

ARTEMI CERDÀ BOLINCHES*

ARROYADA SUPERFICIAL
EN TERRAZAS DE CULTIVO
ABANDONADAS.
EL CASO DEL PAÍS VALENCIANO

RESUMEN

Se comparan los resultados de experimentos realizados con lluvia simulada realizados en tres terrazas de cultivo abandonadas en el País Valenciano. En los tres casos están situadas en el fondo del valle y el último cultivo fueron olivos, aunque la edad de abandono, el clima y especialmente la litología son diferentes.

Los resultados demuestran que los suelos sobre margas son los que presentan mayores tasas de escorrentía y erosión, frente a las terrazas sobre arcillas del Keuper y calizas en las cuales la pérdida de agua y suelos son insignificantes, incluso nulas en el caso de las últimas.

Estos resultados están directamente relacionados con las características de los suelos, básicamente con la cubierta vegetal y el contenido en materia orgánica. Por lo que respecta a la textura, los suelos limosos desarrollados a partir de las margas tienen tasas de infiltración mucho menores que las encontradas en los arenosos de las calizas y los arcillosos de los materiales del Keuper.

ABSTRACT

The results of rainfall simulation experiments carried out in three different terraces of abandoned field in the Valencian Country are presented. At these three cases the abandoned field were situated in the bottom of the valley and the last crop were olive trees, although the abandonment age, the climate and specially the lithology are different.

The results demonstrate that the marls soils have higher runoff and erosion rates, face to the terraces over Keuper clays and limestones, in which the water and soil losses are negligible, even nonexistent in the last ones.

These results are directly related to the soils characteristics, basically with the vegetation cover and the organic matter content. With regard to the texture, the silty soils developed over marls have lower infiltration rates than the sandy soils over limestones or the clay soils over Keuper materials.

* Departament de Geografia. Universitat de València.

1. INTRODUCCIÓN

El abandono de cultivos ha sido y está siendo una de las consecuencias de la despoblación de las zonas de montaña en todo el Mediterráneo (LASANTA, 1992; GARCÍA-RUIZ, 1990; RODRÍGUEZ-AIZPEOLEA, 1992b). Debido a las transformaciones económicas sufridas por el Estado Español durante las tres últimas décadas, un elevado porcentaje de las explotaciones agrícolas fueron abandonadas. Las razones básicas han sido la reducida extensión y la imposibilidad de mecanización de las explotaciones, la competencia de la agricultura tecnificada e intensiva de otras zonas, así como la idealización de la vida en las urbes y la sociedad de consumo.

La consecuencia ecológica más importante de este abandono es la vuelta al estado natural de gran parte del territorio antes utilizado y sometido al sistema agrario tradicional (GARCÍA-RUIZ *et al.*, 1991). Los procesos de regeneración vegetal son los mejor conocidos y en general se entiende que el proceso está dominado inicialmente por las herbáceas, seguido por el matorral y finalmente debería aparecer la cubierta boscosa. En los ecosistemas mediterráneos debido a la reducida tasa de crecimiento del arbolado, pero también como consecuencia de alteraciones antrópicas (fuego, pastoreo, etc.) este último estadio muy difícilmente se consigue.

En general la revegetación suele tener éxito, aunque no es un proceso lineal (LLÓRENTE y LUENGO, 1986; PÉREZ y VABRE, 1988) y está afectado por el régimen pluviométrico (FRANCIS, 1986b; FRANCIS, 1990). Además, factores como la litología y el uso antrópico influirán claramente sobre la regeneración de la cubierta y, por lo tanto, en la posterior evolución del ecosistema.

Hidrológicamente, el abandono de las tierras de cultivo supone un cambio radical tanto desde el punto de vista de la hidrología intrínseca de los suelos como desde los flujos superficiales y subsuperficiales a lo largo de la ladera. Se ha comprobado que normalmente las terrazas con una edad de abandono muy elevada presentan tasas de infiltración importantes (FRANCIS, 1986a; RUIZ-FLAÑO, 1992; CERDÀ, 1993), pero en el proceso de regeneración de los suelos tras el abandono se producen periodos en los que la generación de escorrentías superficiales es importante. Esto es fruto de la degradación del suelo inmediatamente después del abandono (reducida vegetación y mayor encostramiento), tras algún incendio o bien como consecuencia del sobrepastoreo (RODRÍGUEZ-AIZPEOLEA *et al.*, 1991).

Los flujos hídricos tras el abandono se ven modificados tanto por los cambios en el comportamiento hidrológico de los suelos como por la inexistencia de reparaciones en los muros y en otros daños. Esto hace que se puedan formar cárcavas o tubificaciones continuas que contribuyan a los caudales con gran rapidez. En general, los caudales de las cuencas de drenaje con cultivos abandonados son reducidos, y favorecen la capacidad de reserva de la cuenca (LLORENS, 1991).

Geomorfológicamente, el abandono de cultivos es de gran interés debido a que se puede considerar a las terrazas como un laboratorio para el estudio de los procesos geomorfológicos y sus modificaciones, así como para modelizar la dinámica de los ecosistemas y la recuperación de su propia estabilidad tras un periodo de alteración. Conocer el proceso de regeneración y estabilización de una ladera abancalada nos permitiría descifrar cuales son los rasgos de estabilidad morfológica de un determinado paisaje, y cuales son los mecanismos que los sostienen.

En general, se tienen pocos conocimientos sobre las tasas de actuación de los procesos geomorfológicos en las terrazas de cultivo, y cuando se tienen, la metodología aplicada sólo se ha llevado a cabo en un tipo de ellas, por lo que la validez de los resultados se ve circunscrita a ambientes muy concretos.

El objetivo de este trabajo es caracterizar el comportamiento hidrológico y erosivo de los suelos de tres terrazas de cultivo abandonadas localizadas en el País Valenciano pero existentes en todo el mediterráneo (RODRÍGUEZ-AIZPEOLEA y LASANTA, 1992). Se presta especial atención a las diferencias climáticas y litológicas, reduciéndose al máximo las disparidades introducidas por el factor humano.

2. ÁREA DE ESTUDIO

Las tres zonas seleccionadas se encuentran en el País Valenciano, en un clima mediterráneo con veranos secos y máximas precipitaciones en otoño. A pesar de las particularidades de cada zona, en todos los casos las irregularidades interanuales, las elevadas tasas de evapotranspiración, la existencia de sequías recurrentes, así como eventos de grandes intensidades y volúmenes de precipitación (normalmente en otoño) son rasgos comunes.

En **Petrer**, la precipitación media anual es de 350 mm, siendo otoño y primavera las estaciones más húmedas. La temperatura media del mes más cálido es 25,7 °C (agosto) y la del mes más frío 5,6 °C (enero), existiendo heladas nocturnas durante los meses más fríos debido a la elevada altitud (500 m.s.n.m.).

