

RESPUESTA HIDROLÓGICA EN MEDIOS SEMIÁRIDOS: LAS CUENCAS EXPERIMENTALES DE LA SIERRA DEL PICARCHO, MURCIA (ESPAÑA)

V. M. CASTILLO
A. GÓMEZ PLAZA
M. MARTÍNEZ-MENA
J. ALBALADEJO

Departamento de Conservación de Suelos y Agua. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura. Campus Universitario de Espinardo. Apto. 4195. 30080 Murcia (España)
C. electrónico: victor@cebas.csic.es

RESUMEN: La hidrología de las zonas semiáridas se caracteriza por la escasez e irregularidad de los eventos hidrometeorológicos y por la extrema variabilidad espacio-temporal de sus factores de control. Las cuencas experimentales de la Sierra del Picarcho (Cieza, Murcia) se establecieron en 1997 para estudiar los factores que controlan la generación de escorrentía en distintas escalas de trabajo, analizar la variabilidad de estos factores y desarrollar, y validar, modelos hidrológicos de simulación adaptados a estos ambientes. En el artículo se presentan los datos de escorrentía superficial obtenidos durante los tres primeros años de funcionamiento y se discute los factores de control a escala de parcela y de cuenca. También se estudia la evolución temporal de la humedad del suelo en la cuenca y se identifican qué factores la regulan.

ABSTRACT: The hydrology of semiarid areas is characterized by irregular and sporadic events and a tremendous spatio-temporal variability of control factors. In 1997, experimental watersheds were installed in Sierra del Picarcho (Cieza, Murcia) to identify the factors controlling runoff generation at different study scales, to study the spatial and temporal variability of control factors, and to model the hydrological response. The runoff data measured in experimental plots and catchments for three years are showed. At catchment scale, temporal evolution of soil moisture content was studied and the factors that controlled identified.

Palabras claves: Cuencas experimentales, Escorrentía, Variabilidad espacio-temporal, Humedad del suelo, Medios semiáridos

Key words: Experimental catchments, Runoff, Spatial and temporal variability, Soil moisture, Semiarid.

1. Introducción

El conocimiento de la respuesta hidrológica de una cuenca hidrográfica es necesario para distintos fines, desde la estimación de los caudales generados por las tormentas hasta la evaluación del impacto que producen los cambios de uso del suelo en el ciclo del agua (Grayson *et al.*, 1992).

Aunque en un principio la mayoría de los estudios destinados a conocer los mecanismos de generación de la escorrentía y sus factores de control estaban desarrollados en zonas húmedas (Dunne *et al.*, 1975; Anderson y Burt, 1985), durante las últimas dos décadas el estudio de los procesos hidrológicos en las regiones áridas y semiáridas ha suscitado un gran interés (Yair y Lavee, 1985; Abrahams *et al.*, 1988; Martínez-Mena *et al.*, 1998). Los resultados obtenidos en las regiones áridas y semiáridas demuestran que los factores que controlan la generación de escorrentía en estos medios son diferentes de los que regulan la hidrología de las zonas húmedas y templado-húmedas. En el caso de los medios semiáridos los factores más relevantes son: la irregularidad espacial y temporal de las precipitaciones, la topografía, la variabilidad espacial de las características superficiales y propiedades físicas de los suelos, la presencia y densidad de la cubierta vegetal y la humedad antecedente.

Por otro lado, no conviene olvidar que la mayoría de las veces, el estudio hidrológico en las regiones áridas y semiáridas persigue objetivos diferentes de los que se buscan en otro tipo de zonas. En este tipo de ambientes uno de los principales problemas desde el punto de vista hidrológico es la erosión y degradación del suelo ocasionados por la conjunción de factores biofísicos (alternancia de largo periodos de sequía con aguaceros torrenciales, relieves jóvenes y abruptos, suelos lábiles, etc.) y antrópicos (uso inadecuado de la tierra). En estos casos, el estudio de los procesos hidrológicos, de escorrentía superficial, y los factores que la controlan son un paso previo para comprender, combatir y solucionar eficazmente los problemas derivados de la pérdida y degradación del suelo.

