

DEGRADACION DEL SUELO EN UNA CATENA SOBRE MARGAS AFECTADA POR EL ABANDONO DEL CULTIVO EN UN AMBIENTE SEMIARIDO

A. CERDÀ (1), C. BOIX (1), M.D. SORIANO (2), A. CALVO (2) &
A.C. IMESON

(1) Fysisch Geografisch Bodemkundig Laboratorium. Universiteit van Amsterdam.
Nieuwe Prinsengracht 130. 1018 VZ-Amsterdam

(2) Departament de Geografia. Universitat de Valencia. Blasco Ibañez 28.
46010-Valencia

Resumen. La degradación del suelo es uno de los problemas ambientales más graves del sudeste Peninsular. La erosión hídrica conduce con gran rapidez a la pérdida de fertilidad del suelo, aunque otros procesos como son la alteración de la estructura y la modificación de las características físicas y químicas del suelo también son relevantes. Estos tres aspectos son estudiados en una catena representativa de los paisajes semiáridos entre del sur de Valencia y Almería. La catena estudiada se encuentra muy próxima a Benidorm (Alicante), es de exposición sur, desarrollada sobre margas y recibe una precipitación media anual de 383 mm. En ella existen tres unidades de suelo: zona vegetada con *Stipa sp.* en la parte alta y media de la ladera (Natural), zona desnuda en la parte baja de la ladera (Badland) y campos de cultivo en la acumulación basal (Terraza).

En cada una de las tres unidades de suelo seleccionadas se realizaron experimentos con lluvia simulada (55 mmh⁻¹ durante una hora) para determinar la respuesta hidrológica y erosiva ante eventos de elevada magnitud y reducida frecuencia (periodo de retorno de 10 años). Paralelamente se describieron y analizaron los suelos para conocer su grado de degradación.

Las zonas no afectadas por el uso antrópico directo (Natural) conservan suelos estables que generan muy bajas tasas de escorrentía (Ce, 0,16) y erosión (25 g m² h⁻¹). En cambio, en el Badland, la inexistencia de vegetación, el reducido contenido en materia orgánica y la pobre e inestable agregación dan lugar a que la escorrentía (Ce, 0,89) y la pérdida de suelo (425 g m² h⁻¹) sean muy elevadas. En la Terraza, la elevada tasa de infiltración permite prever que la arroyada generada abundantemente en las partes bajas de las laderas (Badland) será absorbida allí, donde los suelos son profundos, fértiles, cubiertos de vegetación y contienen agregados estables y de gran tamaño.

La degradación del suelo en la zona de estudio va ligada a la acción antrópica. A pesar de la existencia de Badlands como consecuencia de la construcción de las terrazas, en estas últimas se depositan los materiales provenientes de la ladera, Badland incluido. En el futuro, el abandono del cultivo puede dar lugar a la rotura de los muros y con ello a la rápida pérdida de suelo fértil acumulado durante décadas. Un sistema destinado a la acumulación de sedimentos y agua puede convertirse en un sistema generador de arroyadas de gran poder erosivo en el caso que no se lleven a cabo políticas de conservación adecuadas.

Palabras clave: Degradación de los suelos, Erosión hídrica, Semiárido, Margas.

Abstract: Land degradation is one of the most dramatic environmental problems in Southeast Spain. The water erosion drive very fast to the lost of soil fertility, although other processes like the soil structure disturbance and the modification of the mechanical and chemical soil characteristics are also relevant. These three aspects are studied in a catena representative of the semiarid landscapes between the south of Valencia and Almería. The studied catena is located very close to Benidorm (Alicante), have a south exposition, develops on marls, and the mean annual precipitation is 383 mm. Three different soil units can be found: vegetated zone (*Stipa sp.*) on the upper and medium slope position (Natural), bare soil on the lower slope position (Badland) and abandoned field in the bottom of the valley (Terraza). At each of the three selected soil units rainfall simulation experiments were carried out (55 mm h⁻¹ during one hour) in order to determine the soil hydrological and erosional response under low frequency-high magnitude event (return period of 10 years). Also soil description and analysis were done in order to know the level of degradation.

The zones no threatened by the direct human use (Natural) have stable soils, which generate low runoff (Ce, 0,16) and erosion rates (25 g m² h⁻¹). On the contrary, in the Badland, the non-existence of vegetation, the low organic matter content and the poor and breakable aggregation results in a high runoff (Ce, 0,89) and erosion rates (425 g m² h⁻¹). In the abandoned field (Terraza), the high infiltration rates allow to foresee that the overland flow generate in the lower part of the slope (Badland) will be absorbed there, where soils are deep, fertile, covert by vegetation and hold stable and large aggregates.

Land degradation in the studied zone is linked to the human use. Although the existence of Badland as a consequence of the construction of the field, all the sediments coming from the slope are collected by the terrace. In the future, the land abandonment can results in the breaking of the walls and with this to the rapid loss of the fertile soil accumulated during decades. A system developed to accumulated sediments and water can be transformed in a system that generate overland flow with a very high erosional potential if appropriate soil conservation policies are not taken.

Key words: Land degradation, water erosion, Semiarid, marls.

1. Introducción

Los procesos de degradación del suelo afectan a una gran parte de la superficie terrestre (Barrow, 1994). En las zonas semiáridas este proceso es denominado Desertificación debido al riesgo de convertirse en desierto las zonas en proceso de degradación (NACIONES UNIDAS, 1977). La erosión hídrica constituye una de las causas más importantes de degradación de los suelos en ambientes semiáridos, y sin duda la que más rápidamente transforma tierra fértil en desierto. Otros procesos como son la alteración de la estructura y la modificación de las características física y químicas del suelo también son relevantes (Rubio, 1987).

En las zonas semiáridas, las reducidas precipitaciones medias anuales favorecen suelos poco vegetados, lo que junto a los eventos lluviosos de elevada magnitud y reducida frecuencia dan lugar a elevadas tasas de erosión (Langbein & Schumm, 1968; Fournier, 1960; Dendy & Bolton, 1976; Douglas, 1977). El sistema morfogenético semiárido es sin duda el de mayor eficiencia erosiva (Schumm, 1977).

En el sudeste de la Península Ibérica existen paisajes desarrollados bajo condiciones semiáridas (López Bermúdez & Albadalejo, 1990). Prueba de ello es la escasez de la cubierta vegetal y su distribución en manchas, como es el caso de *Stipa tenacissima*, la cual ocupa una gran superficie del territorio entre el sur de Valencia y Almería. En estos ambientes semiáridos del sudeste peninsular, el cultivo se ha desarrollado en los fondos de los valles. Ello es así por las menores tasas de evaporación (menor insolación) y la acumulación de forma natural de sedimentos y agua provenientes de las laderas en los fondos de valle. La construcción de estas terrazas de cultivo mediante muros de piedra seca perpendiculares al cauce es una de las técnicas más utilizadas para acrecentar la acumulación de suelo para el cultivo. Todo ello se llevó a cabo con el fin de mejorar la fertilidad en un ambiente donde los nutrientes, y especialmente el agua son escasos. Otros sistemas similares se han desarrollado en el Mediterráneo (Yair, 1983; Bernabé, 1989) y en otras culturas ancestrales (Hillel, 1991; van Dijk, 1995).