En **Torís**, la precipitación media anual es de 465 mm anuales, siendo el mes más frío enero (5,9 °C) y el más cálido agosto (23,5 °C). En **Genovés**, la precipitación es aún mayor, 688 mm anuales (el 20 % en octubre), y el clima más cálido, tanto en verano con una temperatura media del mes de agosto de 26,7 °C, como en invierno con 9,9 °C de temperatura media del mes de enero.

En los tres casos, tanto la litología como la evolución geomorfológica de las zonas donde se construyeron las terrazas es distinta. En el caso de **Petrer**, las terrazas se construyeron en el fondo de un abarrancamiento desarrollado sobre margas Senonienses (ver RODRÍGUEZ-AIZPEOLEA, 1992a). En la zona hay abundantes cárcavas y regueros en las laderas, y es considerada como un paisaje de Badlands (BRYAN y YAIR, 1982; CALVO y HARVEY, 1991). La vegetación presenta una reducida cobertura (20 %) y está dominada por arbustos de bajo porte: *Cistus albidus*, *Salsola ginstoides*, *Dactylis glomerata*, etc., siendo la riqueza florística mayor que en las otras dos zonas estudiadas, ambas con cubiertas vegetales mayores.

En el caso de **Torís**, sobre arcillas del Keuper, las laderas presentan una abundante cubierta vegetal, aunque como en Petrer, las diferencias entre las de exposición norte y sur son muy contrastadas. En ambas laderas se ha comprobado la existencia de acequias de derivación, aunque si bien en la ladera norte se conserva, en la sur es casi irreconocible, lo que nos ilustra sobre la diferente actuación de los procesos en ambas laderas. De hecho la ladera sur puede ser considerada como una zona de Badlands, mientras que la ladera norte es un ambiente mucho más húmedo, en el que la cubierta de *Brachypodium retusum* y *Cistus monpelienis* es muy importante. Incluso en esta ladera hay movimientos de masa, lo que demuestra la menor importancia de la arroyada superficial y la mayor de los flujos subsuperficiales. En los campos de cultivo son dominantes las herbáceas y las matas de *Anthyllis cisticoides*.

En **Genovés** las terrazas están en el fondo de un valle desarrollado sobre calizas Campanienses, lugar en el que hay una potente acumulación de arcillas de descalcificación. A pesar de este origen la textura es arenosa debido al origen cocolítico de la roca madre. En ambas laderas, la cubierta vegetal es superior al 75 %, siendo el matorral de *Quercus coccifera*, *Pistacea lentiscus* y *Chamaerops humilis* el dominante, aunque en la ladera norte la densidad y la cubierta vegetal es mayor. En los campos de cultivo la vegetación dominante es *Brachypodium retusum*, *Cistus albidus* y *Cistus monpelienis*, lo que explica la clara alteración del suelo por el uso antrópico. En ambas laderas se han detectado acequias de derivación, así como otras estructuras destinadas a la defensa de las terrazas de cultivo.

En todos los casos los campos de cultivo se encuentran en el fondo del valle, y el último cultivo que tuvieron fueron olivos, por lo que debido a la unidad cultural de toda la zona de estudio el laboreo debió de ser semejante.

En Petrer, el cultivo se abandonó en los años 1977-78, iniciándose el acaravamiento de los campos en la década de los ochenta. Básicamente fueron las precipitaciones extraordinarias de 1982 y las de 1987 las que favorecieron el acaravamiento total de la terraza, continuando este proceso en la actualidad.

En **Torís**, los campos se abandonaron a principios de la década de los ochenta, y en ellos no han aparecido morfologías erosivas de la magnitud de las cárcavas de Petrer, aunque puntualmente se encuentran pequeños pináculos y también zonas con acumulación de sedimentos. En **Genovés**, los muros se mantienen en perfecto estado después de casi 30 años de abandono (1973-1975), al contrario que en Petrer donde los acaravamientos los han destruido parcialmente. En el caso de **Genovés** no se han detectado morfologías erosivas, y ni siquiera zonas con acumulación de sedimentos, siendo la cubierta vegetal y el mantillo el dominante de todas las superficies.

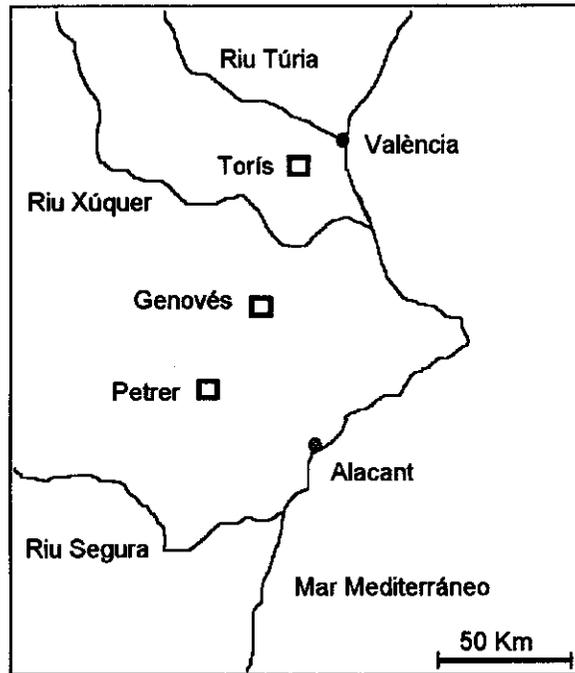


Figura 1. Mapa de localización. Genovés (1), Petrer (2) y Torís (3)

3. MÉTODOS

En cada una de las tres terrazas seleccionadas se realizaron cinco experimentos con lluvia simulada. Las características de los chaparrones se mantenían en todas las pruebas (intensidad: 55 mm h^{-1}), así como las mediciones tomadas: tiempo de encharcamiento, de escorrentía superficial, fin de la escorrentía, etc. (ver CERDÀ, 1993; CERDÀ, en prensa). Tan sólo se modificó la duración de los experimentos en aquellos en los que la escorrentía era muy reducida o inexistente la lluvia se mantuvo durante 60 minutos (en TU03T incluso hasta el minuto 68).

El caudal se muestreó cada minuto y la concentración de sedimentos y conductividad eléctrica a intervalos aproximados de 10 minutos.

La lluvia simulada siempre se ha producido con agua desionizada debido a la importancia de la composición química en la generación de la escorrentía de este tipo de suelos (IMESON y VERSTRATEN, 1988). La intensidad de la lluvia utilizada (55 mm h^{-1}) tienen unos periodos de recurrencia entre 5 y 10 años para chaparrones de una hora de duración, lo que significa que son lluvias de una intensidad intermedia-alta (ELÍAS y RUIZ, 1977) y que en las zonas estudiadas provocan caudales importantes (ver CERDÀ, 1993).

