

MORFOLOGIA Y PROCESOS SUPERFICIALES EN BADLANDS SOBRE ARCILLAS DEL KEUPER, REQUENA, VALENCIA

A. CERDÀ i BOLINCHES (1) & J. PAYÀ i SERRANO (2)

(1) Fysisch Geografisch en Bodemkundig Laboratorium. Landscape and Environmental Research Group. Universiteit van Amsterdam. Nieuwe Prinsengracht, 130, 1018 VZ Amsterdam, Holanda

(2) Departament de Geografia. Universitat de València 22060, 46080 Valencia, España

Resumen. Se estudian los cambios morfológicos de diferentes superficies de badlands desarrollados sobre arcillas del Keuper y situados en el interior de la Provincia de Valencia, junto al río Cabriel. Además de la repetición de tomas fotográficas de las superficies y análisis de las imágenes, se realizan experimentos con lluvia simulada y se miden las tasas de erosión mediante piquetas. A pesar de ser suelos degradados, con encostramientos superficiales y escasas coberturas vegetales, las tasas de infiltración son altas y la pérdida de suelo relativamente baja. La formación de regueros determina la evolución morfológica de la mayor parte de las superficies. Por lo tanto, aunque la escorrentía superficial es reducida, es ésta la que rige el funcionamiento geomorfológico de las micro-cuencas estudiadas. También son significativos los movimientos en masa, las crestas adomadas sin regueros y las superficies granulares. Las grietas juegan un papel clave en la generación de la escorrentía. Las variaciones espaciales y temporales de procesos y formas son muy grandes.

Palabras clave: Badlands, Arcillas del Keuper, Morfología, Hidrología, Erosión

Abstract. Morphological changes of different badlands surfaces developed on Keuper clays located inland of the Valencia Province, close to the river Cabriel are studied. Moreover the surface photograph and his analyses, experiments with simulated rainfall were performed over the same surfaces and soil erosion was measured with pins. Although they are degraded soils, with crusted surfaces and low vegetation covers, the infiltration rates are high and the soil losses relatively low. Mainly, the rill formation determine the morphological evolution of the surfaces. Even though the surface runoff is low, it is that control the geomorphological behaviour of the studied micro-watersheds. Also the mass movement, the low relief of the top slope (without rills) and granulated surfaces are important. Cracks play an important role on the runoff generation. The spatial and temporal variability of processes and morphologies are very large.

Key words: Badlands, Keuper Clays, Morphology, Hydrology, Erosion

1. Introducción

En el sudeste de la Península Ibérica (Calvo & Harvey, 1989), y en general en toda la vertiente mediterránea la presencia de los paisajes acarcavados o abarrancados sobre litologías blandas es una constante (Yair et al., 1980, Alexander, 1982, Alexander & Calvo, 1990, Berndtsson, 1988, Harvey, 1982, Imeson, 1983, Sdao et al., 1984).

Estas áreas degradadas son de gran interés científico ya que la presencia de gran variedad de morfologías en un espacio muy reducido, hacen que sean consideradas como un laboratorio geomorfológico en miniatura (Bryan & Yair, 1982). Además, las zonas de badland son las áreas que generan mayores escorrentías y sedimentos (Laronne, 1982).

Los procesos de desertización (*land degradation*) pueden desarrollarse a partir de estos ambientes degradados, por lo que desde un punto de vista evolutivo será básico conocer la dinámica hidrogeomorfológica de los badlands para la planificación y ordenación del territorio y para la aplicación de políticas medioambientales.

Los badlands sobre arcillas del Keuper, aunque muy abundantes en el País Valenciano, tanto en el Sistema Bético como Ibérico, han sido muy poco estudiados a diferencia de los desarrollados sobre margas (Harvey & Calvo, 1991, Calvo et al., 1991, Payà & Cerdà, 1992). En este último caso, los procesos de arroyada superficial, expansión-contracción, movimientos en masa y tubificaciones (*piping*) aparecen como los más relevantes. Otros autores destacan el impacto de la gotas y la salpicadura como procesos muy importantes (Bryan & Yair, 1982).

El objetivo de este trabajo es dar a conocer las características básicas de la morfología superficial de los badlands en arcillas del Keuper, su dinámica temporal y estacional, y el comportamiento ante eventos de lluvia de elevada intensidad (55 mm h^{-1}), haciendo especial hincapié en la hidrología superficial y en la pérdida de suelo.

2. Metodología

Para el fin antes mencionado se seleccionó un área de estudio en la que los abarrancamientos o badlands son la característica principal del paisaje. Situada en el sur del Término Municipal de Requena, provincia de Valencia, y junto al río Cabriel, se encuentra la Rambla de las Salinas, en cuya cuenca de drenaje se eligieron dos subcuencas y diferentes superficies para su seguimiento.

La red de drenaje de la zona ha desmantelado un glaci cuaternario muy arenoso y ha producido su incisión (c.a. 40 m) en los materiales arcillosos del Keuper, lo que ha favorecido el desarrollo de importantes cárcavas, laderas desnudas, abundancia de regueros, encostramiento, agrietamiento superficial y micro-deslizamientos. Esto ha dado lugar a la aplicación de técnicas de protección y conservación del suelo (construcción de diques en los cauces de órdenes mayores), pero sin ningún éxito hasta el momento.

La precipitación media anual es de 446 mm, siendo la irregularidad del clima, con sequías prolongadas y lluvias de elevada intensidad, la característica más destacable. La temperatura media anual del mes más cálido (julio) es de $23,5^{\circ}$, mientras que la del mes más frío (enero) es muy baja: $5,9^{\circ}$, lo que se debe a la fuerte continentalidad de la zona, con heladas nocturnas invernales frecuentes. Durante los cuatro años de estudio se han producido heladas entre diciembre y marzo (un total de 105 días en los que las temperaturas han sido inferiores a 0°C), aunque sólo son recurrentes anualmente en enero y febrero. Los datos climáticos proceden de la estación meteorológica de Requena, situada unos 20 Km al norte de la zona de estudio (Fig. 1).