El otro gran problema a que se enfrentan estas regiones es el de las avenidas e inundaciones, causa de importantes pérdidas humanas y económicas, provocadas por lluvias torrenciales sobre cuencas que habitualmente están secas durante todo el año, salvo de forma efímera después de algún aguacero. Por ello, la predicción del comportamiento de dichas cuencas es otro de los grandes objetivos de la investigación hidrológica en los medios áridos y semiáridos. No obstante, la aplicación de un modelo que prediga con éxito cual será la respuesta de una cuenca a un determinado evento no es siempre fiable; las cuencas no siempre se comportan de forma homogénea ante una misma lluvia, sino que la heterogeneidad en su respuesta es enorme. En una misma cuenca los mecanismos de producción de escorrentía pueden variar según sea las características de la lluvia o las condiciones antecedentes, por lo que en una misma localización pueden operar mecanismos distintos al mismo tiempo, o en diferentes momentos y en las mismas o diferentes áreas. Por esta razón, el estudio de los factores que determinan la heterogeneidad en la respuesta hidrológica, qué papel desempeña la variabilidad espacial y temporal de estos factores dentro de la cuenca y la importancia de las condiciones previas a un evento hidrometeorológico ayuda a conocer el porqué de las diferentes respuestas hidrológicas de una misma cuenca, y a mejorar la fiabilidad de la predicción hecha por los modelos de simulación.

El campo experimental de la Sierra de El Picarcho, en el término municipal de Cieza (Murcia), se instaló con objeto de profundizar en el conocimiento de la hidrología de los medios mediterráneos semiáridos. Los objetivos concretos de los trabajos desarrollados desde su inicio, en 1997, han sido, entre otros, los siguientes:

- La identificación de los factores que regulan la respuesta hidrológica de medios semiáridos a distintas escalas de trabajo.
- El estudio de la influencia de los cambios de usos del suelo en la hidrología de las zonas semiáridas
- El análisis de la variabilidad espacio-temporal de la humedad del suelo en estos ambientes y su influencia en la generación de escorrentías.
- La modelización de la respuesta hidrológica de pequeñas cuencas incorporando la variabilidad espacio-temporal de los factores de control.

2. Las Cuencas de la Sierra del Picarcho

2.1 Descripción

El área experimental se encuentra situada en la parte septentrional de la Región de Murcia (Fig. 1), en las coordenadas 1° 29' 10" Oeste y 38° 21' 32" Norte, en la cara sur de la Sierra del Picarcho (747 m). Esta sierra se encuentra dentro de una serie de alineaciones montañosas de dirección general Suroeste-Noreste, que se encuentran separadas por corredores intermontañosos, barrancos, cañadas y zonas prácticamente llanas, de extensión variable, situadas a una altitud comprendida entre los 400 y 600 m aproximadamente. En Julio de 1994 un incendio forestal asoló la zona por lo que, en la actualidad, se pueden distinguir tres formaciones vegetales predominantes: una zona quemada en la que se está regenerando un matorral de esparto (*Stipa tenacissima*), una zona de espartizal bien desarrollado, no afectado por el incendio, y una zona de pinar claro (densidad de cubierta arbórea inferior al 20%) con sotobosque mediterráneo esclerófilo.

—Bioclimáticamente el territorio se caracteriza por un termotipo mesomediterráneo cálido y ombrótipo semiárido (Alcaraz *et al.*, 1999). La precipitación media anual es baja (312 mm), mientras que la temperatura media anual es relativamente alta (15.3 0C) y la evapotranspiración potencial alcanza los 813 mm, lo que provoca un marcado déficit hídrico que se extiende desde Abril hasta Octubre. La distribución de las precipitaciones es muy irregular a lo largo del año. Las lluvias se concentran en Mayo y Octubre y es frecuente que ocurra alguna tormenta de gran intensidad y con gran poder erosivo una o dos veces al año.

Las cuencas se asientan sobre suelos poco desarrollados, muy someros que descansan directamente sobre la roca (Leptosoles líticos) En enclaves donde la acumulación de coluvios y sedimentos cuaternarios favorecen un mayor desarrollo del perfil edáfico aparecen Calcisoles háplicos. La mayor parte del glacis yace sobre suelos con costra caliza (Calcisoles pétricos).