Los datos de escorrentía reales son ajustados por mínimos cuadrados a la ecuación de HORTON (1940). El proceso de ajuste se ha realizado mediante un programa informático de modo que tras multitud de iteraciones se escoge la mejor opción (ver gráfico 2 y 3 como ejemplos). La ecuación de Horton aporta tres parámetros fundamentales para el estudio de la infiltrabilidad de los suelos:

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

Donde: i = tasa de infiltración instantánea
 fc = infiltración final o constante
 fo = infiltración inicial
 t = tiempo
 α = decaimiento exponencial de la tasa de infiltración (i)

Además, la modelización nos permite obtener otros a partir de ellos: $Vi60$, volumen de lluvia infiltrado hasta el minuto 60; $Ce60$, Coeficiente de escorrentía entre los minutos 45-60, etc. (CERDÀ, 1993):

4. RESULTADOS

4.1 Características de las superficies y los suelos

La **cubierta superficial** de los suelos muestra grandes variaciones tanto dentro de cada zona como entre zonas de estudio. Los líquenes sólo aparecen en la zona más árida, Petrer, mientras que los musgos son prácticamente inexistente en ella, y poco abundantes en Torís y Genovés, aunque en esta última cubren el 15 % de la superficie de los suelos en términos medios y aparecen en todas las parcelas.

La cubierta de plantas superiores es muy alta en Genovés y en Torís, siendo menor en esta última debido a que el abandono ha sido posterior, aunque la mayor aridez de la zona puede ser otro factor, como también lo podría ser la propia litología (arcillas del Keuper).

En el caso de Petrer, la cubierta de plantas es del 16,8 % de la superficie, variando entre el 7 y el 24 %, mientras que Torís varía entre 35 y 60 % (media 46,2 %) y en Genovés entre 45 y 75 % (media 58,4 %). Estas diferencias también afectan a la altura de la vegetación (ver tabla 1).

En Petrer y en Genovés, debido a la litología y a que la terraza fue abandonada con anterioridad a Torís hay matorrales, de ahí que existan gran variedad de alturas: en Petrer varía entre 3 y 43 cm y en Genovés entre 15 y 59 cm. Las alturas menores se deben a que también hay suelos con cubiertas herbáceas.

En el caso de Torís, la altura de la vegetación es más homogénea debido a que la cubierta de herbáceas y matorral de bajo porte o aún poco desarrollado, es decir plantas de reducida altura, dominan la cubierta vegetal, o bien matorral de bajo porte.