La cubierta vegetal es reducida, aunque en las laderas norte suele desarrollarse una abundante cubierta de herbáceas (*Brachypodium retusum*), líquenes y musgos, como consecuencia del menor stress hídrico. Allí también existe un estrato arbustivo dominado por *Cistus Monpelienis*. En los cauces de órdenes elevados, y por la misma razón antes mencionada, aparece un estrato arbustivo, al cual se une *Pinus halepensis* como consecuencia de las repoblaciones forestales.

Los métodos y técnicas empleados han consistido en el seguimiento fotográfico de las superficies para identificar las morfologías, simulación de lluvia para determinar los principales procesos que operan y sus cambios en el tiempo, y piquetas de erosión para cuantificar el rebajamiento de las superficies.

Los cambios morfológicos de las superficies de badlands y su variabilidad espacial se han estudiado mediante fotografías realizadas sobre cinco superficies representativas durante más de dos años (del 27 de octubre de 1989 al 29 de febrero del 1992). Durante los 855 días de estudio se realizaron ocho tomas fotográficas a intervalos regulares, aunque siempre se prestó especial atención a los períodos en que los eventos de lluvia natural eran más intensos.

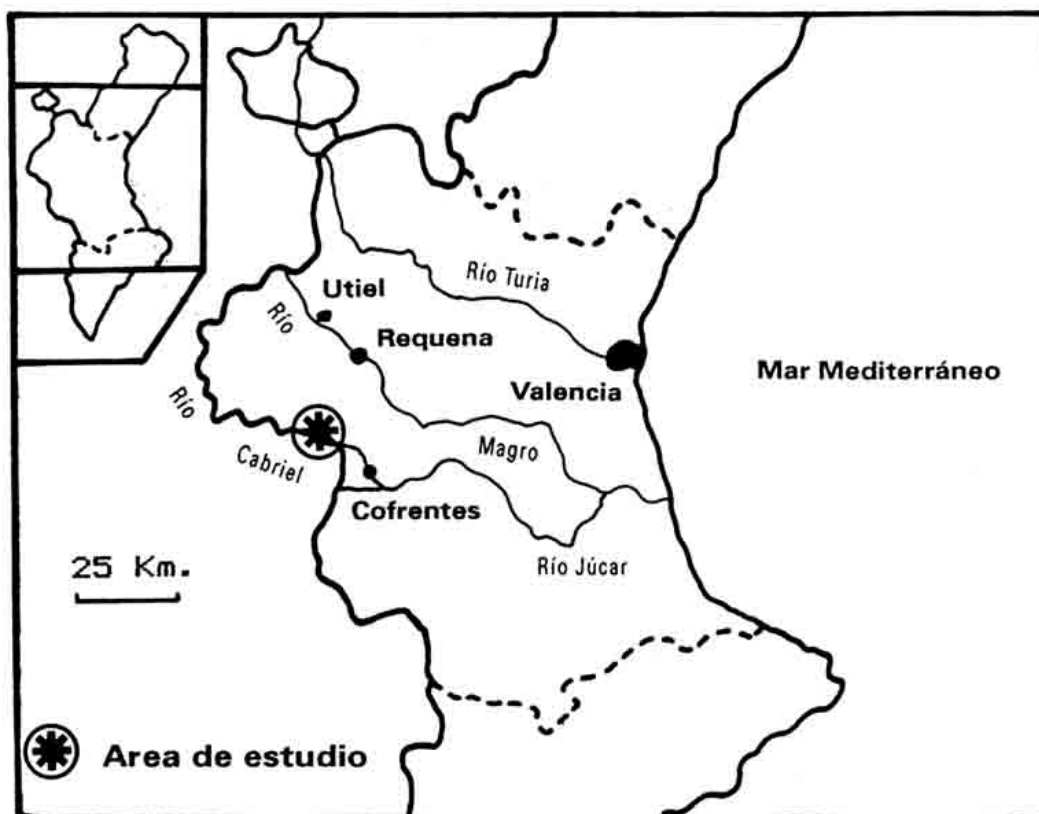


Fig. 1. Localización del área de estudio.
Location of the study area.

El análisis de las fotografías se realizó mediante la valoración semi-cuantitativa de la abundancia de regueros, rugosidad superficial, tamaño y polígonos de las grietas y movimientos de masa (Harvey & Calvo, 1991).

Los experimentos con lluvia simulada se realizaron con agua destilada y una intensidad de 55 mm h^{-1} , siendo la duración variable (25-90 minutos) según el comportamiento del suelo. En todos los casos, se pretendía alcanzar la infiltración final estable con el fin de conocer este parámetro, así como la curva de escorrentía en su totalidad.

El caudal se midió a intervalos de un minuto y al menos cada 10 se tomaron muestras con el fin de conocer la concentración de sedimentos de la arroyada y las tasas de erosión de cada superficie. También se midió directamente en el campo la conductividad eléctrica de la escorrentía. Una detallada explicación de la metodología y el tratamiento de los datos se puede encontrar en Cerdà (1993a) y Cerdà (1993c).

Las tasas de erosión se han medido a partir de piquetas de erosión (Sancho *et al.*, 1991). Trece piquetas fueron distribuidas a lo largo de las laderas en cuatro zonas representativas. En cada grupo, las piquetas están distanciadas unos 25 cm, midiéndose el rebajamiento del suelo tres veces durante dos años y medio.

Los experimentos con lluvia simulada se realizaron en los veranos de 1990 y 1991. Las piquetas de erosión se midieron en tres fechas: 22-05-91, 29-02-92 y 05-10-93 y las ocho tomas fotográficas entre el 27-10-89 y el 29-02-92.

3. Resultados

3.1. Características de la superficie

En la zona de estudio existe, como en la mayor parte de las áreas de badlands, una amplia variedad morfológica de las superficies (tabla 1). La morfología más extendida en las dos cuencas de drenaje viene representado por badlands de aspecto adomado, de interfluvios redondeados, con una capa de regolita que no supera los 2-3 cm y se caracteriza por presentar una estructura granulada y suelta.