2.2 Instrumentación

La zona comenzó a instrumentalizarse en Diciembre de 1996, y estuvo en pleno funcionamiento a partir de Abril de 1997. En la Fig. 1 están localizadas cada una de

las cuencas, parcelas y transectos instalados en la zona de estudio. Las instalaciones fueron:

- 9 microparcels (S1 a S9) de 0.24 m² situadas a lo largo de una ladera con orientación oeste, con diferentes características de suelo y vegetación. Estas parcelas se utilizan para experimentos con lluvia simulada.
- 6 parcelas cerradas de 30 m². (10x3m.) en tres zonas bien diferenciadas en cuanto a los usos del suelo: dos en el espartizal quemado (EQ), 2 en la zona de esparto bien desarrollado (ESQ) y otras 2 en la zona de pinar (P). La escorrentía y la cantidad de sedimentos originados en cada parcela se recogen en depósitos situados en su borde inferior. La precipitación en la zona de las parcelas se mide con un pluviómetro automático de tipo balancín y los datos se registran con frecuencia de un minuto en un "data logger" (UNIDATA).
- 2 cuencas en la zona quemada de 7.86 y 6.38 ha. respectivamente (C1 y C2), con orientaciones sur y este, y una cuenca de 24.28 ha. (C3) en la zona sin quemar, con diferentes orientaciones. Los caudales e hidrogramas de salida tras cada evento se miden mediante aforadores tipo H-Flume (ILRI, 1978) a los que se adosa una sonda de presión conectada a un "data logger" (UNIDATA) que registra la altura de agua en cada momento del evento (Fig. 2). La precipitación caída, así como la intensidad de la misma, se mide en pluviómetros del mismo tipo que los de las parcelas conectados al "data logger". Con el fin de determinar los sedimentos transportados en suspensión a la salida de las cuencas, se instaló un muestreador de sedimentos consistente en una batería de 5 botellas cada una de ellas a una altura diferente.
- 6 transectos de medida de humedad en las diferentes cuencas estudiadas, uno longitudinal y otro transversal en cada una de ellas (Fig. 1).

3. El estudio de la respuesta hidrológica

Uno de los principales problemas para la caracterización hidrológica de las zonas semiáridas es la irregularidad y escasez de episodios de escorrentía, lo que supone que para obtener una serie de datos representativos y fiables sobre la que hacer predicciones se necesite un período de observación muy extenso. Por este motivo, el estudio de la respuesta hidrológica de las cuencas de El Picarcho se abordó mediante el análisis de los eventos registrados directamente en las parcelas experimentales (escala parcela) y en las estaciones de aforo (escala de cuenca); y mediante el desarrollo de un modelo precipitación-escorrentía con base física que permita simular los efectos de las variables de control en la hidrología de las cuencas.

Los resultados que a continuación se presentan corresponden al análisis de la respuesta hidrológica del área experimental de la Sierra del Picarcho a partir de los datos medidos en las parcelas y cuencas experimentales.

3.1. Escorrentía superficial en parcelas

Los primeros datos de escorrentía se obtuvieron en abril de 1997. Los datos ofrecidos corresponden a la fracción del primer año hidrológico y los dos años