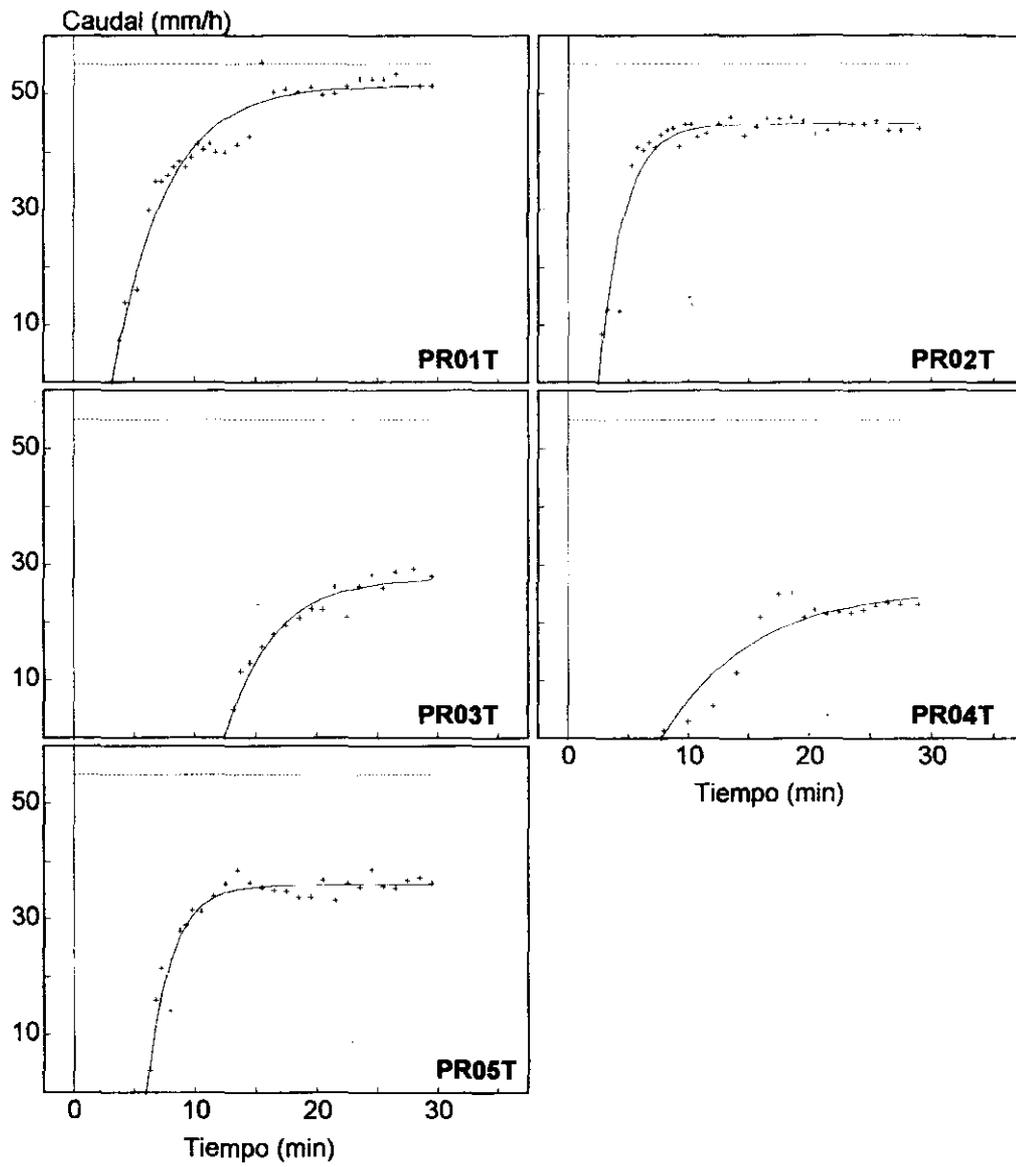


Figura 2. Curvas de escorrentía de los cinco experimentos realizados en Petrer

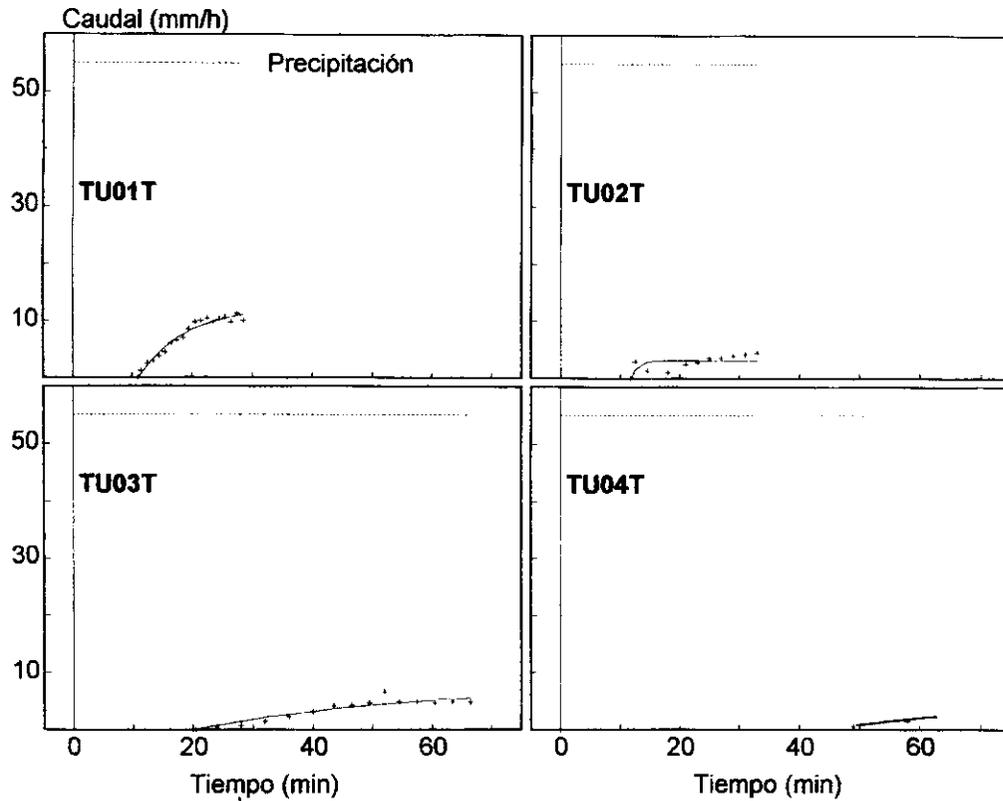


Figura 3. Curvas de escorrentía de cuatro de los cinco experimentos realizados en Torís

La diferente composición florística, también afecta a la cubierta de hojarasca, ya que para la formación de una capa de restos vegetales es necesario que la cubierta vegetal se mantenga estable durante un tiempo importante. Esta dependencia del tiempo de revegetación, y no sólo de cubierta vegetal, hace que en Torís la cubierta de hojarasca sea tan sólo de 1,2 %, mientras que en Petrer es del 2,8 % a pesar de la baja cubierta vegetal. En Genovés, debido a la mayor cubierta vegetal y edad de abandono de las terrazas los suelos presentan una cubierta de hojarasca del 17,8 %, alcanzando en uno de los suelos el 32 % de la cubierta.

La pedregosidad superficial aparece de una forma más homogénea, tal vez debido a que el uso del suelo hasta el momento del abandono requería para un mejor laboreo la inexistencia de piedras. En Petrer, la pedregosidad es inexistente, excepto en un caso, lo que se debe a que los campos funcionan como pediments de las laderas de los badlands, dando lugar a que se produzca una sedimentación en ellos de limos y arenas muy finas. Tanto en Petrer como en Genovés la pedregosidad es calcárea, mientras que en Torís proviene de los yesos que engloban las arcillas del Keuper.

Tabla 1. Características de las superficies. Cubierta de líquenes, musgos, plantas, pedregosidad, hojarasca, altura de la vegetación y densidad del suelos (0-6 cm)

	Líquenes (%)	Musgos (%)	Plantas (%)	Pedr. (%)	Hoja. (%)	alt. veg. cm	Densidad (gr cm ³)
PETREER							
PR01T	0	0	7	0	0	3	1,54
PR02T	2	0	10	0	0	3	1,49
PR03T	0	0	24	0	10	43	1,23
PR04T	2	0	23	0	2	36	1,26
PR05T	20	1	20	30	2	16	1,43
Media	4,80	0,20	16,80	6,0	2,80	20,20	1,39
TORÍS							
TU01T	0	0	35	20	1	6	0,98
TU02T	0	0	49	10	5	24	1,10
TU03T	0	5	39	0	0	15	1,02
TU04T	0	10	48	20	0	29	0,94
TU05T	0	15	60	20	0	35	0,93
Media	0	6,0	46,20	14,0	1,20	21,80	0,99
GENOVÉS							
GE01T	0	15	65	10	10	50	1,02
GE02T	0	12	48	5	5	52	1,06
GE03T	0	21	59	10	12	56	1,09
GE04T	0	5	75	10	32	15	0,98
GE05T	0	20	45	20	30	59	1,02
Media	0	14,60	58,40	11,0	17,80	46,40	1,03

Los **suelos** tienen características muy diferentes en cada una de las zonas de estudio, tanto por haberse desarrollado sobre litologías distintas como por haberlo hecho en zonas con diferentes volúmenes de precipitación

En **Petrer**, los suelos son básicamente limosos, aunque en ocasiones dependiendo de la localización de la parcela aparecen mayores contenidos de arena. Esto es debido a que en los eventos importante la terraza se ve encharcada por la escorrentía proveniente de las laderas de los badlands, depositándose debajo de los matorrales las texturas más groseras, ya que el propio matorral favorece la reducción de la velocidad del flujo, decreciendo su competencia en el transporte de los sedimentos más groseros. En las zonas entre matorrales la velocidad del flujo es mayor durante el pico de la crecida, pero durante el retroceso del caudal se van depositando los sedimentos que en ese momento el flujo es competente de erosionar y transportar, básicamente limos. Esto explica la clara dicotomía entre

Tabla 2. Características de los suelos: materia orgánica, textura y carbonato cálcico (%) a dos profundidades distintas: 0-2 cm y 4-6 cm

