problemáticas semejantes (GERITS, 1991).

Si bien se ha comprobado una dinámica muy activa de la generación de escorrentía y suelo, la pérdida de semillas han sido insignificante. Esto supone que el banco de semillas existente en los badlands (GARCÍA-FAYOS et al., 1995), no es erosionado de forma significativa por la arroyada superficial. Otros mecanismos deben de ser los que expliquen la no existencia de vegetación en estos ambientes. La inhibición de la germinación, y la reducida viabilidad de las plántulas por la falta de agua son cuestiones a tratar en futuros estudios.

Obviamente la pendiente juega un papel esencial en la explicación de los procesos geomorfológicos en los badlands, donde el aspecto biótico (tanto flora como fauna) es insignificante. En suelos muy jóvenes, regolita en este caso, formados sobre una litología homogénea, las grietas son mayores y más profundas cuando mayor es la pendiente. Ello supone una cierta influencia positiva sobre el encharcamiento y el inicio de la escorrentía debido a que las grietas absorben la escorrentía generada en las zonas entre-grietas.

Paradójicamente, la pendiente no influye sobre los coeficientes de escorrentía, pero si lo hace sobre la capacidad de infiltración final estable de forma negativa, aunque estadísticamente la relación no es significativa. Es de destacar que otros autores han encontrado el efecto contrario en el laboratorio, es decir, un aumento de la infiltración con la pendiente debido a la erosión de la costra superficial (POESEN, 1984; 1988). Esto puede ser debido a que la textura de los suelos era muy distinta (más arcillosa en el caso aquí presentado), a que la rugosidad del suelo era muy baja en el laboratorio y los experimentos se iniciaban con suelos ya húmedos.

Por el contrario, la erosionabilidad de los suelos y la pérdida de sedimentos aumenta con la pendiente, lo que es obvio si tenemos en cuenta que la salpicadura (SAVAT, 1981; MOEYERSONS, 1983) y la velocidad de la arroyada (BRYAN, 1974; POESEN, 1985) también lo hacen. En cambio, la estrategia de las semillas para no ser erosionadas, sus formas y la secreción de mucilagos hacen que la pendiente no tenga una influencia decisiva sobre su erosión. La relación es positiva porque la salpicadura en seco es el proceso clave en la erosión de las semillas, aunque este sólo se produce durante los instantes iniciales del chaparrón (GARCÍA-FAYOS et al., 1995).

La relación positiva pendiente-erodibilidad ha sido encontrada por autores que han trabajado en suelos desnudos, bien agrícolas, bien muestras transporta-

das al laboratorio (LATTANZI et al., 1974; SAVAT, 1978; POESEN, 1984; 1986). Por el contrario otros autores han encontrado en suelos naturales que la mayor pendiente favorece la erosionabilidad de los suelos solamente hasta los 12°. A mayores pendientes, las tasas de escorrentía y con ellas la pérdida de suelo, decrecen como consecuencia de texturas más groseras que favorecen mayores infiltraciones (ABRAHAMS et al., 1988; ABRAHAMS y PARSONS, 1991; ABRAHAMS et al., 1991). En el caso de los badlands las pendientes son siempre mayores a 12°, y debido al reducido desarrollo edáfico no hay diferencias texturales apreciables. Esto explicaría comportamientos semejantes a los primeros, y totalmente distintos a los segundos.

Los resultados presentados corresponden a suelos secos y con precipitaciones intensas de 40 minutos de duración y 55 mm h⁻¹ de intensidad. Estudios con otras intensidades y duraciones de los chaparrones, así como estados previos distintos son necesarios para entender el funcionamiento geomorfológico global de los badlands. También debe ser investigado en el futuro los efectos de las escalas en los procesos geomórficos en los badlands, donde la conectividad entre las distintas niveles del sistema (superficies entre-grietas, entre-regueros, regueros y gullies) parece más eficiente que en otros ambientes.

Agradecimientos

Agradecemos a Mario Payà y a toda su familia la ayuda prestada durante la realización del trabajo de campo, a la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología la financiación del trabajo de campo (proyectos AMB93-0844-C06-04 y NAT91-0741) y al Ministerio de Educación y Ciencia la concesión de una beca de Perfeccionamiento de Doctores y Tecnólogos en el Extranjero al primero de los autores.