Degradación del suelo en una catena sobre margas 61

En el caso estudiado, las consecuencias geomorfológicas más destacables de la construcción de terrazas son la eliminación de los cauces de primer orden y la modificación de las formas de las laderas al producirse una importante zapa basal para ampliar el campo. Todo ello debió resultar en una modificación importante en la respuesta hidrológica y erosiva de los suelos, la cual se estudia aquí. A su vez, estos cambios deben conducir a alteraciones en la evolución geomorfológica de las laderas y las cuencas de drenaje (Rodríguez Aizpeolea, 1992; Gallart et al., 1994), temas que deben ser estudiados más profundamente en el futuro.

La construcción de terrazas en los fondos de valle se ha llevado a cabo desde siempre en todo tipo de litologías, pero fue en las margas donde su presencia ha sido mayor. Esto es debido a la facilidad con que las terrazas se construyen sobre litologías blandas y a la mayor capacidad de retención hídrica de las margas respecto a los suelos desarrollados sobre calizas o areniscas. El único impedimento residía en la inexistencia de cantos y bloques para la construcción de los muros, si bien la cercanía de las calizas o cauces procedentes de ellas eliminaban este problema. En el peor de los casos no se construía el muro.

Por otra parte, las terrazas construidas sobre margas son las más frágiles, debido a la inexistencia de un sustrato rocoso y a su dinámica hidrológica y erosiva. Se ha comprobado que los suelos de las terrazas construidas en margas generan mayores caudales debido a su baja capacidad de infiltración respecto a otras litologías (Cerdà, 1994a; 1994b; 1995a). Ello hace que sean las más propensas a ser destruidas por la arroyada superficial, aunque también las tubificaciones son muy importantes en estos campos (López Bermúdez & Torcal Sáinz, 1986).

El desarrollo económico del Estado Español y de todos los países de la vertiente norte del Mediterráneo ha favorecido el abandono de las tierras menos productivas (Lasanta, 1989; García Ruiz & Lasanta, 1990; Rodríguez Aizpeolea & Lasanta Martínez, 1992). Entre ellas se encuentran las zonas de montaña, y por lo tanto las terrazas. Entre ellas, las terrazas construidas sobre margas, y ahora abandonadas, deben ser las primeras en las que se apliquen políticas de conservación debido a su fragilidad. Conocer la dinámica de las terrazas en el conjunto de la ladera y la cuenca de drenaje será imprescindible para diseñar adecuadamente estas políticas.

El objetivo de este trabajo es aportar información sobre las características de los suelos y la dinámica de los procesos de erosión hídrica en una catena típica sobre margas en condiciones semiáridas. Se tienen en cuenta los distintos usos del suelo desarrollados a partir del abandono de los campos de cultivo sobre la degradación de los suelos.



Figura 1. Localización de la zona de estudio
Location of the study area

2. Area de estudio

La catena seleccionada se encuentra al norte de la provincia de Alicante (Fig. 1), en la estribación sur de la Serra de Aitana -Este del monte Cortina- a una altitud de 60 m.s.n.m. La ladera presenta una longitud de 70 m y una pendiente de 20°, con una morfología convexa-recta-convexa y una acumulación basal totalmente llana debido a la existencia de un campo de cultivo abandonado (Fig. 2). La litología es margas del Eoceno, si bien en la parte alta de la vertiente existen conglomerados que han generado una capa superficial de derrubios en toda la ladera. Antes de la construcción de las terrazas el perfil de la ladera debió ser ligeramente cóncava.

La precipitación media anual es de 383 mm, destacando la irregularidad interanual, elevada evapotranspiración, prolongados periodos de sequía, etc. En toda la zona, el cultivo se ha centrado en los fondos de los valles, donde al contrario que en las laderas se produce una acumulación de sedimentos y nutrientes, y lo que es más importante, de agua. Las temperaturas mensuales medias oscilan entre 22,18°C y 12,85°C. La influencia del mar hace que se produzca una suavización de 1-2°C en ambos casos respecto a las zonas más continentales. Los días de heladas son insignificantes: 1,4 días por año.

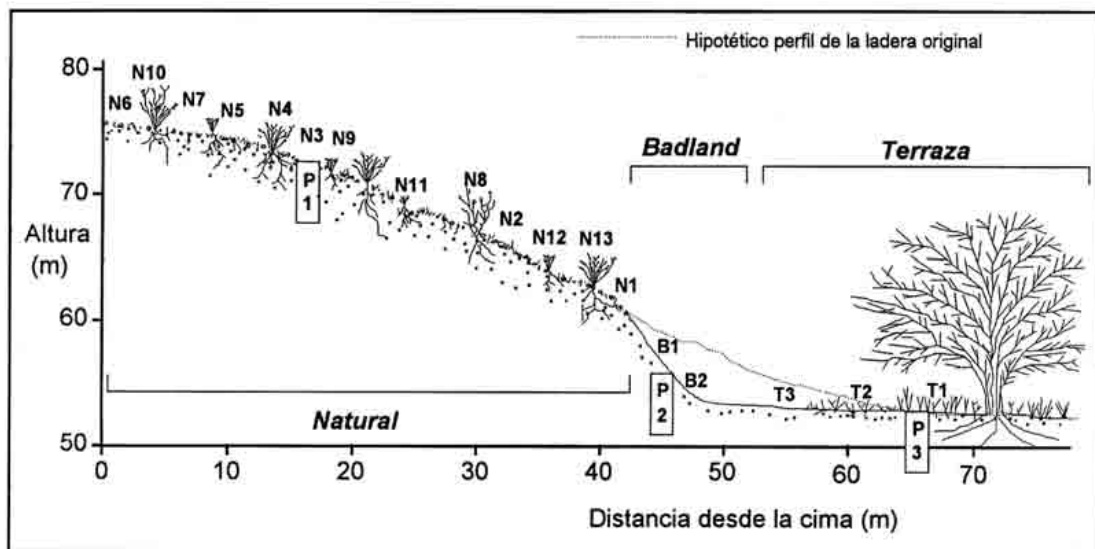


Figura 2. Parcelas de lluvia simulada y de los perfiles tipo descritos en la catena estudiada. En línea discontinua el perfil hipotético de la ladera original. *Rainfall simulation plots and the described soil profiles in the studied catena. In line the hypothetical slope profile of the original slope*

La vegetación dominante está compuesta básicamente por *Stipa tenacissima*, aunque otras especies como *Brachypodium retusum* y *Fumana ericoides* también aparecen de forma reiterativa. *Pinus halepensis*, *Pistacia lentiscus*, *Ceratonia siliqua*, *Rosmarinus officinalis*, *Thymus vulgaris* y *Rhamnus lyciodes* aparecen esporádicamente. En las terrazas abandonadas la vegetación dominante es *Olea europea* (cultivo) y una importante cubierta de gramíneas (Fig. 3).