Tabla 1. Características de las superficies estudiadas con lluvia simulada (55 mm h^{-1}). Exp, Exposición; Pend, Pendiente; Pedr, Pedregosidad; Den, Densidad; Hsp, Humedad superficial (0-2 cm); Hsub, Humedad subsuperficial (4-6 cm); Agr, Anchura de las grietas superficiales del suelo (Pgr); Profundidad de las grietas, (Pol); Polígonos de grietas (sp, sin polígonos) y (Mtp) Microtopografía: lisa (l), pedestales (p), escalones (e).
Characteristics of the studied surfaces with simulated rain (55 mm h^{-1}). Exp, Aspect; Pend, Angle slope; Pedr, Stoniness; Den, Bulk density; Hsp, Surface soil moisture (0-2 cm); Hsub, Subsurface soil moisture (4-6 cm); Agr, width of the soil surface cracks (Pgr); Depth of the cracks, (Pol); Crack polygons (sp, Without polygons) and (Mtp) Microtopography: smooth (l), pinacles (p), escheloned (e).

	Exp	Pend	Pedr	Den	Hsp	Hsub	Agr	Pgr	Mtp	Pol
	(°)	(°)	(%)	(cm^3)	(%)	(%)	(mm)	(cm)		(cm)
RE01	143	20	4	1,21	1,00	1,00	2	4	l	4
RE02	264	16	15	1,14	1,76	2,45	3,5	6	l	8,5
RE03	170	18	70	1,15	1,45	2,65	4	5	p	7,5
RE04	263	32	5	1,18	1,23	2,45	1	2	l	4,5
RE05	205	29	0	1,09	1,24	6,43	7,5	20	p	15
RE06	150	18	3	1,19	2,76	3,59	2,5	5	l	8,5
RE07	200	11	2	1,02	0,81	1,30	2	3	l	sp
RE08	198	24	90	1,10	0,40	0,60	1	2	e	sp
RE09	130	31	13	1,12	0,59	1,33	1	1,5	l	sp

El patrón de grietas, a pesar de ser continuo, nunca aparece demasiado desarrollado ya que éstas son por lo general inferiores a 3 mm de anchura y no son continuas. Sus profundidades son siempre menores a 1 cm.

Puntualmente, hay superficies donde se han producido movimientos de masa provocados por la zapa basal de las cárcavas principales. Aquí, la potencia del regolito supera en ocasiones los 25 cm, tiene un mayor encostramiento y se forman grietas que llegan a los 20 cm de profundidad y 7 de anchura.

Junto a estos dos tipos de superficies, que apenas presentan cubierta vegetal o de piedras, hay zonas donde la pedregosidad adquiere mayor importancia, dando lugar a morfologías más homogéneas, en las que regueros y movimientos de masa están menos desarrollados.

Las suelos seleccionados para los experimentos con lluvia simulada corresponden a distintas exposiciones sur, con cubiertas de fragmentos de roca diferentes (0-32 %), distintas pendientes (11-32°) y sin cubiertas vegetales (tabla 1).

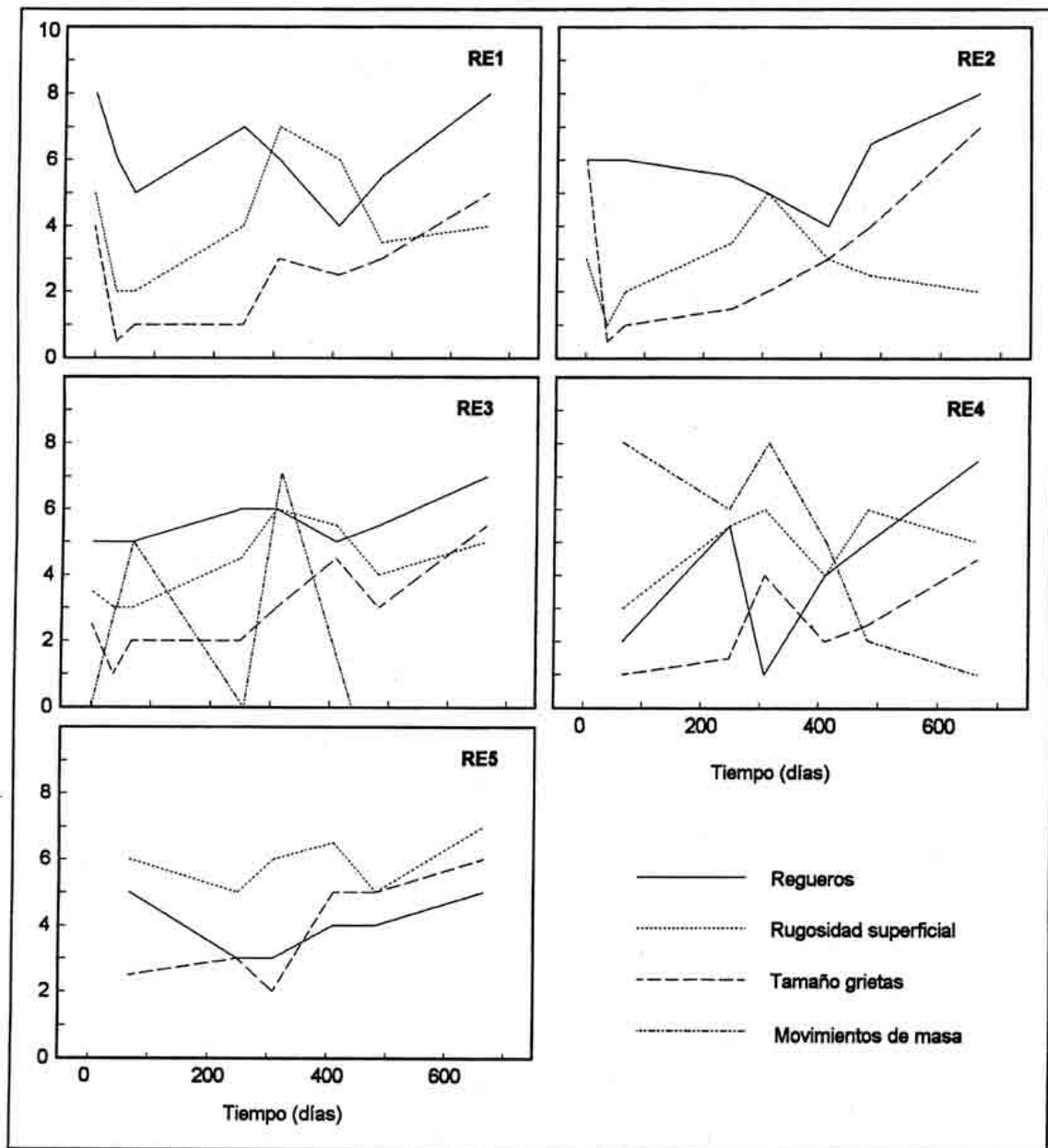


Fig. 2. Evolución morfológica de las superficies de badlands.
Morphological evolution of the badland surfaces.

