

ARTEMI CERDÀ

DISTRIBUCIÓN DE LA HUMEDAD DEL SUELO EN LAS CÁRCAVAS DEL SUR DEL PAÍS VALENCIANO

RESUMEN

La humedad del suelo ejerce un papel clave en el ciclo hidrológico al determinar las tasas de infiltración, percolación y escorrentía. Este trabajo muestra la variabilidad espacial de la humedad del suelo en una cárcava típica del sudeste peninsular en dos épocas del año 1992: invierno (suelos muy húmedos) y verano (suelos muy secos). Para ello se eligieron seis unidades de suelos correspondientes a las unidades geomorfológicas y edáficas más significativas: Badlands (B-1 y B-2), Glacis, Vegetados, Pediment y Campos abandonados. En cada unidad de suelo se tomaron muestras a distintas profundidades y se determinó su contenido en agua por el método gravimétrico. Los resultados demuestran que las diferencias espaciales de la humedad del suelo en una cárcava son más importantes durante los periodos extremadamente húmedos. Así, en la capa superficial del suelo, la humedad oscila entre 16 y 31 % durante el periodo húmedo, mientras que durante el periodo seco estival lo hace entre 0,5 y 3 %. Las diferencias encontradas en la cárcava son debidas básicamente a la cubierta vegetal y a la posición fisiográfica del suelo en la cuenca del drenaje. Las variaciones espaciales son mucho menores en los horizontes más profundos, así, tanto en verano como en invierno las diferencias entre los suelos más húmedos y los más secos es del 5 %.

ABSTRACT

Soil moisture plays an important role in the hydrological cycle due to the control that exert on the infiltration, percolation and runoff rates. This paper investigates the spatial variability of the soil moisture in a typical gully in southeast Spain. The study was done under two different climatic conditions: winter (very wet soils) and summer (very dry soils). Six representatives edaphic-geomorphologic units were selected: Badlands (B-1 and B-2), Glacis, Vegetated, Pediment and Old agricultural fields. At each soil unit, sampling was done at different depths, and his water content was determined by means of the gravimetric method. Results shows that the spatial differences of the soil moisture in a gully is greater during the extremely wet periods. On the surface layer, soil moisture move from 16 to 31 % during the wet period, meanwhile during the dry period it move from 0.5 to 3 %. The differences found on the gully are due mainly to the vegetation cover and the physiographic position of the soil within the gully basin. The spatial variations are smaller at the deepest horizon, where as in winter as in summer the differences between the wettest and the driest soil is lower than 5 %.

* Departament de Geografia. Universitat de València.

1. INTRODUCCIÓN

La humedad del suelo desempeña un papel clave en el ciclo hidrológico al determinar las tasas de infiltración, percolación y escorrentía. Incluso, el agua almacenada en el suelo controla de forma indirecta las tasas de evaporación y transpiración (ANDERSON y BURT, 1990). A su vez, el contenido de agua en el suelo es controlado por el clima mediante la precipitación y la evaporación (RODDA, 1976). También los suelos influyen en su propio régimen hídrico debido a que según su composición favorecen la retención del agua en los poros (materia orgánica, arcillas, etc.), mientras que otras dan lugar a un drenaje más rápido (arenas, pendiente, etc.) (DUNIN, 1976).

El agua edáfica es uno de los factores claves para entender la dinámica de la vegetación, especialmente en medios semiáridos. A su vez, también la vegetación influye en el régimen hídrico de los suelos, ya que favorece pérdidas por interceptación y transpiración (RUTTER *et al.*, 1975), y ganancias por la reducción de la evaporación (MONTEITH y SZEICZ, 1961) y aumento de las tasas de infiltración (BRAS, 1990). Por lo tanto, conocer el régimen hídrico de los suelos en zonas degradadas y acarcavadas (badlands en la literatura anglosajona) es clave para diseñar estrategias que puedan conducir a su regeneración mediante la restauración de la cubierta vegetal, la cual reducirá las tasas de erosión y favorecerá la formación de suelo.

A pesar de la importancia de la humedad del suelo en el funcionamiento de los ecosistemas, especialmente aquellos con un marcado déficit hídrico como el mediterráneo, los estudios realizados sobre la dinámica del agua en el suelo han sido muy pocos. De entre estos, una gran mayoría se restringe al desarrollo de modelos que en ocasiones no llegan a ser aplicados o calibrados (MARTÍNEZ FERNÁNDEZ, 1996). Este estudio muestra la variabilidad espacial de la humedad del suelo en una cárcava típica del sur del País Valenciano en dos épocas del año 1992: invierno (suelos muy húmedos) y verano (suelos muy secos).

2. ÁREA DE ESTUDIO

El trabajo se llevó a cabo en una cuenca experimental en el sudeste de la Península Ibérica, Petrer, en la cual se ha investigado la morfología de los badlands, los procesos de erosión y generación de escorrentía y los balances hidrológicos a distintas escalas desde 1986 (HARVEY y CALVO, 1989; CALVO *et al.*, 1991; HARVEY y CALVO, 1991; CERDÀ, 1993; CERDÀ, 1995).