Las explotaciones de esparto fueron abandonadas en los años 60 en la zona de estudio, por lo que hasta ese momento las restantes especies eran eliminadas. En la actualidad las macollas de esparto están repletas de hojarasca debido a su baja tasa de descomposición. La terraza actual fue construida a finales de los años 60, siendo abandonado el cultivo de olivos a finales de los 80. Probablemente existían terrazas anteriormente en el fondo del valle, las cuales fueron eliminadas durante la construcción de las actuales.

3. Material y métodos

Las mediciones de las pérdidas de suelo y agua se han realizado mediante lluvia simulada con el fin de eliminar la variabilidad introducida por la heterogeneidad de la lluvia natural, y para conocer la respuesta del sistema durante eventos de elevada magnitud y reducida frecuencia, los cuales son los que determinan las formas en las zonas semiáridas (Thornes, 1976; 1994).

El simulador de lluvia utilizado ha sido del tipo pulverizador. La metodología aplicada en el campo ha sido la misma que en Cerdà (1993a, 1993b, 1995a), con una intensidad lluvia de 55 mm h⁻¹ mantenida durante 60 minutos. Este chaparrón tiene un periodo de recurrencia de 10 años en la zona de estudio (Elías & Ruiz, 1977). Durante los experimentos se tomaron muestras de escorrentía y de sedimentos, cada minuto en el primer caso y al menos tres veces en el segundo. También se determinó el inicio de la escorrentía en el colector.

Los experimentos se realizaron durante un periodo muy seco en el verano de 1993 (20, 21 y 22 de julio) para eliminar la influencia de la humedad previa del suelo. Las parcelas son de tamaños reducidos (0,24 m²) con el fin de conocer la respuesta de cada tipo de superficie ante la lluvia simulada. Todas las parcelas son de orientación sur, con ligeras variaciones debido a la topografía de la ladera.



Figura 3. Vista de la catena estudiada. *View of the studied catena*

En la selección de las parcelas fue prioritario que estuvieran representadas todos los tipos de superficies existentes, por ello, en la parte alta y media de la ladera la mayor superficie y diversidad de los suelos naturales hicieron que el número de experimentos fuera mayor (Fig. 2). Se realizaron un total de 18 experimentos con lluvia simulada. De ellos trece fueron realizados en la parte alta y media de la ladera, las cuales han sido englobadas en la Unidad Natural (parcelas N1, N2, N3, N4, N5, N6, N7, N8, N9, N10, N11, N12 y N13). Tres experimentos se llevaron a cabo en los campos de cultivos abandonados, Unidad Terraza (T1, T2 y T3). Y finalmente dos en la zona afectada por la zapa basal de la ladera durante la construcción de las terrazas, Unidad Badland (B1 y B2). La menor diversidad y la menor superficie acupada por estos dos últimos casos hizo que el número de muestras fuera también menor.

En cada uno de los tramos representativos de la ladera se realizó la descripción (F.A.O., 1977; F.A.O.-U.N.E.S.C.O., 1988) y el posterior análisis de los perfiles de los suelos. En concreto se tomaron dos perfiles procedentes de la parte alta (P1) y media (P2) de la ladera (Natural), uno de la zona de la zapa basal (P3) (Badland), y otro de los campos de cultivo abandonado (P4) (Terraza).

Los análisis realizados fueron: textura (MINISTERIO DE AGRICULTURA, 1986), pH, salinidad (Richards, 1964), carbonato cálcico (Jackson, 1958), materia orgánica (Walkley & Black, 1934), capacidad de intercambio catiónico (Peech, 1945), microagregación (Edwards & Bremner, 1964; Imeson & Verstraten, 1985), macroagregación, estabilidad de agregados (Imeson & Vis, 1984; Cerdà, en prensa).

Tabla 1. Descripción y clasificación de los suelos. Carbonato cálcico, porosidad, nodulos de carbonato (Nod. carb.), pedregosidad y raíces. *Soil description and classification. Calcium carbonate, porosity, carbonante nodule (Nod. carb.), stoniness and roots*

Perfil	CaCO ₃	Porosidad	Nod, carb.	Pedregosidad	Raíces	Clasificación
Natural (P1)						
	F, Calc.	Abun. Finas	-	Frecuentes subangular	Abundantes	LPq
	F, Calc.	Pocas Finas	-	Frecuentes subangular	Pocas	
Badland (P2)						
	F, Calc.	Pocas Finas	-	Muy pocas	Pocas	RGc
	F, Calc.	Pocas Finas	-	Muy pocas	Pocas	
Terraza (P3)						
	F, Calc.	Abun. Finas	-	Frecuentes subangular	Muchas	RGc
	F, Calc.	Abun. Finas	Pocos	Abundantes subangular	Abundantes	
	F, Calc.	Pocas Finas	Pocos	Pocas subangular	Muy pocas	

Tabla 2. Descripción de los suelos. Nomenclatura, profundidad, color en húmedo y seco, textura y estructura de los horizontes. *Soil description. Nomenclature, depth, color in wet and dry condition, texture and structure of the horizons*

Perfil	Hor	Prof (cm)	Color		Textura	Estructura
			Húmedo	Seco		
Natural (P1)						
	A1	0-6	10YR4/3	10YR4/4	Franco arcillosa	Mod, Fina Granular
	A2	6-12	10YR5/3	10YR4/3	Franco arcillosa	Mod, Med, Granular
Badland (P2)						
	A	10	10YR6/3	10YR6/3	Franco limosa	Débil Fina Granular
	C	30	10YR7/3	10YR7/3	Franco limosa	Débil Fina Granular
Terraza (P3)						
	A1	0-5	10YR6/2	10YR6/3	Franco limosa	Débil Fina Granular
	A2	5-15	10YR7/2	10YR7/3	Franco limosa	Débil Fina Granular
	C	+15	10YR7/4	10YR7/4	Franco limosa	Débil Fina Granular

4. Resultados y discusión

4.1. Suelos

Clasificación y propiedades físicas y químicas de los suelos

En la zona Natural, los suelos son del tipo Leptosol lítico (P1), mientras que en la Terraza se ha descrito un Regosol cálcico (P3) con una profundidad máxima de 45 cm. En el Badland, el desarrollo del suelo es insignificante -regolita- aunque puede ser clasificado también como Regosol cálcico (P2) (tabla 1).

Degradación del suelo en una catena sobre margas 65

Los suelos de la zona vegetada presentan una estructura muy distinta a la de los suelos afectados por el cultivo. En el primer caso ha sido descrita como granular, moderada o fina, y en los segundos (Badland y Terraza) como granular, débil y fina. La textura pasa de franco arcillosa en la parte alta de la ladera a franco limosa en las terrazas. El color del suelo es mucho más oscuro en las partes altas, lo que se debe a la presencia de materia orgánica en mayores niveles que en la parte baja (consultar tablas 1, 2 y 3).