SUELO	(0-2) cm					(4-6) cm				
	MO (%)	arena (%)	limo (%)	arcilla (%)	CaCO ₃ (%)	MO (%)	arena (%)	limo (%)	arcilla (%)	CaCO ₃ (%)
PETREER										
PR01T	0,87	17,07	50,32	32,61	53,32	0,49	25,35	45,36	29,29	56,30
PR02T	0,56	35,62	42,35	22,03	61,25	0,24	39,35	42,35	18,30	56,01
PR03T	0,36	48,28	32,65	19,07	54,36	0,26	35,32	45,36	19,32	50,36
PR04T	0,46	32,21	31,44	36,35	59,35	0,58	36,21	35,65	28,14	49,65
PR05T	0,65	26,35	45,65	28,0	49,65	0,23	32,35	43,21	24,44	52,31
media	0,58	31,91	40,48	27,61	55,59	0,36	33,72	42,39	23,90	52,93
std	0,17	10,32	7,35	6,41	4,20	0,15	4,74	3,57	4,46	2,78
cv	30,08	32,36	18,16	23,22	7,55	40,56	14,06	8,42	18,68	5,25
TORÍS										
TU01T	1,86	15,64	32,32	52,04	2,32	1,23	16,65	30,21	53,14	1,23
TU02T	2,01	21,32	25,36	53,32	5,32	1,24	20,36	28,36	51,28	2,32
TU03T	2,15	16,35	35,32	48,33	2,32	1,05	21,36	33,31	45,33	1,02
TU04T	2,10	12,36	26,35	61,29	1,36	0,64	18,65	30,32	51,03	1,65
TU05T	3,65	19,35	22,36	58,29	1,95	1,03	22,32	25,32	52,36	1,05
Media	2,35	17,0	28,34	54,65	2,65	1,04	19,87	29,50	50,63	1,45
std	0,66	3,10	4,76	4,60	1,38	0,22	2,02	2,63	2,76	0,49
cv	27,84	18,22	16,79	8,42	51,94	20,94	10,15	8,90	5,44	33,55
GENOVÉS										
GE01T	3,59	50,30	21,32	28,38	3,65	2,32	45,65	22,36	31,99	2,36
GE02T	4,62	55,32	19,35	25,33	5,36	2,54	51,32	21,32	27,36	2,45
GE03T	6,32	49,36	18,36	32,28	8,37	2,16	48,36	19,36	32,28	2,98
GE04T	6,28	52,32	23,25	24,43	7,37	1,98	49,65	20,32	30,03	5,32
GE05T	5,61	48,36	16,35	35,29	6,45	2,19	45,65	15,36	38,99	3,33
Media	5,28	51,13	19,73	29,14	6,24	2,24	48,13	19,74	32,13	3,29
std	1,05	2,47	2,38	4,12	1,63	0,19	2,23	2,41	3,85	1,08
cv	19,82	4,83	12,07	14,14	26,15	8,31	4,63	12,20	11,99	32,73

los suelos más arenosos (PR03T) y los más limosos (PR01T y PR05T) o situaciones intermedias (PR02T y PR04T) (ver tabla 2).

Aunque hay cárcavas que están disectando la terraza, existen otros ambientes donde se producen sedimentaciones de los aportes procedentes de las laderas.

Esto hace que en superficie (0-2 cm) la textura sea más grosera que en profundidad (4-6 cm). También en superficie es mayor la materia orgánica, aunque en ambos niveles es insignificante (0,58 y 0,36 %).

En la superficie de los suelos existen gran cantidad de costras, siendo el contenido de carbonato cálcico mayor allí (55,59 %) que a 5 cm de profundidad (52,93 %).

En **Torís**, la textura es básicamente arcillosa, siendo ligeramente más grosera a 5 cm de profundidad que en superficie (ver tabla 1). El carbonato cálcico es prácticamente inexistente pero, como ocurre en la zona de Petrer y también en la de Genovés, es mayor en superficie que en profundidad. La materia orgánica es más abundante en este caso, especialmente en superficie.

En **Genovés**, la textura es arenosa, aunque a 5 cm de la superficie el suelo es ligeramente más arcilloso. Esto se debe a la textura del suelo que favorece el lavado de las arcillas y su deposición en profundidad. También la mayor edad de abandono favorece este proceso. Los carbonatos son muy poco importantes apareciendo más en superficie asociados a las costras, aunque son menos abundantes que en Petrer.

En los dos centímetros superficiales la materia orgánica es muy elevada (5,28 %) aunque tan sólo 4 cm por debajo ya se ha reducido a 2,47 %.

Las anteriores características están directamente relacionadas con la densidad de los suelos (ver tabla 1). **Torís** y **Genovés** tienen densidades semejantes (0,99 y 1,02 g cm³ de media) mientras que **Petrer**, posiblemente debido a la deposición de sedimentos presenta una densidad mucho mayor (1,39 g cm³).

4.2. Respuesta hidrológica

Aunque en todos los casos los experimentos se realizaron en estado de máxima sequedad del suelo, en verano, hay unas claras diferencias en sus contenidos de agua. La influencia de la litología es evidente en este caso ya que **Genovés**, donde los suelos son más arenosos, presenta la menor humedad, mientras que en **Petrer**, a pesar de ser la zona más árida, es ligeramente superior. En volumen, la humedad en **Petrer** es inferior ya que sus suelos son mucho más densos.

En **Torís**, el contenido en humedad es casi el doble (2,73 % de media) lo que sin duda está relacionado con la existencia de arcilla en un elevado porcentaje de la matriz del suelo. Estas diferencias entre las zonas de estudio desaparecen en cuanto se trata de la humedad a 5 cm de profundidad y, contrariamente a lo ocurrido en superficie, es **Genovés**, **Petrer** y **Torís**, por este orden, los que mayor humedad presentan.

En general, la humedad del suelo se mueve en valores muy bajos, 3,98 y 5,32 % son los niveles máximos en superficie y subsuperficialmente, lo que demuestra el estado de máxima sequedad del suelo.

La respuesta ante la lluvia es muy diferente en cada tipo de terraza (ver tabla 8). En **Petrer** en el minuto 2,32 de media se produce el encharcamiento, en el 4,6

Tabla 3. Humedad previa de los suelos, duración de los experimentos y tiempo (minutos) de los cambios hidrológicos y morfológicos de las superficies ante la lluvia simulada. *Hs*, humedad superficial (0-2 cm), *Hss*, humedad subsuperficial (4-6 cm), *de*, duración del experimento, *tp*, tiempo de encharcamiento, *te*, tiempo de escorrentía en superficie y *tes*, tiempo de escorrentía en salida. Sin escorrentía (se)

SUELO	<i>Hs</i> (%)	<i>Hss</i> (%)	<i>de</i> min	<i>tp</i> min	<i>ts</i> min	<i>tes</i> min
PETRER						
PR01T	2,01	2,44	30	2,0	3,0	3,40
PR02T	1,30	2,78	30	1,20	2,0	2,30
PR03T	1,42	4,65	30	2,10	8,0	13,0
PR04T	1,65	3,43	30	3,32	5,0	7,0
PR05T	1,23	2,54	30	3,0	5,0	6,0
Media	1,52	3,17	30	2,32	4,60	6,34
TORÍS						
TU01T	1,56	2,48	29	7,0	9,0	11,0
TU02T	2,91	2,36	34	5,0	7,0	12,0
TU03T	1,56	1,98	68	7,0	12,0	18,0
TU04T	3,65	5,32	60	12,0	36,0	42,0
TU05T	3,98	2,92	60	29,0	se	se
Media	2,73	3,01	50,20	12,0	12,80	16,60
GENOVÉS						
GE01T	1,03	3,98	60	se	se	se
GE02T	1,45	4,77	60	se	se	se
GE03T	1,30	1,54	60	se	se	se
GE04T	1,20	3,80	60	se	se	se
GE05T	2,34	3,20	60	se	se	se
Media	1,46	3,46	60	se	se	se

se produce la escorrentía en superficie y en el 6,34 ésta es medida en la salida de la parcela.