Las cárcavas de Petrer se han desarrollado sobre margas cretácicas a partir de la incisión del anterior valle pleistoceno fruto del diapirismo de la zona. Las condiciones climatológicas y edáficas determinan una escasa cubierta vegetal y la formación de regueros en los suelos muy erosionados. Las precipitaciones son muy reducidas, con medias anuales que varían entre 296 y 339 mm según los autores consultados (GEIGER, 1970; PAYA 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.

En la cárcava estudiada se seleccionaron 6 puntos de muestreo, los cuales corresponden a los suelos más representativos. i) Badlands desarrollados en dos tipos de materiales distintos caracterizados por un su color blanquecino (B-1) y grisáceo (B-2), ii) Pediment (B), iii) Vegetado (V), iv) Campo abandonado (C), y v) Glacis (G). Los puntos de muestreo se seleccionaron todos ellos en la ladera sur, excepto la unidad de suelo Vegetado, la cual es más representativa de la ladera norte donde fue muestreada (Fig. 1).

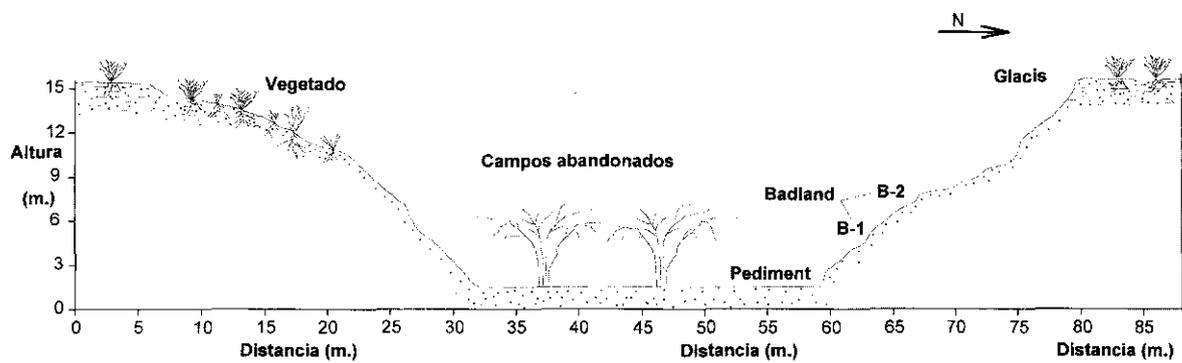


Fig. 1. Perfil de la cárcava estudiada distinguiendo entre las seis unidades de suelo seleccionadas. Badland (B-1 y B-2), Pediment (P), Vegetado (V), Campos abandonados (C) y Glacis (G).