Tabla 3. Principales características químicas de los suelos.
Main soil chemical characteristics

Perfil	pH	pH	CE	CO ₃ Ca	MO	CIC	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺
	H ₂ O	Cl ₂ Ca	mS 1:5	(%)	(%)		cmolc.Kg ⁻¹			
Natural (P1)										
A1	8,32	7,92	0,17	27,86	6,07	30,07	26,72	1,58	0,96	0,81
A2	8,37	7,62	0,10	29,26	5,97	31,92	28,03	2,33	1,01	0,55
Badland (P2)										
A	8,32	7,89	0,22	30,24	1,4	16,36	14,25	1,08	0,23	1,37
C	8,29	7,67	0,30	32,55	0,99	12,24	9,46	1,08	0,42	1,28
Terraza (P3)										
A1	8,29	7,70	0,21	12,09	5,30	19,37	15,98	1,58	0,83	0,98
A2	8,66	8,01	0,23	14,25	4,80	18,41	14,79	2,08	0,62	0,92
C	8,72	8,12	0,22	19,06	2,87	17,50	14,79	1,95	0,41	0,35

La densidad de las raíces decrece en profundidad. En los suelos vegetados -incluido la terraza de cultivo- existen muchas raíces en el horizonte superficial, mientras que en el Badland prácticamente no existen. Los elementos líticos son importantes en el perfil, excepto en el caso del Badland. Los nódulos de carbonatos son poco frecuentes o no existen, mientras que la porosidad es muy fina. La presencia de poros está directamente relacionada con la abundancia de raíces y materia orgánica, es decir, los horizontes superficiales de color más oscuro con la excepción del Badland.

Los valores de pH en agua son superiores a 8, oscilando entre 8,29 y 8,72 (ver tabla 3 para más detalle). La conductividad eléctrica varía entre 0,1-0,3 dS m⁻¹ y el contenido en carbonatos entre 12,09 y 32,55 %, siendo estos últimos especialmente abundantes en el Badland (tabla 3). La capacidad de intercambio catiónico (CIC) oscila entre 31,92 y 12,24 cmolc. Kg⁻¹ de suelo. El Calcio es el catión dominante en el complejo de cambio (28,03-946 cmolc. Kg⁻¹). El resto de cationes varían de la siguiente forma: Magnesio (1,08-2,33 cmolc. Kg⁻¹), Potasio (0,23-1,01 cmolc. Kg⁻¹) y Sodio (0,35-1,37 cmolc. Kg⁻¹).

Los contenidos de materia orgánica son elevados en los horizontes superficiales de las unidades de suelo Natural y Terraza, decreciendo en profundidad. En la zona de Badland el contenido en materia orgánica es muy reducido (tabla 3). La textura de los suelos se caracteriza por la presencia de limos en valores que superan normalmente el 40 % de la muestra (tabla 4).

Macroagregación y Microagregación

La macroagregación de los suelos de las unidades Natural y Terraza presenta agregados de tamaños grandes. Más del 40 % del peso de la muestra corresponde al tamaño 10-5 mm y un porcentaje similar a la fracción 5-2 mm. Los agregados más pequeños están poco representados (2-1 mm y 1-0 mm) (tabla 5).

Parece que la actividad biológica es el factor que en mayor medida afecta a la formación de agregados. No sólo la biomasa vegetal influye en la generación y estabilización de los agregados, también la animal es muy importante en este caso. Los agregados de tamaño entre 10 y 5 mm están cementados por la materia orgánica producto de la actividad de las lombrices, presentando un tamaño y una forma muy homogé-

nea. La influencia de la fauna y de la flora sobre la agregación ha sido puesta de manifiesto por distintos autores (Tisdal & Oades, 1982; Oades, 1993; Zhang, 1994) y confirmando en un gradiente climático cercano a la zona de estudio (Boix et al., 1994).

Tabla 4. Textura. Distribución de tamaños (mm)
Particle-size. Distribution of sizes (mm)

Perfil	2-1	1-0,5	0,5-.25	0,25-.1	.01-0,05	0,05-0,02	0,02-0,002	< 0,002
Natural (P1)								
A1	3,36	5,36	5,29	4,36	5,44	23,80	25,19	27,20
A2	3,16	5,34	7,36	5,26	4,38	25,50	19,54	29,46
Badland (P2)								
A	6,45	5,22	7,56	9,23	7,99	24,25	20,89	18,45
C	5,34	4,45	4,64	5,23	5,72	24,69	30,53	19,40
Terraza (P3)								
A1	5,86	8,07	6,31	5,89	3,66	29,78	16,04	24,39
A2	6,24	6,56	7,44	4,46	3,03	27,73	26,46	18,08
C	6,40	6,69	9,72	5,34	1,85	30,01	14,64	25,35

El Badland presenta una estructura totalmente distinta, ya que los agregados son de menor tamaño. Además, los agregados son normalmente parte de la costra superficial de origen mecánico y químico, o bien fragmentos de la roca madre en las capas más profundas. En ningún caso el cemento procede de sustancias orgánicas. Estas características lo hacen muy propenso a la dispersión cuando entra en contacto con el agua como ha demostrado el test de Emerson en otros estudios (Cerdà, 1995b).

Tabla 5. Distribución de los tamaños de los agregados (mm)
Aggregate size distribution (mm)

Perfil	10-5	5-2	2-1	1-0	< 0-105
Natural (P1)					
A1	40,37	49,63	6,37	3,63	32,00
A2	40,94	49,43	7,26	2,36	31,80
Badland (P2)					
A	38,42	25,30	10,15	9,15	16,98
C	37,25	29,51	9,14	8,14	15,96
Terraza (P3)					
A1	61,10	35,62	1,38	1,91	32,90
A2	56,83	39,37	1,56	2,24	42,45
C	50,38	45,08	1,73	2,81	44,80

La microagregación es similar en todos los casos (32-45 % de la muestra) con la excepción del Badland. Allí, la presencia de los microagregados es más restringida (16 %) lo que confirma su procedencia: fragmentos de la costra superficial (Imeson & Verstraten, 1988).

Estabilidad de agregados

En condiciones de humedad (pF) los agregados de la terraza y de la zona natural presentan la máxima estabilidad. Todos los agregados con los que se ha realizado el test (20) resisten más de 200 impactos de gota. Los agregados del Badland por el contrario son muy inestable y después de 10 impactos de gota (valor medio) se desmoronan.

Tabla 6. Test por impacto de gotas (Drop-test). Número de impactos de gota necesarios para producir la rotura de los agregados. Realizado sólo para los horizontes superficiales. *Drop-test. Number of drop-impacts necessary to broke down the aggregates. Only done for the surface horizons*

Perfil	Seco	pF1
Natural (P1)		
A1	43	200
Badland (P2)		
A	23	10
Terraza (P3)		
A1	121	200

Cuando el mismo experimento se realiza en seco, la estabilidad de los agregados decrece, excepto en los badlands donde hay un ligero incremento del número de gotas necesario para destruir los agregados (tabla 6). Resultados similares se han encontrado en anteriores estudios (Cerdà, 1993c; Cerdà, 1993d). El aumento de la estabilidad de los agregados de los suelos estables como es el caso de la unidad terraza y la unidad natural con la humectación se debe a que los poros se llenan de agua, aumentando la densidad y la masa del agregado. Además, cuando los agregados están secos, la penetración del agua procedente del impacto de las gotas hace que el aire de los poros quede atrapado en el interior del agregado. Cada impacto de gota supone más presión sobre el aire, lo que al final conduce a la salida del aire de forma brusca y a la rotura del agregado. Este proceso explicaría que los agregados estables se desagreguen antes en seco que en húmedo.