Referencias bibliográficas

- 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.
- ABRAHAMS, A.D. y PARSONS, y LUK, S.H. (1988): Hydrologic and sediment response to simulated rainfall on desert hillslopes in southern Arizona. *Catena*, 15, 103-117.
- ABRAHAMS, A.D. y PARSONS, y LUK, S.H. (1991): The effect of spatial variability in overland flow on the downslope of soil loss on semiarid hillslope, Southern Arizona. *Catena*, 18, 255-270.

- ALEXANDER, D. (1982): Difference between "calanchi" and "biancane" badlands in Italy. En Bryan, R. y Yair, A. (Eds.): *Badland geomorphology and piping*, 71-88.
- ALEXANDER, R.W. y CALVO, A. (1990): The influence of lichens on slope processes in some Spanish Badlands. En Thornes, J.B. (Ed.): *Vegetation and Erosion: Processes and Environments*, 385-98.
- ARNÁEZ VADILLO, J. (1988): Rills, Gullies and Badlands: Reviewing the problem. *Pirineos*, 132, 89-98.
- BENITO, G., GUTIÉRREZ, M. y SANCHO, C. (1991): Erosion patterns in rill and interill areas in badlands zones of the middle Ebro basin (N.E-Spain). En SALA, M., RUBIO, J.L. y GARCÍA-RUIZ, J.M. (Eds.): *Soil Erosion Studies in Spain*, 41-54.
- BERNDTSSON, R. (1988): *Spatial hydrological processes in a water resources planning perspective. An investigation of rainfall and infiltration in Tunisia*. University of Lund. Report nº 1009. 315 p.
- BETSON, R.P. (1964): What is watershed runoff?. *J. Geophys. Res.*, 69 (8) 1541-1551.
- BRYAN, R. y YAIR, A. (1982): *Badland geomorphology and piping*. Goebooks, Norwich, 409 p.
- BRYAN, R.B. (1974): Water Erosion by Splash and Wash and the Erodibility of Albertan Soils. *Geografiska Annaler*, 56 A (3-4) 159-181.
- CALVO CASES, A., HARVEY, A.M. y PAYÀ SERRANO, J. (1991). Process interactions and badland development in SE. Spain. En SALA, M., RUBIO, J.L. y GARCÍA-RUIZ, J.M. (Eds.): *Soil Erosion Studies in Spain*, 75-96.
- CAMPBELL, I.A. (1974): Erosion rates in the Steveville badlands. Alberta. *Z. Geomorph. N. F. Suppl.-Bd.*, 21, 122-137.
- CAMPBELL, I.A. (1989): Badland and Badland Gullies. En THOMAS, D.S.G. (Ed.): *Arid Zone geomorphology*, 159-186.
- CERDÀ, A. (1993a): *La Infiltración en los Suelos del País Valenciano. Factores y Variaciones Espacio-Temporales*. Tesis Doctoral Inédita. Universitat de València. 357 p + apéndices.
- 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): Estabilidad de agregados en suelos degradados. País Valenciano. *Nuevos Procesos Territoriales*, 187-192.
- CERDÀ, A. (1995a): *Factores y variaciones espacio-temporales de la infiltración en los ecosistemas mediterráneos*. Editorial Geofoma. Logroño, 151 p.