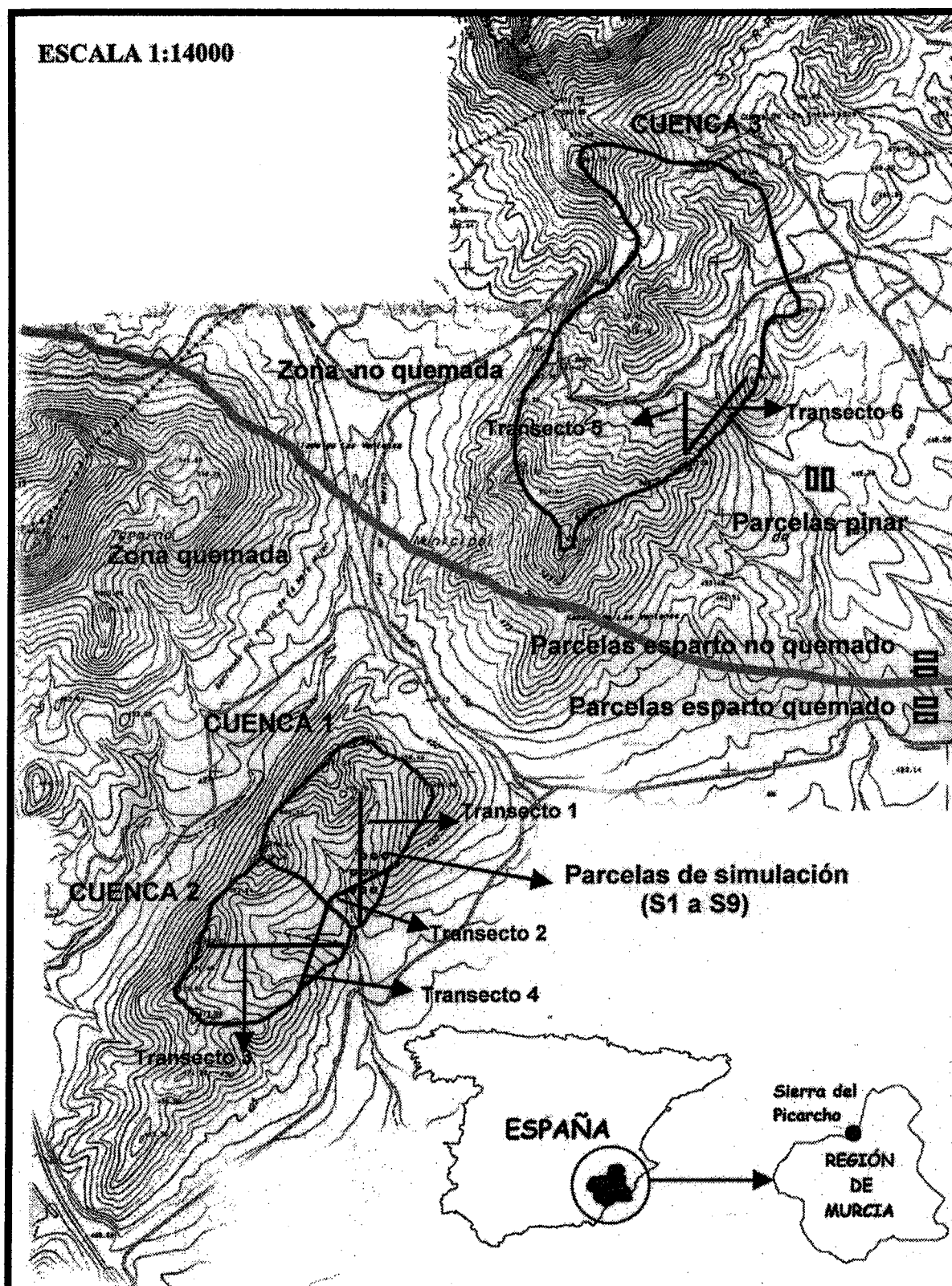


Figura 1. Localización de cuencas, parcelas y transectos en la zona de estudio.

hidrológicos posteriores. La tabla 1 refleja el volumen de escorrentía anual así como el coeficiente de escorrentía medio para los tres tipos de cubierta vegetal estudiados. Los datos son el valor medio de cada par de parcelas situados en los distintos usos del suelo.