En el caso del badland, el proceso dominante es la dispersión (Imeson & Verstraten, 1989; Cerdà, 1993c). El simple contacto de los agregados con el agua destilada hace que se desmoronen. Así, al contrario que en la Terraza y en el Natural, los agregados del Badland necesitan menos impactos de gotas para desmoronarse en húmedo que en seco. En húmedo, el proceso de dispersión se está produciendo durante la preparación de la muestra, y acelera la destrucción del agregado.

Degradación del suelo

Las características físicas y químicas de los suelos muestra al Badland como el suelo más pobre (regolita) mientras que la Terraza y el Natural son suelos más fértiles, ricos en materia orgánica y con perfiles profundos. La calidad de los suelos procedentes de zonas naturales no alteradas en ambientes semiáridos ha sido puesta de manifiesto en distintos estudios (González Hidalgo, 1992; Martínez Fernández, 1992; Cerdà, 1993a; M.-Mena García, 1995), como lo demuestra su elevada capacidad de infiltración y retención hídrica, y la reducida escorrentía. También en los campos de cultivo abandonado, en los cuales se produce la regeneración del suelo tras el abandono de forma natural (Ruiz Flaño, 1993), la vuelta a las condiciones previas de estabilidad parecen garantizadas. En estos últimos, cuando bajo condiciones semiáridas el abandono se produce con sobrepastoreo y un sequía prolongada, aparecen los primeros rasgos de degradación, reduciéndose la cubierta vegetal, la calidad de la agregación, el contenido en materia orgánica y la actividad microbiana (Cerdà et al., 1994; en prensa). Este no es el caso de la zona estudiada, donde las terrazas mantienen todo el año una elevada cubierta vegetal.

Desde el punto de vista edofológico, solamente el Badland presenta síntomas de degradación. Los restantes casos se comportan como suelos estables, fértiles y acorde con las condiciones del medio en el que se han desarrollado. La agregación, como parámetro sintético del proceso de degradación (Imeson, 1994), es el que mejor identifica los suelos inestables o degradados, en este caso el Badland.

4.2. Respuesta hidrológica y erosiva

Cada una de las unidades de suelo se comporta de forma distinta ante lluvias de idénticas características (ver tabla 7). En la zona Natural la escorrentía es efectiva tan sólo en los suelos entre matas, pero insignificante o nula en estas últimas. Los coeficientes de escorrentía son superiores a 0,15 en las zonas desnudas (cobertura vegetal inferior al 10 %), donde la arroyada se inicia rápidamente debido a tasas de infiltración final estable medias o bajas (<40 mm h⁻¹). Estos suelos no sólo producen las mayores escorrentías, sino que además éstas son las que transportan mayores sedimentos (incluso alcanzan los 4 g l⁻¹), dando lugar a tasas de erosión elevadas (>100 g m² h⁻¹ en dos casos). Los suelos vegetados con *Stipa sp.* y *Brachypodium sp.* no producen escorrentía o bien es insignificante (Ce <0,15). Esto, junto a la protección de la vegetación y la pedregosidad hace que la concentración de sedimentos en la escorrentía sea inferior a 1 g l⁻¹, y que las tasa de erosión no superen los 5 g m² h⁻¹. Respuestas contrastadas dentro de la misma ladera debido a la distribución en manchas de la vegetación se han encontrado en otras zonas del sudeste peninsular (Scoging, 1982; Sánchez & Puigdefábregas, 1994a; 1994b; Cerdà, 1995a).

Tabla 7. Respuesta hidrológica y erosiva. Tiempo de inicio de la escorrentía (ts), coeficiente de escorrentía (ce), tasa de infiltración final estable (fc), concentración de sedimentos en la escorrentía (cs) y tasa de erosión (te).

Hydrological and erosional response. Time to runoff (ts), runoff coefficient (ce), steady-state infiltration rate (fc), runoff sediment concentration (cs) and erosion rates (te)

Parcela	ts	Ce	fc (mm h ⁻¹)	Cs (g l ⁻¹)	Te (g m ² h ⁻¹)
Natural					
N1	2' 46"	0,58	20,6	4,96	155,7
N2	4' 05"	0,53	19,0	4,67	133,6
N3	7' 00"	0,18	40,5	0,88	8,91
N4	13' 00"	0,05	50,9	1,39	4,29
N5	14' 00"	0,00	54,7	0,15	0,03
N6	se	0	55	0	0
N7	se	0	55	0	0
N8	5' 00"	0,03	53,3	0	0
N9	se	0	55	0	0
N10	10' 00"	0,08	48,2	0,23	1,02
N11	2' 25"	0,36	32,1	0,86	17,05
N12	7' 27"	0,10	48,4	0,25	1,35
N13	3' 03"	0,11	47,9	0,74	4,59
Badland					
B1	2' 15"	0,90	2,5	9,32	450,8
B2	2' 13"	0,88	1,2	8,40	400,2
Terraza					
T1	se	0	55	0	0
T2	6' 32"	0,19	37,2	0,37	3,87
T3	3' 33"	0,82	3,4	0,24	10,77

En el Badland la escorrentía se inicia rápidamente (2'14"), todos los suelos presentan elevadas tasas de escorrentía (C_e , 0,89) debido a las bajas tasas de infiltración (2 mm h^{-1}), y la concentración de sedimentos es muy elevada (9 g l^{-1}), por lo que las tasas de erosión son elevadas ($425 \text{ g m}^2 \text{ h}^{-1}$). Esta respuesta es típica de los Badlands, habiendo sido identificada en distintas partes del mundo (Yair & Lavee, 1980; Campbell, 1982; Hodges, 1982; Imeson et al., 1982; Harvey & Calvo, 1991; Payà & Cerdà, 1992).

La Terraza presenta dos tipos de superficies claramente diferenciadas: la cubierta por vegetación (T1 y T2) y la zona afectada directamente por los depósitos de ladera (T3). En esta última, la existencia de una costra de sedimentación hace que la escorrentía se inicie rápidamente y que la infiltración sea reducida (f_c , $3,37 \text{ mm h}^{-1}$). En este caso, el coeficiente de escorrentía es elevado (C_e 0,82), pero la poca pendiente favorece que la capacidad de transporte de la escorrentía sea baja, con lo que la concentración de sedimentos es muy reducida ($0,24 \text{ g l}^{-1}$), dando lugar a tasas de erosión insignificantes ($1 \text{ g m}^2 \text{ h}^{-1}$) en comparación con la abundante escorrentía. Este comportamiento es el típico de los pediments de los badlands, los cuales actúan como superficies de transporte (Bryan & Yair, 1982; Cerdà, 1995). Los suelos vegetados de la Terraza se comportan como los de la zona Natural, bien no generan escorrentía (T1) o bien ésta es muy reducida (C_e , $<0,19$) debido a la elevada tasa de infiltración. La reducida concentración de sedimentos hace que la tasa de erosión sea insignificante (ver tabla 7). Reducidas tasas de erosión y escorrentía en campos de cultivos abandonados en los que la revegetación se ha producido con éxito se han encontrado en otros trabajos (García Ruiz et al., 1991; Rodríguez Aizpeolea et al., 1991; Ruiz Flaño, 1992; Cerdà, 1995a).