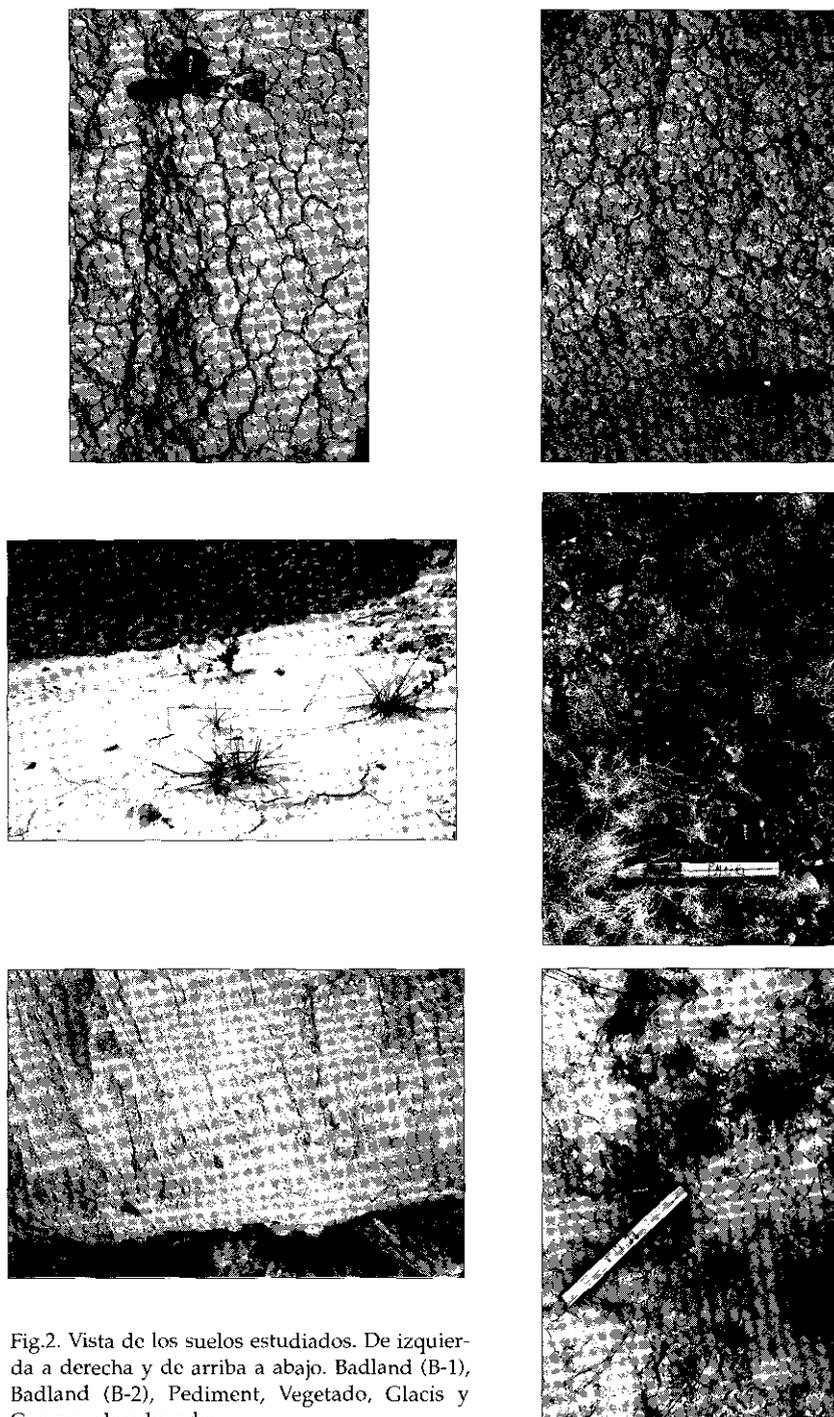


Fig.2. Vista de los suelos estudiados. De izquierda a derecha y de arriba a abajo. Badland (B-1), Badland (B-2), Pediment, Vegetado, Glacis y Campos abandonados.

El muestreo de la zona de *Badland* (B-1 y B-2) se llevó a cabo en el la parte baja de la ladera sur. En estos suelos, la vegetación es inexistente aunque *Moricandia arvensis* se puede observar en primavera. Los regueros y en algunos casos la subfosi3n (*piping*), y las costras superficiales son muy abundantes, y los suelos -regolita- son poco profundos. La pendiente de las laderas oscila entre 20° y 40°, y los procesos erosivos en ellas son muy activos. En el tipo B-1, la roca madre es de color blanquecino, y es muy propicia a la formaci3n de regueros, mientras que el tipo B-2, de color grisáceo favorece los movimientos en masa (Fig. 2) (PAYÀ y CERDÀ, 1992). Las grietas en este segundo caso son menos abundantes pero su tama3o es mayor (2-15 mm) que en el primero (1-10 mm). En B-1, la potencia del material meteorizado es menor (5 cm) que en el B-2 (15 cm). Las muestras más profundas fueron tomadas directamente en la roca madre (Fig. 2).

Los *Pediments* tienen muy baja pendiente (0-2°) y se encuentran al pie de las laderas conformando junto a éstas la unidad denominada badland en la literatura geomorfol3gica (BRYAN y YAIR, 1982; CAMPBELL, 1989). Los pediments son zonas llanas de muy baja pendiente (0-2°) que han sido clasificadas como zonas de sedimentaci3n o transporte muy activos, son por lo tanto zonas de transici3n de los sedimentos arrancados de las laderas hacia los cauces fluviales. En ellos, a corto plazo pueden medirse tasas de sedimentaci3n o erosi3n, pero a largo plazo hay un equilibrio entre ambos procesos que identifican al transporte como la resultante final. Los suelos desarrollados sobre los pediments presentan cubiertas vegetales reducidas o nulas, aunque en las zonas más alejadas de la ladera se produce una incipiente colonizaci3n vegetal. Los pediments estudiados son los colindantes con el pie de la ladera, es decir los más activos geomorfol3gicamente y en los que la vegetaci3n es menor (Fig. 2).

Los unidad de suelos *Vegetados* ocupa la parte alta de la ladera norte y se conservan como retazos de lo que pudo ser una ladera totalmente cubierta de vegetaci3n. En estos suelos la cubierta vegetal es del 60 % y está compuesta por especies como *Coronilla minima*, *Dorycnium pentaphyllum*, *Bupleurum subfruticosum*, *Polygala calcaria*, *Helichrysum stoechas*, *Fumana ericoides*, *Astragalus hispanicus* y *Brachypodium retusum* (Fig. 2).

Los *Glacis* cupan la parte alta de la cuenca estudiada, y en ellos se desarrollan en los mejores casos una vegetaci3n densa (*Pinus halepensis*, *Quercus coccifera* y *Pistacia lentiscus*), aunque lo normal es la presencia de una cubierta vegetal degradada en la que las especies dominantes son las enumeradas en la unidad de suelos Vegetados (Fig. 2).

Tambi3n en los *Campos abandonados* se presentan las mismas especies, aunque allí su número aún es mayor (CERDÀ, 1993). El olivar fue el último aprovechamiento estos campos, donde aún sobreviven algunos árboles. Después de más de 20 años de abandono, la presencia de regatos en las laderas de la cárcava principal es muy abundante. Ello es debido a la zapa basal durante el cultivo y a la reactivaci3n de las cárcavas tras el abandono de los campos, lo cual ha incrementado las tasas de erosi3n naturales (Fig. 2).