Durante los períodos secos estivales, estos suelos presentan costras superficiales de gran espesor (2-3 cm) pero de reducida densidad ($1,02-1,21 \text{ g cm}^{-3}$) en comparación con los badlands desarrollados sobre otros materiales blandos como las margas. La humedad del suelo es insignificante durante los períodos estivales: 0,4-2,76 en superficie (0-2 cm) y 0,60-6,43 en profundidad (4-6 cm).

En general, las superficies estudiadas presentan grietas superficiales de reducido tamaño 1-2 mm, y en ocasiones ni siquiera llegan a formar polígonos (parcelas RE06 y RE09). En otros casos, las grietas son muy profundas (20 cm) y anchas (1-2 cm).

Tabla 2. Cambios en/de la superficie de los suelos ante la lluvia simulada (55 mm h^{-1}). tp, Tiempo de encharcamiento; ter, Tiempo de escorrentía en regueros (sr, sin regueros); te, Tiempo de escorrentía en superficie; ts, Tiempo de escorrentía en salida; tcg, Tiempo de cierre de grietas (nc, nunca cerradas) y tfe, Tiempo para el final de la escorrentía desde el fin de la lluvia.

Changes in/of the soil surface in the presence of the simulated rain (55 mm h^{-1}). tp, Time to ponding; ter, Time to rill runoff (nr, without rills); te, Time to surface runoff; ts, Time to outlet runoff; tcg, Time to cracks closing (nc, never closed) and tfe, Time to the end of the runoff from the end of the rain.

	tp	ter	te	ts	tcg	tfe
	min	min	min	min	min	min
RE01	3,00	4,00	3,44	4,10	3,05	1,00
RE02	5,15	7,45	6,00	8,45	7,00	0,30
RE03	4,10	nr	5,10	6,00	7,00	1,15
RE04	4,30	nr	8,15	13,00	nc	1,00
RE05	4,43	7,29	6,50	13,00	nc	1,00
RE06	1,44	nr	5,08	5,30	7,00	0,45
RE07	6,04	nr	18,00	20,00	12,00	0,20
RE08	6,25	nr	9,05	19,05	4,00	0,30
RE09	8,00	nr	10,47	15,25	11,30	0,30

La morfología de las parcelas de los experimentos con lluvia simulada puede clasificarse en dos:

1. Superficies agrietadas: RE02, RE03, RE05 y RE06. Se caracteriza por tener grietas muy amplias (de 3,5 a 7,5 cm) y en ocasiones muy profundas (20 cm en RE05), acompañadas por polígonos de gran tamaño (15-7,5 cm de anchura). La morfología superficial del suelo en la zona entre grietas es lisa o presenta algunos pedestales. En general la rugosidad es muy baja.

2. Superficies lisas: RE01, RE04, RE07, RE08 y RE09. Las grietas son poco importantes (1-3 mm) y de reducida profundidad (1,5-4 cm), no forma polígonos o son poco importantes (4-4,5 cm) y la microtopografía es lisa o escalonada.

En el caso de las superficies agrietadas existe un mayor encostramiento superficial, en cambio en el segundo caso, los suelos tienen superficies granulares debido a la existencia de fragmentos de roca madre y pequeños agregados.

1.2 Cambios morfológicos

Se eligieron 5 parcelas para estudiar el comportamiento morfológico de las diferentes superficies descritas (Fig. 2).

Durante los 28 meses de seguimiento, los cambios morfológicos en RE1, RE2 y RE3 siempre vienen determinados por la evolución de los regueros. El desarrollo de éstos es más acusado tras períodos de lluvia, aunque la incisión de los regueros, su retroceso en cabecera y la aparición de regueros secundarios,

así como la aparición de procesos de tubificación (*piping*) no es muy activa. En ocasiones, cuando las precipitaciones no son muy cuantiosas o lo suficientemente intensas, los regueros no consiguen drenar todo el material, y se produce una obturación o colmatación parcial de los mismos. Por tanto, se podría hablar de redes de drenajes poco desarrolladas o poco evolucionadas debido a que no son competentes en la evacuación del material que el sistema suministra.

En RE3, junto a la formación de regueros hay que hacer referencia también a los movimientos de masa, que se manifiestan en las zonas intre-regueros. Al coincidir con los períodos de invierno, atribuimos estos movimientos puntuales a las frecuentes heladas que se producen en la zona, aunque la humectación del material debe jugar un papel importante.