La respuesta ante la lluvia simulada confirma que los suelos de las zonas Natural y Terraza son muy estables, y que en absoluto podemos clasificarlos como degradados. En ellos, gran parte del agua precipitada es infiltrada directamente, y la movilización de sedimentos, antes que erosión neta, supone más bien la relocalización de éstos en el sistema. En este proceso, la salpicadura debe ser muy importante (Savat, 1981), ya que la escorrentía debe generarse muy pocas veces de forma efectiva como se ha demostrado en zonas semiáridas semejantes (Cerdà, 1995a). En cambio, el Badland favorece la pérdida de prácticamente toda el agua precipitada, la cual erosiona partículas de suelo e impide su regeneración posterior.

Los experimentos con lluvia simulada confirman que la única zona degradada dentro de la catena estudiada es el Badland. Incluso sus efectos se dejan sentir en el campo de cultivo donde los sedimentos procedentes de la ladera (el Badland) forman una superficie de deposición-transporte que en la literatura es denominada Pediment (Bryan & Yair, 1982). Allí la respuesta es semejante a la de la ladera de Badland, elevadas tasas de escorrentía, pero la pérdida de suelo es menor debido a la reducida concentración de sedimentos determinada por la baja pendiente. La dinámica del Badland es tan activa que no sólo puede reducir la infiltrabilidad de los suelos de la terraza por los sedimentos allí aportados, sino que además produce el retroceso de la ladera, con lo que todo el sistema puede desequilibrarse. La inexistencia de vegetación hace que la mejora del suelo sea efectiva, dominando el proceso de erosión hídrica la evolución del sistema. En zona similares se ha comprobado un efecto positivo de la vegetación con la mejora del suelo (Martínez Fernández et al., 1995), proceso poco probable aquí debido a las condiciones que impone el Badland (reducida humedad, suelo poco poroso, salinidad, altas tasas de erosión, etc.).

5. Degradación del suelo

Además de la intensidad y el volumen de la precipitación, parece obvio que un factor esencial en el control de la erosión es la vegetación. En las dos zonas vegetadas, unidades Terraza y Natural, la arroyada ha sido reducida, lo que confirma el trabajo de otros autores (Morgan, 1986; Elwell & Stocking, 1976; Lee & Skogerboe, 1985; Woo & Luk, 1990; González Hidalgo, 1992). Los resultados obtenidos demuestran que exceptuando el Badland, los suelos de la catena se comportan de una forma natural. En ellos, la fertilidad de los suelos es la normal en las condiciones climáticas y litológicas existentes, la calidad de la agregación es buena y su comportamiento ante lluvias de elevada intensidad han demostrado que la mayor parte de la precipitación es infiltrada y que las tasas de erosión son insignificantes.

El Badland tiene un comportamiento totalmente distinto a la Terraza o a la zona Natural en cualquiera de los aspectos estudiados. En la figura 4 se observa que en las variables positivas (materia orgánica, estabilidad de los agregados e infiltración) tanto Terraza como Natural muestran índices elevados mientras que

el Badland presenta índices muy bajos. Por el contrario, en las variables negativas (escorrentía, erodibilidad y tasa de erosión) el Badland es la unidad que mayores índices presenta. Estos aspectos son poco importantes en las unidades Terraza y Natural. La erosión en este caso sería acelerada o antrópica.

Otros autores han encontrado que las zonas de badland son las que generan gran parte de los sedimentos en las cuencas de drenaje (Bryan et al., 1984). En este caso, al estar el Badland aislado de la red fluvial por las terrazas su descarga líquida y sólida es depositada en ellas. El acarcavamiento de las terrazas, inevitable si no se realizan políticas adecuadas de conservación, favorecerá que el badland drene a la red principal, dando lugar a tasas de erosión mayores y reduciendo la calidad del agua de escorrentía.

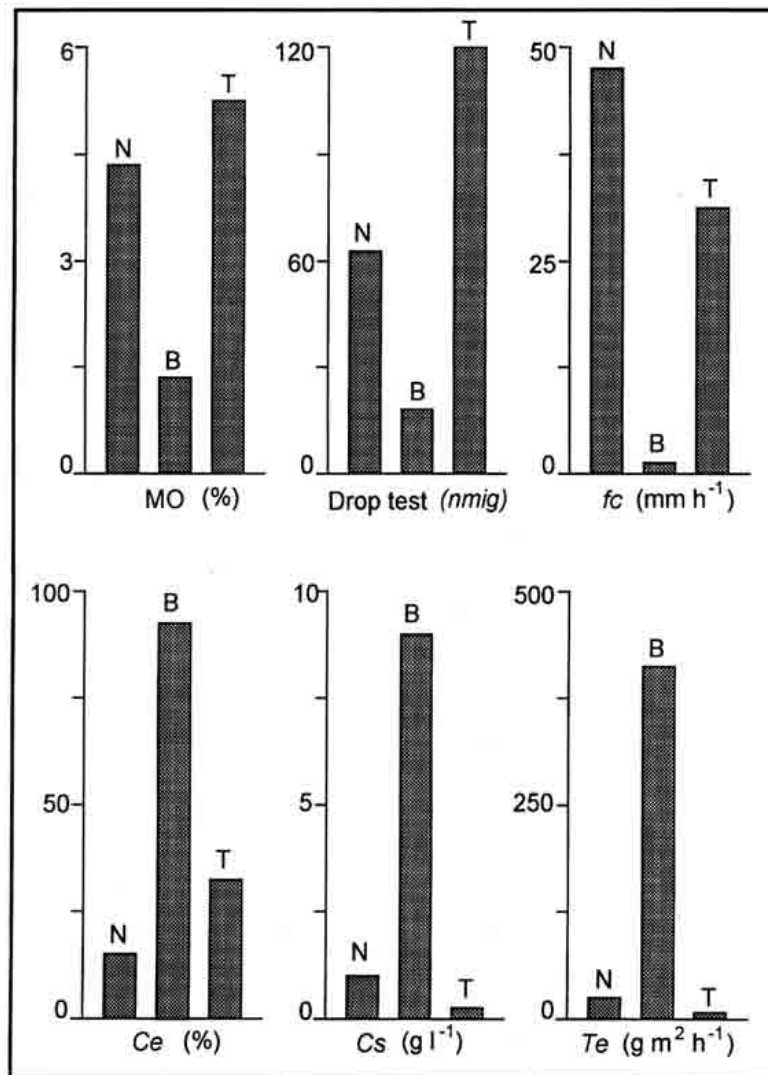


Figura 4. Valores del contenido en materia orgánica (MO), Test por impacto de gotas (nmig, número medio de impactos de gota), tasa de infiltración final estable (fc), coeficiente de escorrentía (Ce), concentración de sedimentos (Cs) y tasa de erosión (Te) distinguiendo entre las unidades de suelo Natural (N), Badland (B) y Terraza (T). *Values of the organic matter content (MO), Drop-test (nmig, mean number of drop-impats), steady-state infiltration rate (fc), runoff coefficient (Ce), sediment concentration (Cs) and erosion rates (Te) distinguishing among the Natural (T), Badland (B) and Terrace (T) soil unit.*

Hasta el momento, el uso antrópico de la cuenca ha alterado las tasas de actuación de los procesos geomorfológicos, facilitando la infiltración de la escorrentía y la deposición de los sedimentos. La construcción de las terrazas, a pesar que favorecieron el desarrollo del Badland, ha sido positivo para controlar la escorrentía y la erosión. El dilema surge con el abandono. Si los muros no se conservan, en los próximos años su destrucción dará lugar a mayores tasas de erosión, y a la pérdida de suelo fértil acumulado durante décadas.