3. MÉTODOS

La medici3n de la humedad del suelo se realizó mediante el método gravimétrico. El muestreo se llevó a cabo sobre las seis unidades seleccionadas: Badland (B-1 y B-2), Glacis, Pediment, Campos de cultivo abandonado y Vegetado, a distintas profundidades, y prestando especial atenci3n a los horizontes superficiales. Se diseñó una sonda que permitía extraer muestras de suelo a distintas profundidades, hasta un máximo de 120 cm, si bien aquí se presentan los datos relativos a los primeros 50 cm (Fig. 3). En el caso de B-1 y B-2 la

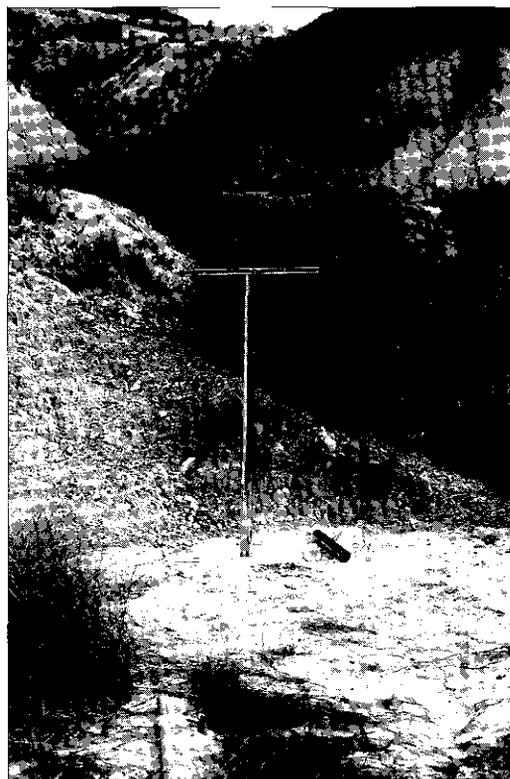


Fig. 3. Vista de la sonda diseñada para el estudio.

profundidad máxima de muestreo fue de 12 y 18 cm de profundidad respectivamente, debido al reducido desarrollo de estos suelos. La profundidades de muestreo para las restantes unidades de suelo fueron las siguientes: 1, 4, 8, 15, 25, 35, y 45 cm. La toma de muestras se realizó en dos ocasiones, una correspondiente a un periodo seco en pleno verano (10 de agosto de 1992) y otra a uno húmedo durante el invierno (el 6 de marzo). Los datos pluviométricos proceden del cercano observatorio de Monòver (10 km al SW de la estación experimental de Petrer). Para lluvias convectivas no es extrapolable la precipitación en Monòver con la de Petrer, pero para lluvias frontales como las del periodo estudiado si lo son como se ha comprobado con las repetidas visitas al campo para la toma de muestras.

4. RESULTADOS

4.1. Características de los suelos

Características tales como densidad, materia orgánica y textura son esenciales para entender la dinámica del agua en el suelo. En los Badlands, la textura de los suelos está dominada por los limos (50-60 %), las arcillas son menos abundantes (30-40 %) y las arenas son insignificantes (< 10 %). El contenido en materia orgánica es muy bajo (< 1 %) y el carbonato cálcico supera el 60 %. Por la abundancia en limos y arcillas, y la falta de

materia orgánica, los suelos son muy densos ($1,5 \text{ g cm}^{-3}$) y su capacidad de infiltración es muy baja (CERDÀ, 1993).

En los Pediments, la textura se caracteriza por una mayor abundancia de arenas (30-40 %), el menor contenido en arcilla (20-30 %) y la reducción de los limos (30-40 %) en relación a los suelos de las laderas, origen de los sedimentos de los pediments. La materia orgánica también es insignificante ($< 1 \%$) y el carbonato cálcico mantiene niveles semejantes al de la ladera de los badlands (50-60 %). La densidad aparente de los suelos es $1,40 \text{ g cm}^{-3}$ y su capacidad de infiltración final estable es incluso menor a la encontrada en las laderas, lo que es debido a la inexistencia de grietas y al encostramiento de los dos primeros centímetros del suelo (CERDÀ, 1993).

Los suelos Vegetados contienen más materia orgánica (5 %) y menos carbonato cálcico (50 %), la textura se caracteriza por la abundancia de limos (50 %) y por niveles semejantes de arcilla y arena (25 %). La densidad aparente de los suelos vegetados es de $1,10 \text{ g cm}^{-3}$, y su capacidad de infiltración es muy elevada (CERDÀ, 1993).

En los Glacis se han desarrollado suelos muy arenosos (60-70 % de arenas) muy pobres en materia orgánica (1 %), con altos contenidos en carbonato cálcico y densidades aparentes altas ($1,2 \text{ g cm}^{-3}$), a pesar de lo cual la capacidad de infiltración es elevada por la textura grosera (CERDÀ, 1993).