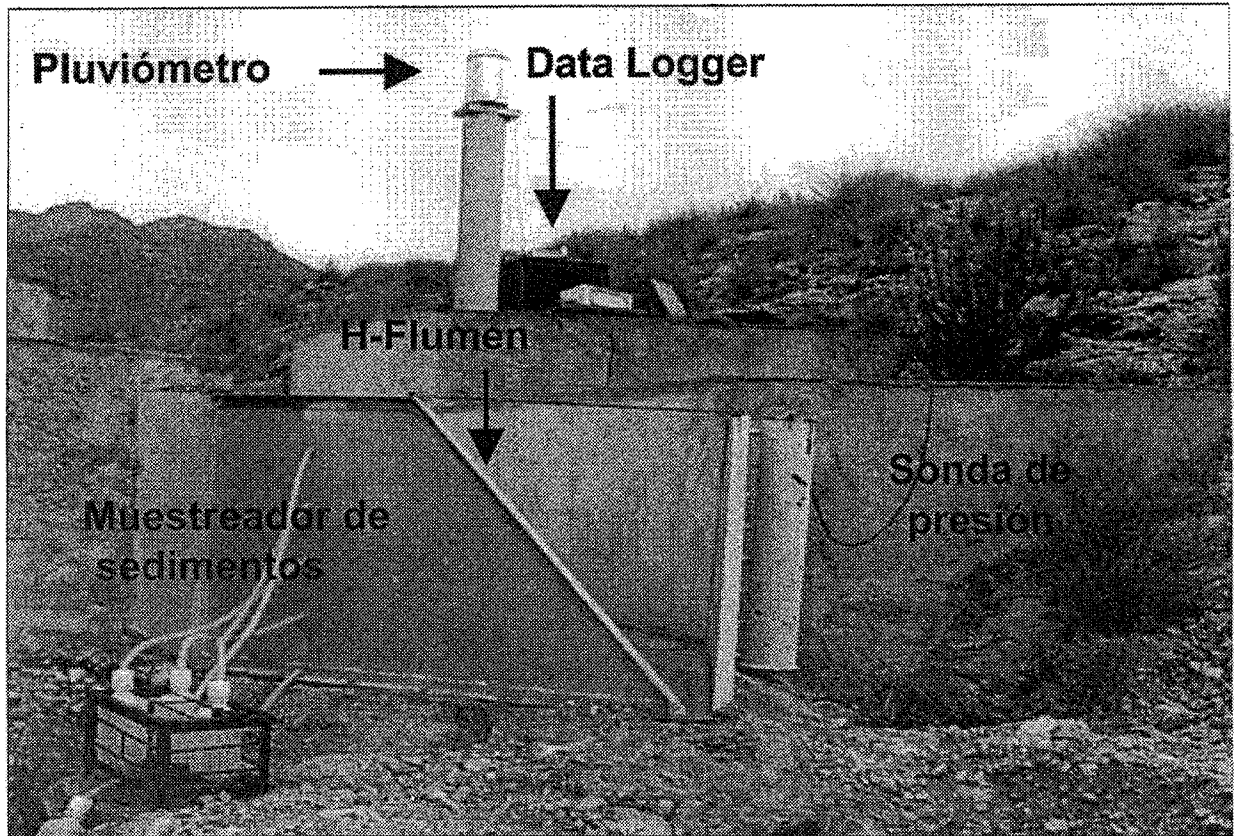


Figura 2. Detalle de la instrumentalización de las cuencas.

Se observa que la cantidad de escorrentía generada en la zona quemada es significativamente mayor, entre un 80 y un 90%, que en las parcelas de esparto no quemado o pinar. Las diferencias en el comportamiento hidrológico de estas tres zonas son debidas principalmente al efecto de la vegetación. En el caso que nos ocupa, la vegetación, su grado de cobertura y composición del estrato es el principal factor diferenciador de las tres zonas. Los resultados obtenidos confirman la importancia de la existencia o ausencia de una cubierta vegetal en la respuesta hidrológica de las zonas semiáridas (Wilcox *et al.*, 1988; Castillo *et al.*, 1997; Quinton *et al.*, 1997).

Estos datos corroboran ,además, la hipótesis de que en estos ambientes la regulación de las escorrentías ejercidas por las formaciones de matorral con una densa cobertura, caso del espartizal no afectado por el incendio, es semejante a la ejercida por las formaciones de tipo arbóreo cuya implantación se produce, sin embargo, a más largo plazo (Francis y Thornes, 1990; Morgan, 1991).

Si se compara los datos obtenidos en el primer periodo de medición, de 6 meses de duración, y los del último año hidrológico, 1998-99, se observa que la respuesta hidrológica del esparto quemado, en términos del coeficiente de escorrentía, es muy similar, en torno al 15%. Este dato revela que la progresiva recuperación de la cubierta vegetal, la cobertura aumentó de un 10-15% durante el primer año hasta un 35-40% al final del estudio, no se traduce en una disminución de las escorrentías. Este hecho sugiere que el deterioro de las propiedades físicas del suelo, como consecuencia de la pérdida de la cubierta vegetal, retrasa, si no impide, la recuperación de la capacidad de regulación hidrológica en este tipo de ambientes (Castillo *et al.*, 1997; Albaladejo *et al.*, 1998).