La alteración del actual sistema geomorfológico, destinado a la captación de sedimentos y agua, puede modificar las pautas de los procesos hidrológicos y erosivos hasta el punto de transformarse en un sistema de gran eficacia erosiva.

6. Conclusiones

De las tres unidades de suelo existente en la catena estudiada, dos (Terraza y Natural) son estables. En ellas los suelos están vegetados, contienen agregados estables, son porosos y fértiles, y las tasas de erosión y escorrentía son bajas para las altas intensidades de lluvia aquí simuladas. El badland es la única unidad en la que los suelos están degradados. El encostramiento superficial, el escaso desarrollo del perfil, la reducida fertilidad, etc., da lugar a altas tasas de erosión y escorrentía, lo que hace difícil su regeneración.

En la situación actual -primera etapa del abandono de las terrazas de cultivo- los sedimentos provenientes del Badland se sedimentan en las terrazas lo que hace que la red fluvial principal no se vea afectada. Si los muros desaparecen -etapa avanzada de abandono-, un sistema desarrollado para la sedimentación como son las terrazas, podría transformarse en un sistema generador de sedimentos a la red fluvial.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto EV5V-CT91-0023 de la Commission of the European Communities in the Climatology and Natural Hazards program. El primer autor agradece al Ministerio de Educación y Ciencia la concesión de una beca de Perfeccionamiento de Doctores y Tecnólogos en el Extranjero que le ha permitido redactar el presente trabajo.

Referencias bibliográficas

- Barrow, C.J.** (1994): *Land Degradation*. Cambridge University Press, Cambridge, 295 p.
- Bernabé, J.M.** (1989): Obras hidráulicas tradicionales en el regadío de Petrer. (Vall de Vinalopó). En *Los paisajes del agua*. Universitat de València y Universidad de Alicante, 187-198.
- Boix, C., Calvo, A., Soriano, M.D. & Tienessen, I.** (1994): Variabilidad espacio temporal de la agregación de suelos en laderas mediterráneas. En J. Arnáez, J.M. García Ruiz & A. Gómez Villar, (Eds.): *Geomorfología en España*, 289-302.
- Bryan, R. & Yair, A.** (1982): *Badland Geomorphology and Piping*. University Press, Cambridge, 409 p.
- Bryan, R.B., Imeson, A.C. & Campbell, I.A.** (1984): Solute release and sediment entrainment on micro-catchments in the Dinosaur Park Badlands Alberta, Canada. *Journal of Hydrology*, 71, 79-106.
- Campbell, I.A.** (1982): 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): Metodologías para el estudio de la hidrología y erosión de superficies degradadas (badland) a partir de lluvia simulada. *Cuaternario y Geomorfología*, 7, 35-48.
- Cerdà, A.** (1993c): Estabilidad de agregados en suelos degradados. *Nuevos procesos territoriales*, 187-192.
- Cerdà, A.** (1993d): Incendios forestales y estabilidad de agregados. *Cuadernos de Geografía*, 53, 1-16.
- Cerdà, A.** (1994a): The Response of Abandoned terraces to Simulated rain. En Rickson, R.J. (Ed.): *Conserving our Soil Resources*, 5, 44-55.

- Cerdà, A. (1994b): Arroyada Superficial en Terrazas de Cultivo Abandonadas. El caso del País Valenciano. *Cuadernos de Geografía*, 56, 135-154.
- Cerdà, A. (1995a): *Factores y Variaciones Espacio-Temporales de la infiltración en los Ecosistemas Mediterráneos*. Editorial Geoforma. Logroño, 151 p
- Cerdà, A. (1995b): Efectos del manejo sobre la estabilidad de los agregados del suelo en el Valle del Río Camacho, Sur de Bolivia. Informe del proyecto: *Estrategias de los agricultores y sistemas de producción agropecuaria en ambientes frágiles de áreas de montaña en Latinoamérica*, 60 p.
- Cerdà, A. (en prensa): Aplicación del test de la gotas y de la dispersión por ultrasonidos para la determinación de la estabilidad de los agregados en suelos sobre calizas afectados por fuego. *Cuaternario y Geomorfología*.
- Cerdà, A., García-Alvarez, A. Cammeraat, L.H., & Imeson, A.C. (1994): Agregación del suelo en una catena afectada por el abandono del cultivo en la cuenca del Guadalentín (Murcia). I. Estabilidad y distribución de los agregados del suelo. En García Ruiz, J.M. y Lasanta, T. (Eds): *Consecuencias Geomorfológicas del abandono de tierras*, 9-19.
- Cerdà, A., García-Alvarez, A. Cammeraat, L.H., & Imeson, A.C. (en prensa): Agregación del suelo en una catena afectada por el abandono del cultivo en la cuenca del Guadalentín (Murcia). II. Fluctuación estacional y dinámica microbiana. *Pirineos*.
- Dendy, F.E. & Bolton, G.C. (1976). Sediment yield-runoff drainage area relationship in the United States. *Journal of Soil and Water Conservation*, 31, 264-266.
- Douglas, I. (1977). *Humid Landforms*. Australian National University Press, Camberra, 288 p.
- Edwards, A.P. & Bremner, J.M. (1964): Use of sonic vibration for separation of soil particles. *Canad. J. Soil Sci.* 44, 366.
- Elías Castillo, J. & Ruiz Beltran, L. (1977): *Precipitaciones Máximas en España*. Ministerio de Agricultura, Madrid, 545 p.
- Elwell, H.A. & Stocking, M.A. (1976): Vegetal cover to estimate soil erosion hazard in Rodhesia. *Geoderma*, 15, 61-70.
- F.A.O. (1977): *Guía para la descripción de perfiles de suelos*. Roma.
- F.A.O.-U.N.E.S.C.O. (1989): *Soil Map of the World*. 1:5.000.000. I. Revised Legend. Roma.
- Fournier, F. (1960). *Climat et Erosion*. Paris, Presses Universitaires de France, 204 p.
- Gallart, F., Llorens, P. & Latron, J. (1994): Studying the role of old agricultural terraces on runoff generation in a small Mediterranean mountainous basin. *Journal of Hydrology*, 159, 291-303.
- García Ruiz, J.M., Ruiz Flaño, P., Lasanta, T., Monserrat, G., Martínez Rica, J.P. & Pardini, G. (1991): Erosion in abandoned field, what is the problem?. En Sala, M., Rubio, J.L. & García Ruiz, J.M. (Eds.): *Soil Erosion Studies in Spain*, 97-108.
- García-Ruiz, J.M. & Lasanta, T. (1990): Land-use changes in the Spanish Pyrenees. *Mountain Research and Development*, 10 (3), 267-79.
- Gonzalez 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.
- 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.
- Hillel, D. (1991): *Out of the Earth: Civilization and the Life of the Soil*. University of California Press, 321 p.
- Hodges, W.K. (1982): Hydraulic characteristics of a badland pseudo-pediment slope system during simulated rain-storm experiments. En Bryan, R.B. and Yair, A. (Eds.): *Badland Geomorphology and Piping*, 127-152.
- Imeson, A.C. (1984): An eco-geomorphological approach to the soil degradation and erosion problem. En Fantechi, R. y Margaris, N.S. (Eds.): *Desertification in Europe*, 110-125.
- Imeson, A.C. & Vis, M. (1984): Assessing Soil Aggregate Stability by Water-drop Impact and Ultrasonic Dispersion. *Geoderma*, 34, 185-200.
- Imeson, A.C. & Verstraten, J.M. (1985): The erodibility of highly calcareous soil material from southern Spain. *Geoderma*, 34, 185-200.