En los Campos abandonados los suelos son pobres en materia orgánica ($< 1 \%$), el carbonato cálcico presenta contenidos elevados (60-70 %), y la textura es alternante (limosa o arenosa) en el perfil, debido a que los campos han sido zonas de sedimentación durante décadas. Los limos son la fracción más abundante. La densidad aparente de los suelos vegetados oscila entre $1,15-1,30 \text{ g cm}^{-3}$, y su capacidad de infiltración es reducida debido a la presencia de costras superficiales (CERDÀ, 1993).

4.2. Precipitación

La distribución de la lluvia determinó el muestreo realizado. El primer muestreo se realizó el 6/3/1993 después de 66 mm precipitados entre el 18 y 20 de febrero y una tanda de cuatro días en la que se registraron 15 mm (del 2 al 5 de marzo). El segundo muestreo se llevó a cabo el 10/8/1992 después de casi dos meses sin lluvia durante el estío. La tanda de precipitación más destacable se produjo a principios del mes de junio, cuando se registraron 64 mm (ver figura 4 para la evolución de las precipitaciones diarias). Las lluvias registradas entre enero y septiembre de 1992 se produjeron en 31 días de precipitación efectiva, 13 fueron menores a 1 mm, 8 oscilaron entre 1 y 5 mm y en 10 casos superaron los 5 mm día⁻¹, con un máximo de 32,5 mm el 20 de febrero de 1992. Los totales y el número de días de lluvia son muy semejantes a los registros medios durante los últimos 30 años para los nueve meses estudiados.

5. CAMBIOS EN LA HUMEDAD DEL SUELO

El periodo húmedo de febrero-marzo de 1992

Se ha seleccionado este periodo como representativo de una época de precipitaciones normales de invierno. Estas lluvias se caracterizan por su reducida intensidad y volumen, pero repartidas durante un gran número de días de precipitación (8 de los

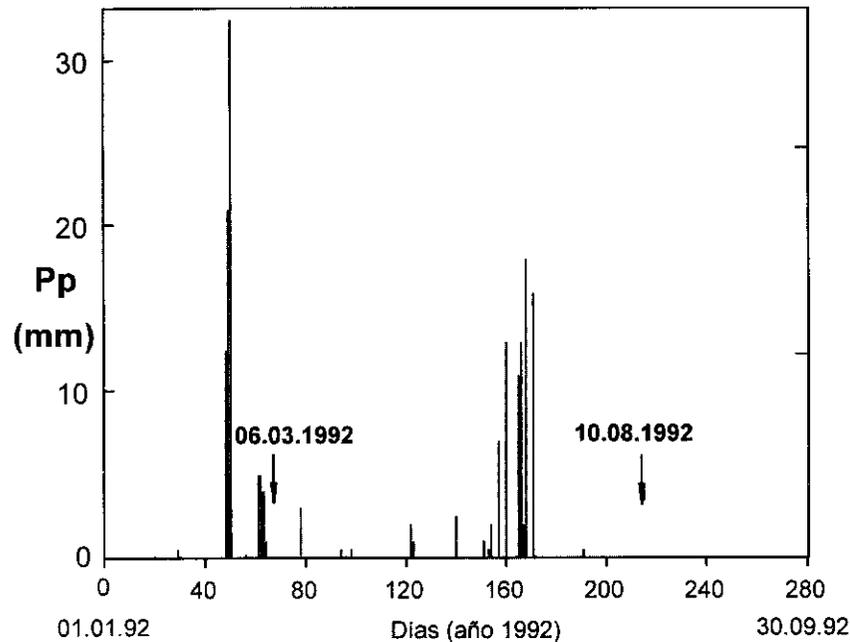


Fig. 4. Precipitaciones diarias entre el 1/1/1992 y el 30/9/1992 en Monòver. Las flechas indican el día de muestreo: 6/3/1992 y 10/8/1992.

17 días previos a la medición), lo que favorece la penetración del frente de humedad profundamente.

Los perfiles de humedad muestran un comportamiento muy variable entre unidades de suelos, aunque en general se ha comprobado una reducción de la humedad en profundidad, lo que está relacionado con la menor densidad y mayor porosidad de los horizontes superficiales. En los Badlands, la reducción en profundidad de la humedad es muy rápida debido a que la roca madre o capas fruto de la meteorización de ésta, regolito, se encuentran a 5 cm de profundidad. El tipo de badland B-1 presenta siempre menores valores de humedad que el B-2. Las restantes unidades de suelo presentan un comportamiento muy semejante, aunque hay algunas excepciones. El bajo contenido en humedad del Glacis en superficie se debe a su textura arenosa que facilita el rápido drenaje del agua infiltrada. En cambio, los campos abandonados presentan valores superiores al 30 % en superficie, en lo que influyen tanto la textura limosa como la posición en el fondo del valle, la cual favorece menores tasas de evaporación por la menor radiación solar directa.

La menor humedad de los pediments respecto a las otras unidades de suelo a profundidades superiores a 20 cm es debida a la mayor densidad de estos suelos, formados por los depósitos procedentes de las laderas, y en las que el desarrollo edáfico es insignificante.

A pesar de que durante los cuatro días previos se habían producido precipitaciones significativas la variabilidad espacial de la humedad del suelo en superficie es elevada.