Tabla 1. Caracterización de los eventos en cada una de las tres zonas a escala parcela

	Abril 97- Septiembre 97	Octubre 97-Septiembre 98	Octubre 98-Septiembre 99	
	Precipitación	194.4	189.9	215.9
	Días de precipitación	35	63	37
	Intensidad periodo	5.55	3.01	5.84
EQ	Escorrentía total (mm)	28.15	11.96	32.36
	Días de escorrentía	4	7	10
	Coef. escorrentía	14.48	6.29	14.98
ESQ	Escorrentía total (mm)	2.92	1.11	5.99
	Días de escorrentía	2	7	10
	Coef. escorrentía	1.50	0.58	2.77
PINAR	Escorrentía total (mm)	5.01	0.99	6.67
	Días de escorrentía	2	7	9
	Coef. escorrentía	2.58	0.52	3.09

3.2 Respuesta hidrológica de cuencas

Los problemas con la instrumentalización y los insuficientes eventos generadores de escorrentía hacen que los resultados obtenidos no sean lo suficientemente representativos ni clarificadores del funcionamiento hidrológico de las cuencas. En cambio, estos resultados fueron muy útiles para validar modelos precipitación-escorrentía y simular la respuesta hidrológica en distintos escenarios de humedad del suelo (Gómez Plaza, 2000)

De los resultados obtenidos en las tres cuencas se deduce que el factor determinante de la respuesta hidrológica son las características de la precipitación, en especial su intensidad máxima (Tabla 2).

A este nivel, la escorrentía generada en áreas provistas de una cubierta vegetal densa es menor que en zonas carentes de vegetación. Sin embargo, en ciertas épocas del año, cuando el suelo está relativamente húmedo y frente a precipitaciones poco intensas estas diferencias en el comportamiento hidrológico de ambas zonas se atenúan y factores tales como la humedad antecedente pasan a tener un papel más preponderante en el control de la respuesta hidrológica (Burch *et al.*, 1987).

Tabla 2. Eventos en cada una de las tres cuencas

Características de las precipitaciones												
CUENCA1												
Fecha	P	I _m	I _{max}	I _{30max}	I _{5max}	I _{10max}	Ti (min)	Tp (min)	Tb (min)	Qp (l/s)	UE (mm)	CE (%)
30/5/97	22.8	33.5								>500		
30/9/97	28	25.6	84	42.4	76.8	61.2	36	40	34	302.9	23.8	8.9
13/5/98	11.8	2.62	48	12.4	38.4	31.2	35	38	22	2.35	8.6	0.12
22/1/99	19.6	5.1	48	16.8	40.8	34.8	118	125	26	2.53	11.6	0.18
27/2/99	22.6	1.5	60	10.4	31.2	19.2	207	210	13	3.22	9.8	0.10
18/6/99	31.8	57.8	240	63.2	144	175.2	9		20	>500	12	>4.2
12/7/99	13.6	4.65	96	13.2	55.2	30	13	19	15	213.3	5	4.9
14/9/99	13	36.1	120	36.1	72	81.6	17	20	24	14.1	11	0.7
CUENCA2												
Fecha	P	I _m	I _{max}	I _{30max}	I _{5max}	I _{10max}	Ti (min)	Tp (min)	Tb (min)	Qp (l/s)	UE (mm)	CE (%)
30/5/97	22.8	33.5								>500	?	>7.7
30/9/97	28	25.6	84	42.4	76.8	61.2	30	35	44	218.9	18.8	8.9
22/1/99	19.6	5.1	48	16.8	40.8	34.8	110	118	40	40	7.8	2.14
27/2/99	22.6	1.5	60	10.4	31.2	19.2	202	208	22	15.8	9	0.92
18/6/99	31.8	57.8	240	63.2	144	175.2	8		35	>500	8	>5.1
12/7/99	13.6	4.65	96	13.2	55.2	30	7	12	32	199.2	4.6	5.3
CUENCA3												
Fecha	P	I _m	I _{max}	I _{30max}	I _{5max}	I _{10max}	Ti (min)	Tp (min)	Tb (min)	Qp (l/s)	UE (mm)	CE (%)
30/5/97	22.8	33.5								>500	?	?
30/9/97	28	25.6	84	42.4	76.8	61.2	34	60	84	81.6	21.2	1.50
5/10/97	16.4	24.8	72	31.6	57.6	54	31	33	24	8.30	14.8	0.11
22/1/99	19.6	5.1	48	16.8	40.8	34.8	122	126	17	14.7	13.0	0.13
27/2/99	22.6	1.5	60	10.4	31.2	19.2				0.00	0.00	0.00
18/6/99	31.8	57.8	240	63.2	144	175.2	20	26	35	194.3	29.2	1.7
12/7/99	13.6	4.65	96	13.2	55.2	30				0		0