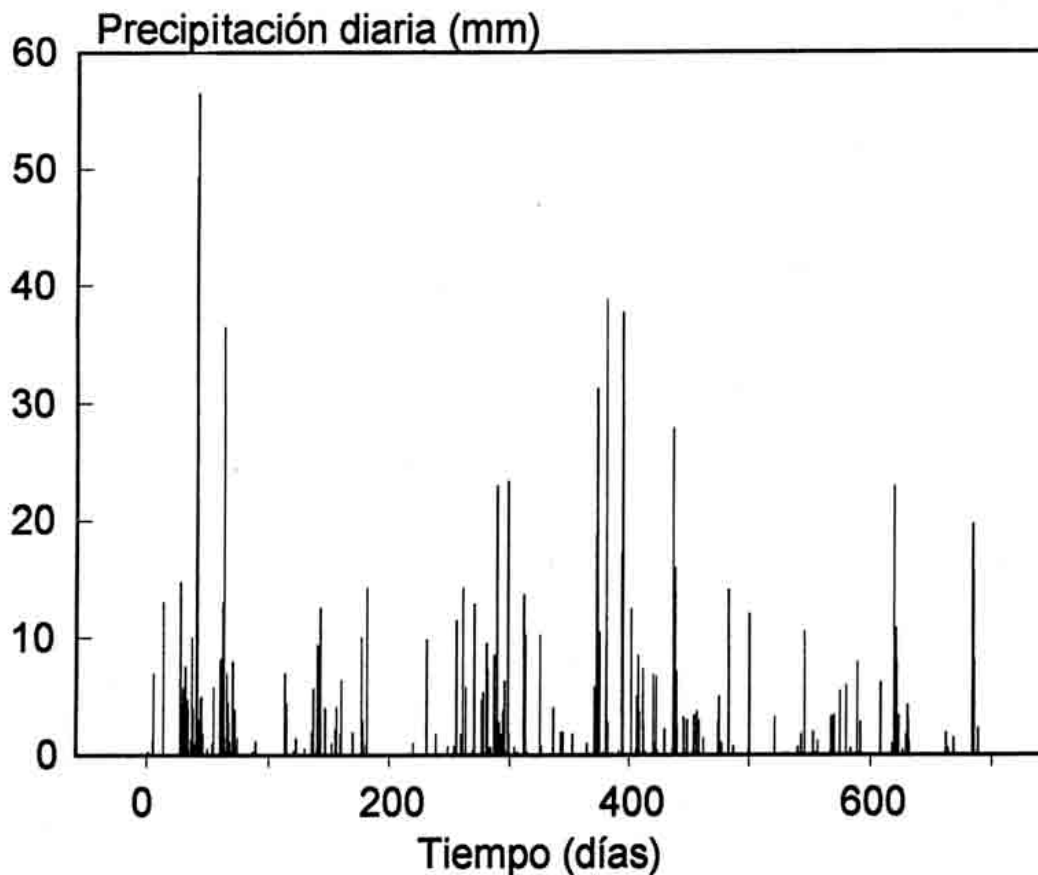


Fig. 3. Precipitación diaria en la estación meteorológica de Requena.
Daily precipitation at the meteorological station of Requena.

RE4 representa un tipo de superficie semejantes a la anterior, aunque de mayor pendiente, en la cual los procesos de formación de regueros y los movimientos de masa se conjugan en el tiempo, determinando su desarrollo morfológico. Así, los movimientos de masa destruyen casi por completo la red de regueros que vuelven a regenerarse cuando se producen precipitaciones de cierta entidad. En esta zona se puede afirmar que no existe un tipo de proceso dominante, sino que su evolución morfológica vendría marcada por la interacción de varios procesos, que a su vez dependen de las características de la precipitación y de la coincidencia o no con períodos de helada.

Por último, RE5 se corresponde con un tipo de superficie que muestra cambios morfológicos poco acusados a lo largo del tiempo, como consecuencia de una mayor cubierta de piedras que le confieren

mayor rugosidad superficial, pero también un encostramiento más profundo y por lo tanto una mayor resistencia a la incisión, haciendo que los procesos de arroyada difusa adquieran más importancia. Paradójicamente, los experimentos con lluvia simulada han demostrado una mayor capacidad de infiltración en este tipo de superficie. Esto es debido a que la pedregosidad favorece superficies más estables, en las que se desarrollan incluso musgos y líquenes que dan lugar a un suelo más poroso (tabla 1).

Los tres tipos de superficies analizados además de mostrar morfologías muy dispares, también presentan grandes cambios temporales. Las morfologías varían según el volumen y la intensidad de la lluvia (Fig. 3). En general, los períodos de lluvias favorecen el desarrollo de regueros, especialmente cuando hay eventos de elevada intensidad. Cuando las lluvias son de baja intensidad los movimientos en masa, el hinchamiento, la colmatación de los regueros y la reducción de las grietas son los procesos más abundantes.

3.3. Hidrología superficial

En términos medios, la respuesta hidrológica de todas las superficies estudiadas se caracteriza por un encharcamiento ligeramente retrasado (5,01 min en término medio). Esto, provocará que el movimiento de agua en la superficie de la parcela (escorrentía) no se produzca hasta el minuto 8. En los tres casos en los que existen regueros la escorrentía se produce antes en la zona entre-regueros.

Normalmente el encharcamiento (excepto RE08) y la escorrentía superficial (excepto RE07 y RE08) es anterior al cierre de grietas. La zona encostrada entre-grietas es la primera en la que se produce el encharcamiento y la escorrentía superficial. Posteriormente, la arroyada se infiltra en las grietas, la cual una vez cerradas o selladas estas últimas se dirige hacia la salida del sistema como arroyada difusa y como arroyada concentrada a través de los regueros.

En el caso de la inexistencia de regueros, el drenaje se produce por arroyada difusa hasta el cauce. En algunos casos como RE05, la presencia de grietas muy amplias y profundas dificulta el drenaje, siendo gran parte del caudal reinfiltrado.

Tras el fin de la lluvia, la escorrentía (*tfe*) se mantiene en término medio durante 40 segundos, aunque cada parcela tiene una respuesta muy diferente, variando entre 0,20 min en RE07 y 1,15 min en RE07.

En general, la respuesta de las superficies ante la lluvia de las distintas parcelas sigue patrones semejantes, pero su variabilidad y la disparidad temporal es muy alta. Un ejemplo de ello es *ts*, tiempo en el que se inicia la medición de la escorrentía el cual varía entre 4,1 y 20 minutos (tabla 2).

Otros parámetros hidrológicos confirman este comportamiento tan dispar entre superficies próximas. En concreto, las tasas de escorrentía media (*Esm*) varían entre 2,26 y 24,23 mm h⁻¹, los coeficientes de escorrentía (*Ce*) entre 0,03 y 0,38 y la tasa de infiltración final estable (*if*) entre 19,35 y 51,88 mm h⁻¹ (Tabla 3).

En general, la escorrentía media de todos los suelos estudiados es reducida si tenemos en cuenta que son suelos muy degradados. En todos los casos la escorrentía es menor al 40 % de la precipitación y las tasas de infiltración son superiores a 19 mm h⁻¹.

En términos medios la escorrentía es de 14,7 mm h⁻¹ y la tasa de infiltración final estable de 34,71 mm h⁻¹, mientras que la escorrentía exportada es tan sólo del 20,1 % de la volumen de agua precipitado.

Los hidrogramas de los nueve experimentos realizados con lluvia simulada (55 mm h⁻¹) muestran curvas de escorrentía con reducida pendiente, lo que indica que los cambios temporales en la tasa de escorrentía son muy lentos (Fig. 4). En general, los suelos con mayores tasas de infiltración presentan hidrogramas con pendientes menores, además de inicios de escorrentía más retrasados.