- CERDÀ, A. (1995b): Hidrología y erosionabilidad de los suelos en ambientes semi-áridos, Petrer, Alicante. *Studia oecologica*, 12, 159-164.
- CLOTET, N., GALLART, F. y SALA, M. (1987): Los badlands: características, intereses teórico, dinámica y tasas de erosión. *Notas de Geografía Física*. 15-16.
- DUNNE, T. y LEOPOLD, L.B. (1978): *Water in Environmental Planning*. W.H Freeman, San Francisco, 818 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 CASTILLO, J. y RUIZ BELTRÁN, L. (1979): *Precipitaciones máximas en España*. Ministerio de Agricultura, Madrid, 545 p.
- GARCÍA-FAYOS, P., RECATALÁ, T.M., CERDÀ, A. y CALVO, A. (1995): Seed population dynamics on badland slopes in SE Spain. *Journal of Vegetation Science*, 691-696.
- GEIGER, F. (1970): Die Ariditat in Sudostspanien. *Stuttgarter Geographische Studien*, Band 77.
- GERITS, J.J.P. (1991): *Physico-chemical tresholds for sediment detachment, transport and deposition*. Universiteit van Amsterdam, Amsterdam, 186 p.
- GREGORY, K.J. y WALLING, D.E. (1973): *Drainage Basins Forms and Processes: A Geomorphological Approach*. Arnold, London 458 p.
- HARVEY, A.M. (1982): The role of piping in the development of badlands and gully systems in south-east Spain. En BRYAN, R. y YAIR, A. (Eds.): *Badland geomorphology and piping*, 317-336.
- HARVEY, A.M. y CALVO, A. (1989): Distribution of badlands in Southeast Spain: Implications of climatic change. En IMESON, A.C. and De GROOT, R.S. (Eds.): *Landscape-ecological Impact of Climatic Change*, 14 p.
- HARVEY, A.M. y CALVO, A. (1991): Process interactions and rill development on badlands and gully slopes. *Z. Geomorph. N. F. Suppl.-Bd.*, 83, 175-194.
- HORTON, R.E. (1940): An approach toward a physical interpretation of infiltration capacity. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, 5, 399-417.
- HOWARD, A.D. (1994): Badlands. En ABRAHAMS A.D. y PARSONS, A.J. (Eds.): *Geomorphology of Desert Environments*, 213-242.
- IMESON, A.C. (1983): Studies of erosion tresholds in semi-arid areas: field measurement of soil loss and infiltration in northern Marocco. *Catena Suppl.-Bd.*, 4. 79-89.
- IMESON, A.C. y VERSTRATEN, J.M. (1988). Rills on badland slopes: a physico-chemical controlled phenomenon. *Catena suppl.-Bd.*, 12. 139-53.

- LARONNE, J. (1982): Sediment and solute yield from Mancos Shale hillslopes. Colorado and Utah. En BRYAN, R. y YAIR, A.(Eds.): *Badland Geomorphology and Piping*, 181-194.
- LATTANZI, A.R., MEYER, L.D. y BAUMGARDNER, M.F. (1974): Influences of mulch rate and slope steepness on interrill erosion. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 38, 946-50.
- MOEYERSONS, J. (1983): Measurement of Splash-Saltation fluxes under oblique rain. *Catena Supplement*, 4, 19-31.
- PAYÀ, J. y CERDÀ, A. (1992): Cambios morfológicos y respuesta a la lluvia simulada de tres superficies de Badland. Petrer. Alacant. En LÓPEZ BERMÚDEZ, F., CONESA GARCÍA, C. y ROMERO DÍAZ, M.A. (Eds.): *Estudios de Geomorfología en España*, 161-170.
- POESEN, J. (1984): The influence of slope angle on infiltration rate and hortonian overland flow volume. *Z. Geomorph. N.F. Suppl.-Bd.*, 49, 117-131.
- POESEN, J. (1985): Surface sealing on the loose Sediments: the role of texture, slope and position of stones in the top layer. En CALLEBAUT, D. GABRIELS, y DE BOODT, M. (Eds.): *Assessment of soil surface sealing and crusting*, 354-62.
- 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. (1988): Surface sealing on sandy and loamy soils: some aspects of seal formation and the influence of sealing on water erosion subprocesses. *Quaderni di scienza del suolo*, 1, 9-19.
- RODRÍGUEZ AIZPEOLEA, J. (1992): Un ejemplo de la Influencia del uso y abandono de banales de fondo de canal en la evolución de Badlands (Petrer-Alacant). En LÓPEZ BERMÚDEZ, F., CONESA GARCÍA, C. y ROMERO DÍAZ, M.A. (Eds.): *Estudios de Geomorfología en España*, 211-220.
- SAVAT, J. (1978): L'hydraulique du ruissellement en nappe mince sur un loess nu et sous couverture steppique simulée au laboratoire. *Geo-Eco-Trop*, 1, 131-142.
- SAVAT, J. (1981): Work done by splash: laboratory experiments. *Earth Surfaces Processes and Landforms*, 6, 275-283.
- SDAO, G., SIMONE, A. y VITTORINI, S. (1984): Osservazioni geomorfologiche su calanchi e biancane in Calabria. *Geogr.Fis. Diman. Quat.*, 10-16.
- YAIR, A., LAVEE, H., BRYAN, R.B. y ADAR, E. (1980): Runoff and erosion processes and rates in the Zin Valley Badlands. Northern Negev. Israel. *Earth Surface Processes and Landforms*, 5. 205-225.