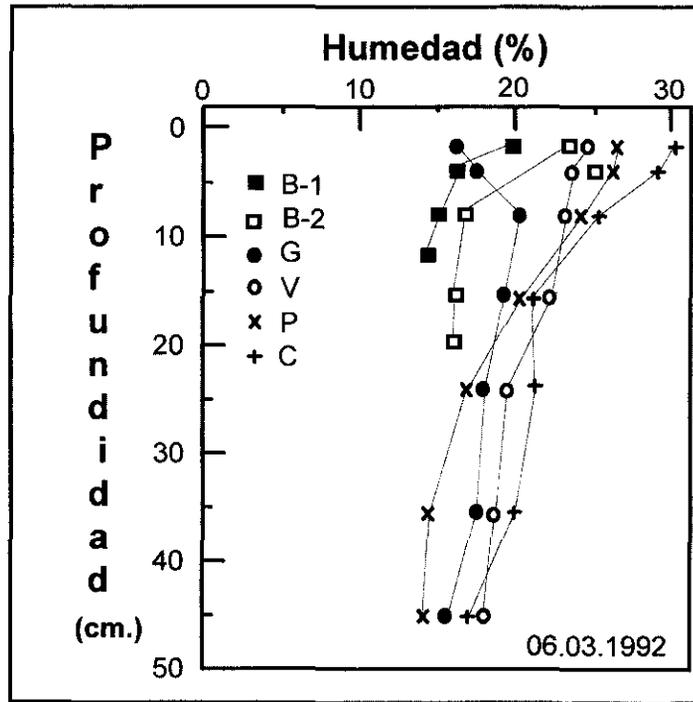


Fig. 5. Perfiles de humedad durante un periodo húmedo. Badlands, B-1 y B-2; Glacis, G; Vegetado, V; Pediment y Campos abandonados, C.

En concreto, se midieron valores del 16 % en los badlands y del 31 % en los campos abandonados en la capa superficial. En profundidad estas diferencias se reducen drásticamente, llegando a ser inferiores al 5 % (Fig. 5). Las razones de estas fuertes variaciones espaciales está en la influencia de la vegetación y la distinta posición fisiográfica de los suelos. La vegetación favorece suelos más porosos y con mayores cantidades de materia orgánica, lo que da lugar a mayores contenidos en agua. La situación en el fondo del valle de los campos de cultivo también los convierte en un reservorio de agua al no recibir radiación solar directa. En cambio, la posición del glacis en la parte alta de las laderas y su textura grosera favorece una más rápida pérdida del agua del suelo.

El periodo seco de julio-agosto de 1992

Durante el periodo veraniego de 1992 (del 21 de junio al 10 de agosto) tan solo se registró un día de lluvia (10 de julio), la cual fue de 0,5 mm. Es decir, el déficit hídrico durante este periodo fue extremo, ya que la tasa de evaporación potencial media diaria durante ese periodo en el observatorio de Alicante superó los 4 mm día⁻¹. Los perfiles de humedad durante este periodo muestran también un comportamiento diferente de los badlands. B-1 sigue mostrando una menor capacidad para la retención hídrica, y las dife-

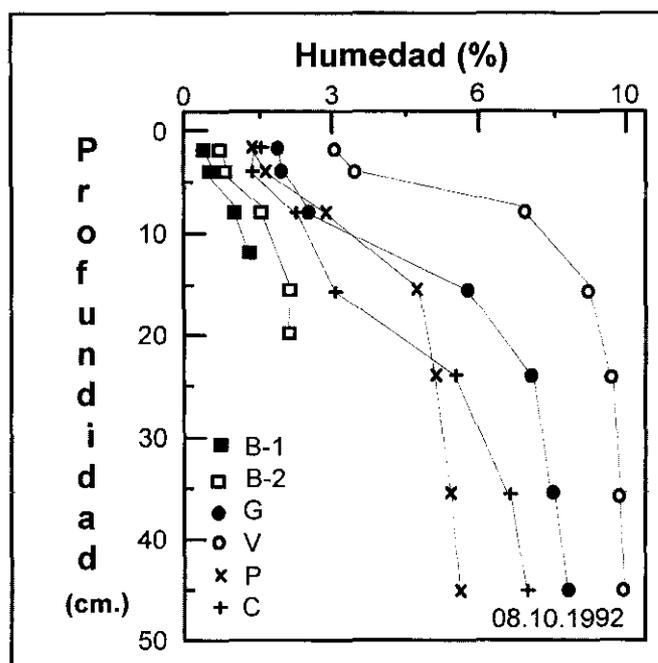


Fig. 6. Precipitaciones diarias entre el 1/1/1992 y el 30/9/1992 en Monòver. Las flechas indican el día de muestreo: 6/3/1992 y 10/8/1992.

rencias con B-2 se mantienen e incluso se acrecientan. La unidad de suelos Vegetado presenta volúmenes de agua mucho mayores, mientras que los suelos de los Glacis, Campos y Pediments tienen valores intermedios. Sin duda el efecto protector de la vegetación se pone de manifiesto en este caso. Siempre se ha medido un aumento de la humedad del suelo en profundidad, y este aumento es mayor en los suelos con mayor capacidad de retención hídrica, es decir, los Vegetados.