La pérdida de suelo por arroyada superficial se produce básicamente de dos formas en las laderas de badlands:

- por disolución de sales, la cual es muy importante ya que alcanza en algunos casos más de 500 S.
- por arrastre de sólidos debido a la escorrentía. Se han diferenciado tres familias muy claras en los suelos estudiados según la concentración de sedimentos de la escorrentía (tabla 4):

- erodibilidad elevada ($> 50 \text{ g l}^{-1}$): RE05 y RE06.
- erodibilidad media ($14\text{-}26 \text{ g l}^{-1}$): RE01, RE02, RE03, y RE06.
- erodibilidad baja ($1\text{-}6 \text{ g l}^{-1}$): RE07, RE08 y RE09.

La pérdida de suelo, aunque muy relacionada con su erodibilidad, depende también de la respuesta hidrológica, por lo que en algunas parcelas las tasas de erosión son muy altas (RE01, $534 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$), a pesar de que la concentración de sedimentos o de la escorrentía tiene valores medios (26 g l^{-1}).

Tabla 3. Parámetros hidrológicos obtenidos de los hidrogramas de escorrentía generados por lluvias simuladas de 55 mm h^{-1} (ver figura 3). Esm, Escorrentía media; Ce, Coeficiente de escorrentía e If, Tasa de infiltración final estable (media de la tasa de infiltración de los últimos cinco minutos medidos del hidrograma de escorrentía). Hydrological parameters obtained from the runoff hydrographs generated by simulate rain at 55 mm h^{-1} (see figure 3). Esm, Average runoff; Ce, Runoff coefficient and If, Steady state infiltration rate (average of the last five minutes infiltration rates measured from the runoff hydrograph).

	Esm mm h^{-1}	Ce	If mm h^{-1}
RE01	24,23	0,38	19,35
RE02	14,35	0,19	35,80
RE03	20,54	0,30	28,92
RE04	6,75	0,10	44,26
RE05	22,37	0,35	24,82
RE06	22,12	0,31	27,07
RE07	9,17	0,07	39,87
RE08	2,26	0,03	51,88
RE09	10,37	0,15	40,41

En otros casos (RE04), a pesar de las elevadas concentraciones de sedimentos, el bajo coeficiente de escorrentía (10 %) da lugar a tasas de erosión de tan sólo $268 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$.

En general, la pérdida de suelos presenta una elevada variabilidad. En el caso de los sedimentos de campo, suelos distantes entre si unos metros presentan tasas de erosión que varían entre 5 y $1200 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, los sedimentos totales entre $0,7$ y 389 g , la concentración de sedimentos entre $1,3$ y $62,6 \text{ g l}^{-1}$, y la conductividad eléctrica de la escorrentía entre 84 y 960 S .

Las tasas de erosión medidas con piquetas muestran tasas de rebajamiento durante dos años y medios (865 días) de -2 mm , variando entre $+12$ y -15 mm (Tabla 5). A pesar de este resultado total negativo, los dos períodos de medición muestran un comportamiento totalmente distinto. Durante el período de 280 días (entre 22-05-91 y 29-02-92) se produjo un hinchamiento de la superficie bastante importante: $6,46 \text{ mm}$, variando entre $+20$ y -3 mm . En cambio durante el período siguiente, 585 días (29-02-92 y 05-10-93), se produjo un claro rebajamiento de la superficie: $7,85 \text{ mm}$, variando entre -14 y $+7 \text{ mm}$.

4. Discusión y conclusiones

Los suelos degradados o badlands sobre arcillas del Keuper presentan un morfologías y comportamientos hidrológico-erosivos ante la lluvia similares al de otras zonas y litología (Calvo *et al.*,

Tabla 4. Pérdida de suelo. Sy, Sedimentos totales (Sediment yield); Cs, concentración de sedimentos; Er, Tasa de erosión y C.E. Conductividad eléctrica de la escorrentía.

Soil losses. Sy, Sediment yield (Sediment yield); Cs, Sediment concentration; Er, Erosion rates and C.E., Runoff electrical conductivity.

	Sy	Cs	Er	C.E
	g	g l ⁻¹	g m ² h ⁻¹	S
RE01	60,54	25,72	536,87	518,00
RE02	22,61	18,42	189,69	268,33
RE03	34,05	18,16	298,38	294,00
RE04	54,57	50,74	268,11	884,00
RE05	377,15	62,59	1197,83	401,46
RE06	24,03	14,64	252,71	528,54
RE07	0,69	1,28	5,01	83,71
RE08	2,09	6,03	9,37	355,86
RE09	10,35	5,24	42,51	958,27

Tabla 5. Rebajamiento de las superficies de badlands en Requena. *a*: del 22-05-91 al 29-02-92; *b*: del 29-02-92 al 05-10-93 and *c*: del 22-05-91 al 05-10-93. Datos obtenidos con 13 piquetas de erosión.

Badland surfaces lowering in Requena. *a*: from the 22-05-91 to the 29-02-92; *b*: from the 29-02-92 to the 05-10-93 and *c*: from 22-05-91 to 05-10-93. Data obtained by 13 pin measurement.

Piquetas	a	b	c
	mm	mm	mm
1	+4	-10	-6
2	+1	-3	-2
3	-3	-12	-15
4	+5	-11	-6
5	+13	-12	+1
6	+4	-5	-1
7	+4	+7	+3
8	+9	-13	-4
9	+10	-11	-1
10	+4	-10	-6
11	+7	0	+7
12	+6	-14	-8
13	+20	-8	+12
media	+6,46	-7,85	-2