- Imeson, A.C. & Verstraten, J.M.** (1988): Rills on badland slopes: a physico-chemical controlled phenomenon. *Catena supplement* 12, 139-50.
- Imeson, A.C. & Verstraten, J.M.** (1989): The microaggregation and erodibility of some semi-arid and mediterranean soils. *Catena supplement* 14, 11-24.
- 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. & Yair, A. (Eds.): *Badland Geomorphology and Piping*. 47-70
- Jackson, M.L.** (1958): *Soil Chemical Analysis*. Prentice Hall Inc. Englewood Cliff. Londres. 480 pp.
- Langbein, W.B. & Schumm, S.A.** (1958). Yield of sediment in relation to mean annual precipitation. *Transactions of the Amer. Geophys. Union*, 51 4 292.
- Lasanta, T** (1989): *Evolución Reciente de la Agricultura de Montaña: El Pirineo aragonés*. Geoforma Ediciones, Logroño, 220 p.
- Lee, C.R. & 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.
- López Bermúdez, F. & Albadalejo, J.** (1990): Factores ambientales de la degradación del suelo en el área mediterránea. En Albadalejo, J., Stocking, M.A. & Díaz, E. (Eds.): *Degradación y regeneración del suelo en condiciones ambientales mediterráneas*, 15-45.
- López Bermúdez, F. & Torcal Sáinz, L.** (1986): Procesos de erosión en tunel (Piping en cuencas sedimentaria de Murcia (España). Estudio preliminar mediante difracción de rayos x y microscopio electrónico de barrido. *Papeles de Geografía Física*, 11, 7-20.
- Mena García, M.** 1995. *Respuesta hidrológica en medios semiáridos: Factores de control y modelización*. Tesis Doctoral inédita, CSIC-CEBAS, Universidad de Murcia.
- Martínez Fernández, J.** (1992): *Variabilidad Espacial de las Propiedades Físicas e Hídricas de los suelos en Medio Semiárido Mediterráneo*. Tesis Doctoral inédita, Universidad de Murcia, 232 p.
- Martínez Fernández, J., López Bermúdez, F., Martínez Fernández, J. & Romero Díaz, A.** (1995): Land use and soil-vegetation relationships in a Mediterranean ecosystem: El Ardal, Murcia, Spain. *Catena*, 25, 153-167.
- Ministerio de Agricultura** (1986): *Métodos oficiales de análisis de suelos*. Tomo III. 178-188.
- Morgan, R.P.C.** (1986): *Soil Erosion and Conservation*. Longman, New York, 298 p.
- Naciones Unidas** (1977): *Desertification: its Causes and Consequences*. Pergamon Press. Oxford, 448p
- Oades, J.M.** (1993): The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. *Geoderma*, 56, 377-400.
- Payà, J. & 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. & Romero Díaz, M.A. (Eds.): *Estudios de Geomorfología en España*. 161-170.
- Peech, M.** (1945): Determination of exchangeable cations and exchange capacity of soils-rapid micromethods utilizing centrifuge and spectrophotometer. *Soil Sci.* 59, 25-38.
- Richards, L.A.** (1964): *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. Agriculture Handbook, nº6. USDA.
- Rodríguez Aizpeolea, J.** (1992): *Un ejemplo de la Influencia del uso y abandono de bancales de fondo de canal en la evolución de Badlands (Petrer-Alacant)*. Actas del II Congreso Nacional de Geomorfología, 211-220.
- Rodríguez Aizpeolea, J. & Lasanta Martínez, T.** (1992): Los bancales abandonados en la montaña mediterránea: una revisión bibliográfica. *Pirineos*, 139, 105-123.
- Rodríguez Aizpeolea, J., Pérez Badía, R. & Cerdà Bolinches, A.** (1991): Colonización vegetal y producción de escorrentía en bancales abandonados: Vall de Gallinera, Alicante. *Cuaternalario y Geomorfología*, 5, 119-129.
- Ruiz Flaño, P.** (1992): *La evolución geomorfológica de campos abandonados en áreas de Montaña: El ejemplo del valle de Aisa. Pirineo Aragonés*. Tesis Doctoral inédita, Universidad de Zaragoza, 287 p.

- Ruiz Flaño, P.** (1993): *Procesos de erosión en campos abandonados del Pirineo*. Geoforma Ediciones. Logroño, 191 p.
- Rubio, J.L.** (1987): Desertificación en la Comunidad Valenciana: antecedentes históricos y situación actual de la erosión. *Revista Valenciana d'Estudis Autònomicos*, 7, 231-258.
- Sánchez, G. & Puigdefábregas, J.** (1994a): Interactions of plant growth and sediment movement on slopes in a semi-arid environment. *Geomorphology*, 9, 243-260.
- Sánchez, G. & 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.
- Savat, J.** (1981): Work done by splash: laboratory experiments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 6, 275-283.
- Schumm, S.A.** (1977): *The Fluvial System*. John Wiley and Sons, New York, 338p.
- 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.
- Thornes, J.B.** (1976): Semi-arid erosion systems: case studies from Spain. *Geogr. Papers*, n°7, London School of Economics.
- Thornes, J.B.** (1994): Catchment and Channel Hydrology. En Abrahams, A.D. y Parsons, A.J. (Ed.): *Geomorphology of Desert environments*, 257-287.
- Tisdall, J.M. & Oades, J.M.** (1982). Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science*, 33, 141-163.
- van Dijk, J.A.** (1995): *Taking the Water. Soil and Water Conservation Techniques among Settling Beja Nomads in Eastern Sudan*. Tesis Doctoral. Universiteit van Amsterdam, 324 p.
- Wallkey, A. & Black, I.A.** (1934): An examination of the Degtjarett method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37, 29-38.
- Woo, M.-K. & Luk, S.-H.** (1990): Vegetation effects on soil and water losses on weathered granitic hillslopes, south China. *Physical Geography*, 11, 1-16.
- Yair, A.** (1983): Hillslope hydrology water harvesting and areal distribution of some ancient agricultural systems in the northern Negev desert. *Journal of Arid Environments*, 6, 283-301.
- 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.
- Zhang, H.** (1994). Organic matter incorporation affects mechanical properties of soil aggregates. *Soil and Tillage Research*, 31, 263-275.