En Torís, el modelo temporal de respuesta a lluvia de los suelos se produce de una forma mucho más lenta. El encharcamiento aparece en el minuto 7,75, la escorrentía superficial en el 16 y en salida en el 20,75 en los cuatro casos en los que se produjo escorrentía. En la parcela TU05T no se produjo escorrentía, y el encharcamiento de forma muy retrasada en el minuto 29.

En Genovés, en ningún momento se detectó encharcamiento o escorrentía en superficie (ver tabla 3).

Los hidrogramas (ver figura 2 y 3) y los parámetros hidrológicos más importantes obtenidos de ellos (tabla 4) nos demuestran las grandes diferencias

Tabla 4. Parámetros hidrológicos más importantes: *Esm*, Escorrentía media (mm h^{-1}), *Ce*, coeficiente escorrentía y *fc* tasa de infiltración final estable y *Ce60*, coeficiente de escorrentía y entre el minuto 45 y 60, y *Vi60* volumen de agua infiltrada hasta el minuto 60 según el ajuste a la ecuación de Horton

SUELO	<i>Esm</i> mm h^{-1}	<i>Ce</i>	<i>fc</i>	<i>Vi60</i> mm h^{-1}	<i>Ce60</i> mm
PETRER					
PR01T	39,51	0,77	3,61	9,59	0,83
PR02T	37,86	0,74	10,28	13,26	0,76
PR03T	13,78	0,27	27,31	34,65	0,37
PR04T	13,61	0,27	29,25	35,51	0,35
PR05T	26,33	0,48	19,02	23,51	0,57
Media	26,22	0,51	17,89	23,30	0,58
TORÍS					
TU01T	4,66	0,08	42,56	46,39	0,16
TU02T	1,84	0,03	51,80	52,46	0,05
TU03T	2,33	0,04	47,68	52,92	0,04
TU04T	0,25	0	55	55	0
TU05T	0	0	55	55	0
Media	1,81	0,03	24,41	52,35	0,05
GENOVÉS					
GE01T	0	0	55	55	0
GE02T	0	0	55	55	0
GE03T	0	0	55	55	0
GE04T	0	0	55	55	0
GE05T	0	0	55	55	0
Media	0	0	55	55	0

existentes entre las distintas terrazas, a pesar de que fueron abandonadas en épocas semejantes.

En Genovés como ya hemos comentado no se midió escorrentía superficial, por lo que las tasas de infiltración durante los 60 minutos de duración de los experimentos son siempre las máximas posibles (55 mm h^{-1}).

En Torís una de las parcelas no produjo escorrentía después de 60 minutos de lluvia (TU05T), otra produjo un volumen insignificante en las mismas condiciones (TU04T) y las tres restantes, con duraciones de experimentos variables (29-68 minutos) dieron lugar a escorrentías medias que varían entre 1,8 y $4,6 \text{ mm h}^{-1}$.

En Petrer, el comportamiento es totalmente diferente. Todos los suelos producen escorrentías mayores a 13 mm h^{-1} con duraciones de los experimentos de tan solo 30 minutos. Dos de los cinco suelos estudiados tienen tasas de escorrentía muy elevadas, cercanas a los 40 mm h^{-1} .

Los coeficientes medios de escorrentía varían entre 0,51 de Petrer, 0,03 de Torís y 0 de Genovés. Estas diferencias se deben básicamente a la rápida formación de la escorrentía en Petrer y a las bajas tasas de infiltración, las cuales son de $17,89 \text{ mm h}^{-1}$ de media (varían entre $3,61$ y $29,25 \text{ mm h}^{-1}$). En cambio, en Torís el valor medio de f_c es de $50,41 \text{ mm h}^{-1}$, el 90 % de la lluvia precipitada, y en Genovés de 55 mm h^{-1} , el 100 % de la precipitación.

Cuando los suelos están muy húmedos las diferencias entre las distintas terrazas son mucho más claras (ver en la tabla 4 los parámetros *Vi60* and *Ce60*). En Genovés los suelos en estas condiciones siguen siendo capaces de absorber toda la precipitación, mientras que en Torís sólo escurre el 5 % de la lluvia. En Petrer el 58 % de la lluvia es perdida mientras que el volumen de lluvia infiltrado durante una hora es de $23,30 \text{ mm}$, frente a los 55 mm precipitados.

Las figuras 2 y 3 presentan los caudales de los nueve suelos que produjeron escorrentía: cuatro en Torís y cinco en Petrer. Las formas de las curvas de escorrentía de los suelos son muy distintas en Petrer respecto a Torís. En el primer caso, el inicio es casi inmediato y la estabilidad se alcanza muy rápidamente. En cambio en Torís las curvas se inician tardíamente y tienen mucha menor pendiente que en Petrer, y en algunos casos los volúmenes de escorrentía son prácticamente inexistentes (TU02T y TU04T por ejemplo).

4.3 Pérdida de suelo

Las terrazas de cultivo normalmente presentan bajas tasas de erosión debido a su nula pendiente. En los casos estudiados las tasas de erosión son insignificantes en Torís y en Genovés debido a la práctica inexistencia de escorrentía, así como a la concentración de sedimentos de ésta cuando existe ($< 1 \text{ gr l}^{-1}$). En cambio en Petrer la pérdida de suelo es mucho mayor debido a los elevados caudales y a la mayor erodibilidad de los materiales. La concentración de sedimentos es de $5,85 \text{ gr l}^{-1}$, aunque alcanza los $8,8 \text{ g l}^{-1}$ en PR01T.

Debido a la influencia de ambos factores, mayor erodibilidad y menor aptitud para la absorción de la lluvia, las tasas de erosión son mucho mayores en Petrer ($167 \text{ g m}^2 \text{ h}^{-1}$) mientras que en Torís o Genovés son insignificantes (ver tabla 5), nulas en el último caso.

Un parámetro que jerarquiza perfectamente la diferencia entre zonas a pesar de su sencillez son los *sedimentos de campo* (*sy*): el peso de los sedimentos erosionados en la parcela durante el experimento. A pesar de la menor duración (30 minutos) de los experimentos de Petrer, en ellos se erosiona 127 veces más suelo que en Torís e infinitamente más que en Genovés, ya que en este caso no se produjo escorrentía.