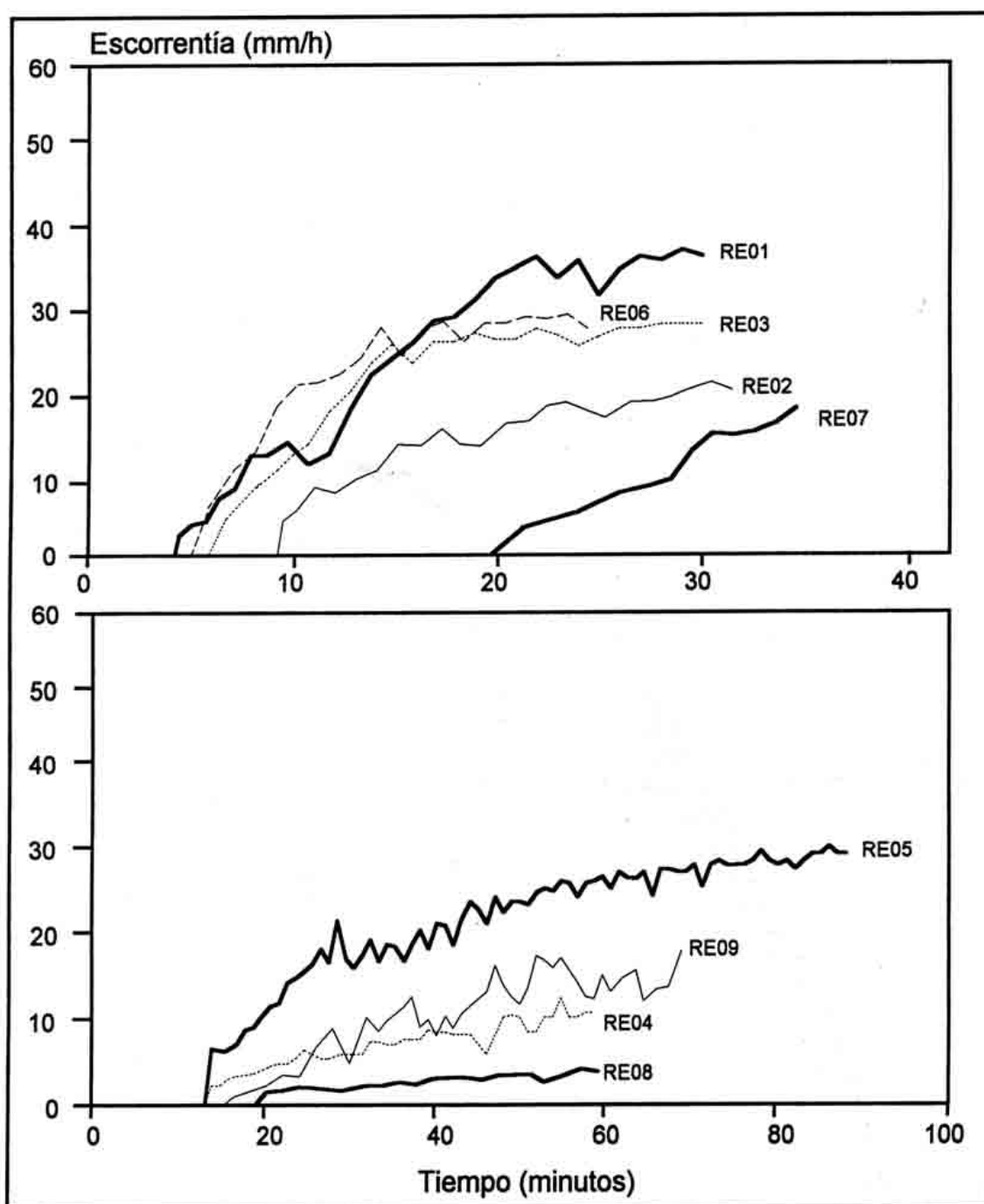


Fig. 4. Hidrogramas de los experimentos de larga duración (> 55 minutos) y corta duración (25-35 minutos).
Runoff hydrographs from the long duration (> 55 minutes) and short duration experiments (25-35 minutes).

1991, Payà & Cerdà, 1992; Cerdà, 1993a). A pesar de ello, tienen ciertas peculiaridades: menores pérdidas de suelo y mayores tasas de infiltración.

Así mismo, como ocurre en otros paisajes, la elevada variabilidad espacial y temporal de las morfologías y los procesos superficiales es la característica más destacable (Vittorini, 1977; Campbell, 1982; Hodges, 1982; Imeson et al., 1982; Yair et al., 1982; Clotet et al., 1987; Benito et al., 1991; Calvo et al., 1991).

El aspecto adomado de las laderas es la morfología más abundante, aunque existen regueros en las partes medias y bajas, y puntualmente movimientos de masa junto a las cárcavas debido a la zapa basal. La parte alta no se ve afectada por la red de drenaje, la superficie presenta mayor encostramiento, las grietas están menos desarrolladas y la rugosidad es menor.

Estas morfologías, aunque semejantes a las descritas en otros trabajos (Alexander, 1982; Imeson & Verstraten, 1988; Payà & Cerdà, 1992) presentan ciertas singularidades. En primer lugar, no se aprecia la existencia de tubificaciones, aunque la elevada infiltración hace suponer que otros procesos subsuperficiales sean importantes. La densidad de regueros es menor a la observada en badlands desarrollados sobre margas (Calvo et al., 1991), mientras que los movimientos en masa aquí dependen de un factor externo, la zapa basal. En comparación con las margas, las costras son más porosas, lo que favorece mayores tasas de infiltración. Esto explica las menores tasas de escorrentía, y en consecuencia, una red de drenaje menos desarrollada.

Las observaciones realizadas en el campo confirman la importancia de las grietas y de su morfología en los procesos que operan en las laderas. Así, se ha observado como en algunas ocasiones las grietas se han transformado en pequeños regueros, mientras que en otras las grietas profundas han absorbido parte de la escorrentía. Por lo tanto, y en ambos casos, son las grietas y sus morfologías: someras o profundas, las que pueden dar lugar a procesos superficiales o subsuperficiales, aunque son los primeros los predominantes.

Las curvas de escorrentía tienen menores pendientes que las halladas en badlands sobre margas, como también lo son las escorrentías medias y los coeficientes de escorrentías (Scoging, 1982; Campbell, 1987; Cerdà, 1993a). También, el encharcamiento y la escorrentía son más retrasados.

Las tasas de erosión, aunque elevadas, son inferiores a las medidas en otros suelos degradados con experimentos similares (Calvo et al., 1991; Payà & Cerdà, 1992), lo que se debe no sólo a las menores escorrentías, sino también a la menor erodibilidad de los suelos.

Además de los procesos superficiales, básicamente la arroyada superficial difusa en las partes altas de las laderas, y concentrada en las medias y bajas (regueros), el hinchamiento de las arcillas se ha mostrado muy activo. La medición con piquetas de erosión ha demostrado la existencia de períodos de hinchamiento y de rebajamiento, lo que confirma lo medido por otros autores (Campbell, 1974).