Las variaciones espaciales durante los periodos húmedos son muy reducidas en la superficie del suelo, donde los valores oscilan entre 0,50 y 3 %. Los extremos corresponden a los badlands (B-1) y a los suelos vegetados respectivamente. Por el contrario, en profundidad, las variaciones entre unidades de suelos son semejantes a las encontradas durante los periodos húmedos: 5 % < 8 (Fig. 6).

6. DISCUSIÓN

En trabajos previos se había destacado la elevada variabilidad espacial de la humedad del suelo en las zonas acarcavadas, lo que se atribuía a la alternancia de zonas vegetadas y zonas desnudas en una misma ladera, y a las diferencias morfológicas existente en los badlands (Pediment - ladera) (CERDÀ, 1996). En este trabajo se ha comprobado que estas diferencias espaciales son más importantes durante los periodos extremadamente húmedos que en los secos. Además, las elevadas variaciones espaciales también pueden ser

debidas al escarpado relieve de los badlands. Esto favorece la existencia de zonas donde la radiación solar es muy reducida (pediments y campos de cultivo) y zonas donde es muy elevada (badlands de orientación sur), lo que da lugar a tasas de evaporación muy distintas dentro de la misma cuenca de drenaje en los días posteriores a las lluvias. En invierno, la reducida altura del sol acentúa este efecto del relieve. También la propia conformación de los badlands -incisión de una cárcava sobre un glacis arenoso y el subyacente paquete sedimentario margoso- da lugar la presencia de distintos tipos de suelos y por lo tanto distintos regímenes hídricos. En concreto, los suelos de los glacis son fácilmente drenados en su capa superficial por su textura arenosa, mientras que en los campos de cultivo la textura favorece una mayor capacidad de retención hídrica.

También se han encontrado variaciones importantes dentro de las mismas superficies desnudas de las cárcavas debido a diferencias litológicas. En concreto, el tipo de badland B-2 tiene una mayor capacidad de retención hídrica por la mayor presencia de arcillas y por ser éstas expandibles (SORIANO *et al.*, 1993). Las variaciones en la composición del roquedo son de extrema importancia en los badlands ya que determinan el régimen hídrico al no haber otros factores -especialmente vegetación- que regulen el ciclo hidrológico y erosivo.

Excepto los suelos vegetados, todos los casos estudiados presentan muy bajos volúmenes de agua en el suelo durante el verano, lo que también se produce durante periodos secos invernales (CERDÀ, 1996). Esto reduce las posibilidades de revegetación y favorece cambios en su morfología superficial de forma muy rápida al producirse alternancias de periodos secos y húmedos, e incluso una rápida desecación después de cada lluvia (HARVEY y CALVO, 1991; PAYÀ y CERDÀ, 1992).

Las grandes diferencias en los volúmenes de humedad del suelo dentro de las cuencas de drenaje acarcavadas y la dinámica evolución de la humedad en todas las unidades de suelos existentes debe dar lugar a variaciones estacionales muy marcadas de las tasas de escorrentía y erosión al modificarse la infiltrabilidad de los suelos (CERDÀ, 1995). La revegetación de las cárcavas es un tema de gran importancia para la conservación de los suelos, ya que recuperar la vegetación significa reducir las tasas de erosión, favorecer infiltraciones más profundas y abundantes, y con ello el desarrollo de un sistema más estable desde el punto de vista hidrogeomorfológico. Además, en el caso de los badlands es fundamental realizar una recuperación de los suelos ya que en su estado actual dan lugar a arroyadas muy voluminosas en agua y sedimentos, lo que además de degradar las laderas favorece la colmatación de los embalses.

La revegetación de los badlands pasa por la germinación de las semillas y el enraizamiento definitivo de las plántulas, ya que la plantación directa favorecería altas tasa de erosión al remover el suelo. En cuanto a la regeneración vegetal a partir de las semillas, estudios previos han demostrado que en la superficie de los badlands existe un banco de semillas abundante (GARCÍA FAYOS y RECATALÀ, 1995), el cual no es erosionado incluso con chaparrones de elevadas intensidades (GARCÍA FAYOS *et al.*, 1995; CERDÀ y GARCÍA FAYOS, 1994-1995; 1997; GARCÍA-FAYOS y CERDÀ, 1997). Ello se debe a que los suelos se secan rápidamente y las plántulas no disponen de la humedad suficiente para sobrevivir. Trabajos en este sentido deben dar la explicación de la difícil regeneración de los badlands por procesos naturales. Por ello, una buena estrategia para la regeneración de las cárcavas pasa por la implantación de nuevas plántulas en aquellos lugares más adecuados para su asentamiento. Esto es, en los suelos vegetados, y en los campos de cultivo y pediments del fondo de valle. Paradojicamente, proponemos que la colonización vegetal no se inicie

por la zona más degradada, la ladera de los badlands. Ello es así porque las duras condiciones impuestas por los badlands (altas temperaturas, reducida humedad del suelo, elevada densidad, nula fertilidad, etc.) no permitiría el enraizamiento de las plántulas, y además los trabajos de plantación darían lugar a un incremento de las tasas de erosión y con ello una mayor degradación de los suelos. Entendemos que la expansión de las zonas vegetadas desde la base de la ladera (pediment), y de las manchas vegetadas situadas en las laderas con especies más competitivas puede ser una de las soluciones. Actuaciones más duras -cambio en el perfil de las laderas, muros y presas de sedimentación, etc.- no se han tenido en cuenta al descartarse por su impacto ambiental.