Tabla 5. Pérdida de suelo. *cs*, Concentración de sedimentos (g l^{-1}), *sy*, sedimentos de campo (gr) y *er*, tasa de erosión ($\text{gr m}^2 \text{h}^{-1}$) y conductividad eléctrica de la escorrentía (S). Sin escorrentía (se)

SUELO	<i>cs</i> g l^{-1}	<i>sy</i> gr	<i>er</i> $\text{gr m}^2 \text{h}^{-1}$	CE μS
PETRER				
PR01T	8,80	44,98	347,62	216,33
PR02T	7,19	41,11	272,14	236,0
PR03T	6,99	12,52	96,37	211,67
PR04T	3,22	5,72	43,81	177,67
PR05T	3,03	9,58	79,88	222,67
Media	5,85	22,78	167,97	212,87
TORÍS				
TU01T	0,98	0,53	4,58	374,33
TU02T	0,62	0,15	1,13	298,0
TU03T	0,36	0,23	0,84	365,0
TU04T	0,04	0	0,01	495,0
TU05T	0	0	0	
Media	0,40	0,18	1,31	383,08
GENOVÉS				
GE01T	0	0	0	se
GE02T	0	0	0	se
GE03T	0	0	0	se
GE04T	0	0	0	se
GE05T	0	0	0	se
Media	0	0	0	se

Otra forma de erosión es la pérdida de suelo por disolución de los materiales. En este caso son los suelos de Torís los que presentan mayor salinidad en su escorrentía, concretamente 383 S de media frente a los 212 de Petrer, lo que sin duda es debido a la gran cantidad de sales existentes en las arcillas del Keuper. En Genovés debido a la inexistencia de escorrentía este tipo de pérdida de suelo es inexistente.

5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las dispares respuestas ante la lluvia simulada confirman el diferente comportamiento hidrogeomorfológico de las tres bancas estudiadas. En **Petrer**, la baja capacidad de infiltración de los suelos y su elevada erodibilidad dan lugar

a la erosión superficial pero también a una importante pérdida de suelo por medio de tubificaciones, como se ha confirmado en otros ambientes (GARCÍA-RUIZ *et al.*, 1986). Además, la arroyada procedente de las laderas favorece la formación de cárcavas y el rebajamiento del nivel de base al ser desmantelados los campos de cultivo.

Por el contrario, en las otra dos áreas, **Genovés** y **Torís**, los suelos son muy estables y la producción de escorrentía es insignificante. Tan sólo en Torís existen algunas superficies con menores aptitudes para la infiltración de la lluvia, pero con la regeneración vegetal y edáfica posterior al abandono la estabilidad aumentará como se ha confirmado en otros estudios, siempre que aparecen alteraciones como los incendios o el pastoreo (GARCÍA-RUIZ *et al.*, 1988; RODRÍGUEZ-AIZPEOLEA *et al.*, 1991; RUIZ-FLAÑO, 1992).

A esta diversidad entre las zonas de estudio se une la elevada variabilidad dentro de cada terraza, confirmando el comportamiento encontrado en otros ecosistemas (RUIZ-FLAÑO *et al.*, 1991). Esta diversidad da lugar a procesos geomorfológicos totalmente contrapuestos en cada caso: escorrentías abundantes y concentradas en la zona margosa, lo que supone altas tasas de erosión e infiltración y nula pérdida de suelo en el caso de las arcillas y las calizas.

Pero no sólo la litología, también el clima ejerce una importante influencia sobre la actuación de los procesos geomorfológicos que influyen en la regeneración de los bancales abandonados. De hecho, la degradación en Petrer está relacionada con sus características climáticas, ya que la regeneración vegetal es muy lenta y con ello se da pie al inicio de procesos erosivos de importancia (cárcavas).

Esta influencia del clima sobre los suelos ha sido confirmada en ambientes naturales (LAVEE *et al.*, 1991) y en campos de cultivo abandonados, ya que en ambientes húmedos las escorrentías son menores (LLORENS y GALLART, 1991; RODRÍGUEZ-AIZPEOLEA *et al.*, 1991; RUIZ-FLAÑO, 1992) que en ambientes áridos o semiáridos (FRANCIS, 1986a; CERDÀ, 1993)).

En general los suelos con matorral sufren nulas o muy bajas tasas de erosión y la escorrentía es insignificante, lo que confirma para las terrazas de cultivo abandonadas lo conocido para ámbitos naturales (FRANCIS *et al.*, 1986; FRANCIS y THORNES, 1990a; FRANCIS y THORNES, 1990b).

Al contrario que en Petrer, en Torís, las escorrentías puntuales no están conectadas y la exportación fuera del campo no se produce, con lo que la formación de cárcavas es nula. En Petrer esta conexión entre los campos de cultivo y la red de drenaje ha hecho que la degradación del suelo sea mucho más rápida y sobre todo más evidente.

En esto, además de los flujos superficiales han tenido mucha importancia los flujos concentrados subsuperficiales, los cuales han dado lugar al desmantelamiento de los campos a partir de tubificaciones o piping (GARCÍA-RUIZ *et al.*, 1986; LÓPEZ-BERMÚDEZ y TORCAL-SÁINZ, 1986).

Las tres zonas de estudio, a pesar de estar situadas en ambientes semejantes

tanto por clima (mediterráneo) como por situación topográfica y laboreo, y haber tenido una historia de abandono similar, tienen un comportamiento ante la lluvia simulada totalmente distinto. Esto pone de relieve la variedad del paisaje mediterráneo, tanto por su diversidad morfológica como por su riqueza en cuanto a procesos geomorfológicos. Para ello, además de la multitud de factores y la interrelación entre éstos interviene claramente el impacto antrópico, el cual favorece una interacción entre los procesos generados por el mismo con los naturales.

La litología, junto al clima, ejerce una gran influencia sobre los procesos hidrogeomorfológicos, siendo los suelos limosos de las margas los que mayores tasas de escorrentía y erosión presentan. En el caso de los suelos arcillosos de Torís y los arenosos de Genovés la elevada infiltrabilidad hace que sean suelos muy estables.