El elevado contenido en arcillas, y a la mayor estabilidad de los agregados de los materiales del Keuper (Cerdà, 1993b), favorece mayores tasas de infiltración y menores tasas de erosión. El seguimiento fotográfico ha permitido identificar cambios morfológicos importantes a lo largo del período de estudio. Los eventos de lluvia de cierta magnitud son los que determinan la actividad de los procesos y con ellos las morfologías. Ello explica que existan unas épocas con rebajamiento de la superficie (lluvias intensas) y otras de meteorización de la roca madre y/o hinchamiento del regolito. Los ciclos de hielo-deshielo, abundantes en invierno, también contribuyen a la meteorización del material. Esto, junto a la porosidad de las arcillas favorece morfologías adomadas.

En general, la capacidad de retención hídrica de las arcillas, las elevadas tasas de meteorización de la roca y las bajas tasas de erosión confieren los badlands sobre arcillas del Keuper morfologías distintas a las generadas en otras litologías. Esto es debido a que hay una importante interrelación de factores: pendiente, rugosidad, encharcamiento, etc., que determinan el funcionamiento de los procesos.

Agradecimientos

Agradecemos la ayuda prestada por Adolfo Calvo Cases en el diseño experimental y el tratamiento de la información. Parte del soporte financiero ha sido aportado por la Conselleria de Cultura, Educació i Ciència de la Generalitat Valenciana mediante dos becas conducentes al grado de Doctor.

Referencias bibliográficas

- 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. & Calvo, A.** (1990): The influence of lichens on slope processes in some Spanish Badlands. En Thornes, J.B. (Ed.): *Vegetation and Erosion: Process and Environments*, 385-98.
- Benito, G., Gutiérrez, M. & 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 n° 1009, 315 p.
- Bryan, R. & Yair, A.** (1982a): *Badland geomorphology and piping*. University Press, Cambridge, 409 p.
- Bryan, R. & Yair, A.** (1982b): Perspectives on studies of badland geomorphology. En Bryan, R. y Yair, A. (Eds.): *Badland geomorphology and piping*, 1-12.
- Calvo-Cases, A. Harvey, A.M. & 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 Stepeville badlands, Alberta. *Z. Geomorph. N. F. Suppl.-Bd.*, 21, 122-137.
- Campbell, I. A.** (1982): Badland and Badland Gullies. En Thomas, D.S.G. (Ed.): *Arid Zone geomorphology*, 159-186.
- Campbell, I. A.** (1987): Infiltration Characteristics of Badlands Surface and Storm Runoff. En Y.-F. Fok (Ed.) *Pre-Conference Proceedings of the International Conference on Infiltration Development and Application*, 251-261
- 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): Estabilidad de agregados en suelos degradados, País Valenciano. *XIII Congreso Nacional de Geografía: "Nuevos Procesos Territoriales"*, 187-192.
- Cerdà, A.** (1993c): Metodología para el estudio de la hidrología y erosión de superficies degradadas (badland) a partir de lluvia simulada. *Cuatrenario y Geomorfología*, 7.
- Clotet, N., Gallart, F. & Sala, M.** (1987): Los badlands: características, interés teórico, dinámica y tasas de erosión. *Notas de Geografía Física*, 15-16.
- 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. & 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. & Calvo, A.** (1991): Process interactions and rill development on badlands and gully slopes. *Z. Geomorph. N. F. Suppl.-Bd.* 83, 175-94.
- Hodges, W.K.** (1982): Hydraulic characteristics of a badland pseudo-pediment slope system during simulated rain-storm experiments. En Bryan, R.B. y Yair, A. (Eds.): *Badland Geomorphology and Piping*, 127-152.
- Imeson, A.C.** (1983): Studies of erosion thresholds in semi-arid areas: field measurement of soil loss and infiltration in northern Morocco. *Catena Supplement* 4, 79-89.
- Imeson, A.C. & Verstraten, J.M.** (1988). Rills on badland slopes: a physico-chemical controlled phenomenon. *Catena suppl.-Bd.*, 12, 139-53.

- Imeson, A.C., Kwaad, F.J.P.M. & Verstraten, J.M.** (1982): The relationship of soil physical and chemical properties to the development of badlands in Morocco. En Bryan, R.B. y Yair, A. (Eds.): *Badland Geomorphology and Piping*, 47-70.
- Larone, J.** (1982): Sediment and solute yield from Mancos Shale hillslopes, Colorado and Utah. En Bryan, R.B. y Yair, A. (Eds.): *Badland Geomorphology and Piping*, 181-194.
- Payà, J. & Cerdà, A.** (1992): Cambios morfológicos y respuesta a la lluvia simulada de tres superficies de Badland, Petrer, Alacant. En *Actas de la 2ª Reunión Nacional de Geomorfología*, 161-170.
- Sancho, C., Benito, G. & Gutiérrez, M.** (1991): *Agujas de Erosión y Perfiladores Microtopográficos*. Cuadernos Técnicos de la S.E.G., nº 2, 28 p.
- 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.
- Sdao, G.; Simone, A. & Vittorini, S.** (1984): Osservazioni geomorfologiche su calanchi e biancane in Calabria. *Geogr.Fis. Diman. Quat.*, 10-16.
- Soriano, Mª.D., Calvo, A., Cerdà, A. & Payà, J.** (1993): Process interactions affected by regolith properties in a Badland catchment (Petrer, Alicante, Spain). Memorial Symposium Prof J. de PLOEY: "Experimental Geomorphology and Landscape Ecosystem Changes", 22-26 march 1992, Leuven, Belgium.
- Vittorini, S.** (1977): Osservazioni sull'origine e sul ruolo di due forme di erosione nelle argile: calanchi e biancane. *Boll. della Societa Geografica Italiana*, VI, 25-54.
- Yair, A., Goldberg, P. & Brimer, B.** (1982): Long term denudation rates in the Zin-Havarim badlands, northern Negev, Israel. En Bryan, R. y Yair, A. (Eds.): *Badland geomorphology and piping*, 279-292.
- Yair, A., Lavee, H., Bryan, R.B. & 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.