Otros estudios han apuntado en los badlands la rápida desecación de las superficies hacen poco viable la implantación de vegetación. Un estudio más detallado se hace necesario en estos momentos. Aquí se ha comprobado como incluso en un periodo extremadamente húmedo por el volumen de lluvias como por los días de precipitación (8 de 17) los badlands tienen una muy baja capacidad de retención hídrica.

Otra implicación de los resultados de este trabajo es que la menor variabilidad de la humedad del suelo durante los periodos secos, especialmente el verano, hace de esta estación la época más apropiada para el estudio de las variaciones espaciales de otros procesos hidrológicos y erosivos.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Mario Payà y a toda su familia la ayuda prestada durante la realización del trabajo de campo, y al Instituto Nacional de Meteorología la información pluviométrica suministrada. La Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología financió parte del trabajo de campo (proyectos AMB93-0844-C06-04 y NAT91-0741).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, M.G. y BURT, T.P. (1990): *Process Studies in Hillslope Hydrology*. John Wiley and Son, Chichester, 539 pp.
- BRAS, R.L. (1990): *Hydrology: An Introduction to Hydrology Science*. Addison-Wesley, New York, 643 pp.
- BRYAN, R. y YAIR, A. (1982): *Badland geomorphology and piping*. Goebooks, Norwich, 409 pp.
- 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, Logroño, Ediciones Geoforma.
- CAMPBELL, I.A. (1989): Badland and Badland Gullies. En: THOMAS, D.S.G. (Ed.): *Arid Zone geomorphology*, 159-186.
- CERDÀ, A. (1993): *La Infiltración en los Suelos del País Valenciano. Factores y Variaciones Espacio-Temporales*. Tesis Doctoral Inédita. Universitat de València. 357 pp + apéndices.
- CERDÀ, A. (1995): *Factores y variaciones espacio-temporales de la infiltración en los ecosistemas mediterráneos*. Ediciones Geoforma. Logroño, 151 pp.
- CERDÀ, A. (1996): Régimen hídrico de los suelos en zonas acarcavadas. Algunos ejemplos de la cuenca experimental de Petrer. Alicante. *Cadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe*, 21, 685-694.
- CERDÀ, A. y GARCÍA-FAYOS, P. (1994-1995): Relaciones entre las pérdidas de agua, suelo y semillas en zonas acarcavadas. Influencia de la pendiente. *Cuadernos de Investigación*

- Geográfica*, 20-21, 23-45.
- CERDÀ, A. y GARCÍA-FAYOS, P. (1997): The influence of slope angle on sediment, water and seed losses on badland landscapes. *Geomorphology*, 18, 77-90.
- DUNIN, F.X. (1976): Infiltration: Its Simulation for Field Conditions. En RODDA, J.C. (Ed.), *Facets of Hydrology*. John Wiley and Sons, Bristol, 199-227.
- GARCÍA-FAYOS, P. y RECATALÀ, R.M. (1992): La reserva de semillas en una cuenca de "badlands" (Petrer, Alicante). *Pirineos*, 140, 29-36.
- GARCÍA-FAYOS, P., RECATALÀ, T.M., CERDÀ, A. y CALVO, A. (1995): Seed population dynamics on badland slopes in SE Spain. *Journal of Vegetation Science*, 6, 691-696.
- GARCÍA-FAYOS, P. y CERDÀ, A. (1997): Seed losses by surface wash in degraded Mediterranean environments. *Catena*, 29, 73-83
- GEIGER, F. (1970): *Die Aridität in Südostspanien*. Stuttgarter Geographische Studien, Band 77.
- 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 pp.
- 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.
- MARTÍNEZ FERNÁNDEZ, J. (1996): *Variabilidad espacial de las propiedades físicas e hídricas de los suelos en medio semiárido mediterráneo*. Universidad de Murcia, Murcia, 150 pp.
- MONTEITH, J.L. y SZEICZ, G. (1961): The radiation balance of bare soils and vegetation. *QJRMSS*, 87, 159-170.
- 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.
- RODDA, J.C. (1976): *Facets of Hydrology*. John Wiley and Sons, Bristol, 368 pp.
- 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.
- RUTTER, A.J., MORTON, A.J. y ROBINS, P.C. (1975): A predictive model of rainfall interception in forests. II. Generalization of the model and comparison with observations in some coniferous and hardwood stands. *Journal of Applied Ecology*, 12, 367-380.
- SORIANO, M.D., CALVO, A., CERDÀ, A. y 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*, Lovaina, Bélgica.