Los resultados demuestran que el abandono de cultivos debe ser controlado y gestionado de forma selectiva, ya que en algunos casos no se necesitan políticas específicas contra la erosión debido a la rápida regeneración vegetal, mientras que en otros casos la degradación del suelo es tan alta que puede dar lugar a un proceso general de desertificación como ocurre en Petrer.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Rafael García Bartual y en Adolfo Calvo Cases su asistencia en el diseño del trabajo y en el tratamiento de los datos, así como a la familia Mario Payà y a Vicent Altur, Roser Ibañez, Jordi Payà, Enrique Terol, Joanma Calatayud e Isabel Sala por su ayuda en el trabajo de campo. También quiero mostrar mi gratitud con los miembros del *Departament de Geografia* de la *Universitat de València* por su colaboración durante la realización de este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- BRYAN, R. y YAIR, A. (1982): Perspectives on studies of badland geomorphology. En BRYAN, R. y YAIR, A. (Eds.): *Badland geomorphology and piping*, 1-12.
- CERDA, A. (en prensa): Metodología para el estudio de la hidrología y erosión de superficies degradadas (badland) a partir de lluvia simulada. *Cuaternalario y Geomorfología*.
- CERDA, A. (1993): *La Infiltración en los Suelos del País Valenciano. Factores y Variaciones Espacio-Temporales*. Tesis Doctoral Inédita, Universitat de València, 357 p + apéndices.
- ELÍAS, J. y RUIZ, L. (1977): *Precipitaciones máximas en España*. Ministerio de Agricultura, Madrid, 545 p.
- FRANCIS, C.F. (1986a): Soil erosion on fallow fields: and example from Murcia. *Papeles de Geografía Física*, 11, 21-8.
- FRANCIS, C.F. (1986b): Variaciones sucesionales de la vegetación en campos

- abandonados de la provincia de Murcia, España. *Ecología*, 4, 35-47.
- FRANCIS, C.F. (1990): Soil Erosion and Organic Matter Losses on Fallow Land: A Case Study from South-East Spain. En BOARMAN, J., FOSTER, I.D.L. y DEARING, J.A. (Eds.): *Soil Erosion on Agricultural Land*, 331-338.
- FRANCIS, C.F. y THORNES, J.B. (1990a). Matorral: Erosion and Reclamation. En ALBADALEJO, J., STOCKING, M.A. and DÍAZ, E. (Eds.): *Degradación y Regeneración del suelo en condiciones ambientales mediterráneas*, 86-115.
- FRANCIS, C.F. y THORNES, J.B. (1990b). Runoff hydrografs from Three Mediterranean Vegetation Cover Types. En J.B THORNES (Ed.): *Vegetation and Erosion*, 365-384.
- FRANCIS, C.F., THORNES, J.B., ROMERO, A., LÓPEZ, F. y FISHER, G.C. (1986): Topographic Control of Soil Moisture, Vegetation Cover and Land Degradation in a Moisture Stressed Mediterranean Environment. *Catena*, 13, 211-225.
- GARCÍA-RUIZ, J.M. y LASANTA, T. (1990): Land-use changes in the Spanish Pyrenees. *Mountain Research and Development*, 10 (3), 267-79.
- GARCÍA-RUIZ, J.M., LASANTA, T. y SOBRÓN, I. (1988): Problemas de evolución geomorfológica en campos abandonados: El Valle del Jubera (Sistema Ibérico). *Zubia*, 6, 99-114 p.
- GARCÍA-RUIZ, J.M., LASANTA, T., ORTIGOSA, L. y ARNAEZ-VADILLO, J. (1986): Pipes in cultivated soils of la Rioja. *Z. Geomorph. N.F. Suppl.-Bd.*, 58, 91-100.
- GARCÍA-RUIZ, J.M., RUIZ-FLAÑO, P., LASANTA, T., MONTSERRAT, G., MARTÍNEZ-RICA, J.P. y PARDINI, G. (1991): Erosion in abandoned field, what is the problem?. En SALA, M., RUBIO, J.L. y GARCÍA-RUIZ, J.M. (Eds.): *Soil Erosion Studies in Spain*, 97-108.
- HARVEY, A.M., y CALVO, A. (1991): Process interactions and rill development on badlands and gully slopes. *Z. Geomorph. N. F. Suppl.-Bd.*, 83, 175-94.
- HORTON, R.E. (1940): An approach toward a physical interpretation of infiltration capacity. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, 5, 399-417.
- IMESON, A.C. y VERSTRATEN, J.M. (1988): Rills on badland slopes: a physico-chemical controlled phenomenon. *Catena supplement* 12, 139-50.
- LASANTA, T (1989): *Evolución reciente de la agricultura de Montaña: El Pirineo aragonés*. Geoforma Ediciones, Logroño, 220 pp.
- LEVEE, H., IMESON, A.C., PARIENTE, S. and BENYAMINI, Y. (1991): The response of soils to simulated rainfall along a climatological gradient in an arid and semiarid region. *Catena Supplement*, 19, 19-37.
- LLORENS, P. y GALLART, F. (1990) : Simulación por Ordenador de la Respuesta Hidrológica y de Transporte de Sólidos en una Cuenca de Campos Abandonados. *Actas de la I Reunión Nacional de Geomorfología*, Teruel, 619-628.
- LLORENS, P., (1991): *Resposta hidrológica i dinàmica de sediments en una petita conca pertorbada de muntanya mediterrània*. Universitat de Barcelona, Barcelona, 277 + 30 p.
- LLORENTE, J.M. y LUENGO, M.A., (1986): El abandono de las tierras significado y gestión de las etapas de sucesión secundarias. El ejemplo de los relieves

- paleozoicos del W. Castellano-leonés. V *Reunión del Grupo de Trabajo de la UGL*, Banyoles, 105-114 p.
- LÓPEZ-BERMÚDEZ, F. y TORCAL-SÁINZ, L. (1986): Procesos de erosión en túnel (Piping) en cuencas sedimentarias de Murcia (España). Estudio preliminar mediante difracción de rayos x y microscopio electrónico de barrido. *Papeles de Geografía Física*, 11, 7-20.
- PÉREZ-CHACÓN, E. y VABRE, J., (1988): Abandono agropastoril y recolonización vegetal: El papel de las especies leñosas como indicadores del estadio de regeneración vegetal y de la edad de abandono (Haut Couserans - Pirineo Central Francés). *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 14, 99-120 p.
- RODRÍGUEZ-AIZPEOLEA, J. (1992a): 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. y LASANTA-MARTÍNEZ, T. (1992): Los bancales abandonados en la montaña mediterránea: una revisión bibliográfica. *Pirineos*, 139, 105-123.
- RODRÍGUEZ-AIZPEOLEA, J., (1992b): Distribució espacial y evolució de l'agricultura a la Vall d'Ebo. *Actes III Congrés d'Estudis de la Marina Alta*, 545-553.
- RODRÍGUEZ-AIZPEOLEA, J., PÉREZ-BADIA, R. y CERDÀ-BOLINCHES, A. (1991): Colonización vegetal y producción de escorrentía en bancales abandonados: Vall de Gallinera, Alicante. *Cuadernos de 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., GARCÍA-RUIZ, J.M., ORTIGOSA-IZQUIERDO, L.M. y LASANTA-MARTÍNEZ, T. (1991): La producción de sedimentos en suspensión en microambientes geomorfológicos de campos abandonados. En *Actas del XII Congreso Nacional de Geografía*, València, 69-76.