HI =humedad inicial; Ti = tiempo de inicio del hidrograma; Tp = tiempo al pico;
Tb= tiempo de duración del hidrograma; Qp =caudal pico; UE=umbral de escorrentía;
CE= coeficiente de escorrentía

Esta hipótesis se confirma analizando algunos de los eventos medidos. Así, en los eventos ocurridos el 30-9-97 (Fig. 3a) y el 18-6-99, la cuenca no quemada produjo bastante menos escorrentía total (coeficientes de escorrentía 1.5 y 1.7% respectivamente) que la medida en las cuencas quemadas (coeficientes de escorrentía 9 y 8.9% para la cuenca 1 y cuenca 2 respectivamente en el evento del 30-9-97, y valores superiores para el evento del 18-6-99) pese a tener una superficie tres veces superior a éstas. En el caso de lluvias abundantes y poco intensas, evento del 22-1-99 (Fig. 3b), estas diferencias no son tan importantes

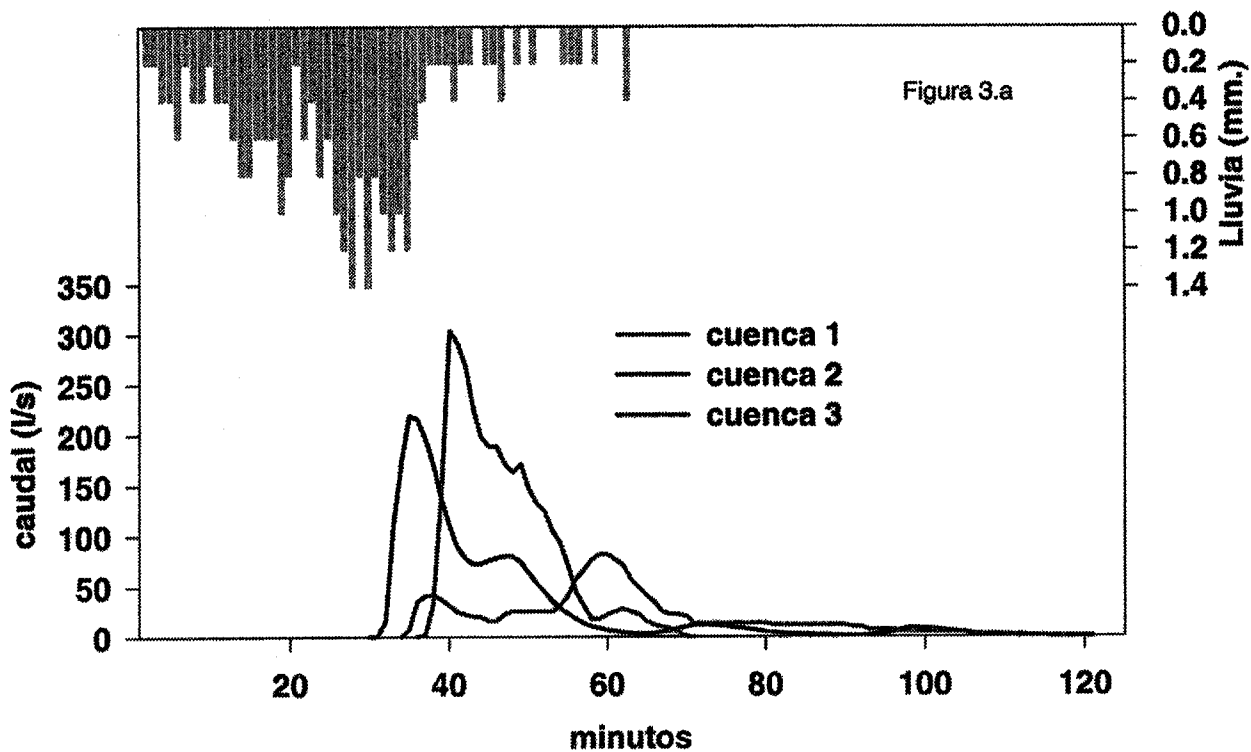


Figura 3a. Hidrogramas correspondientes al evento lluvioso del 30/09/97

22/01/99

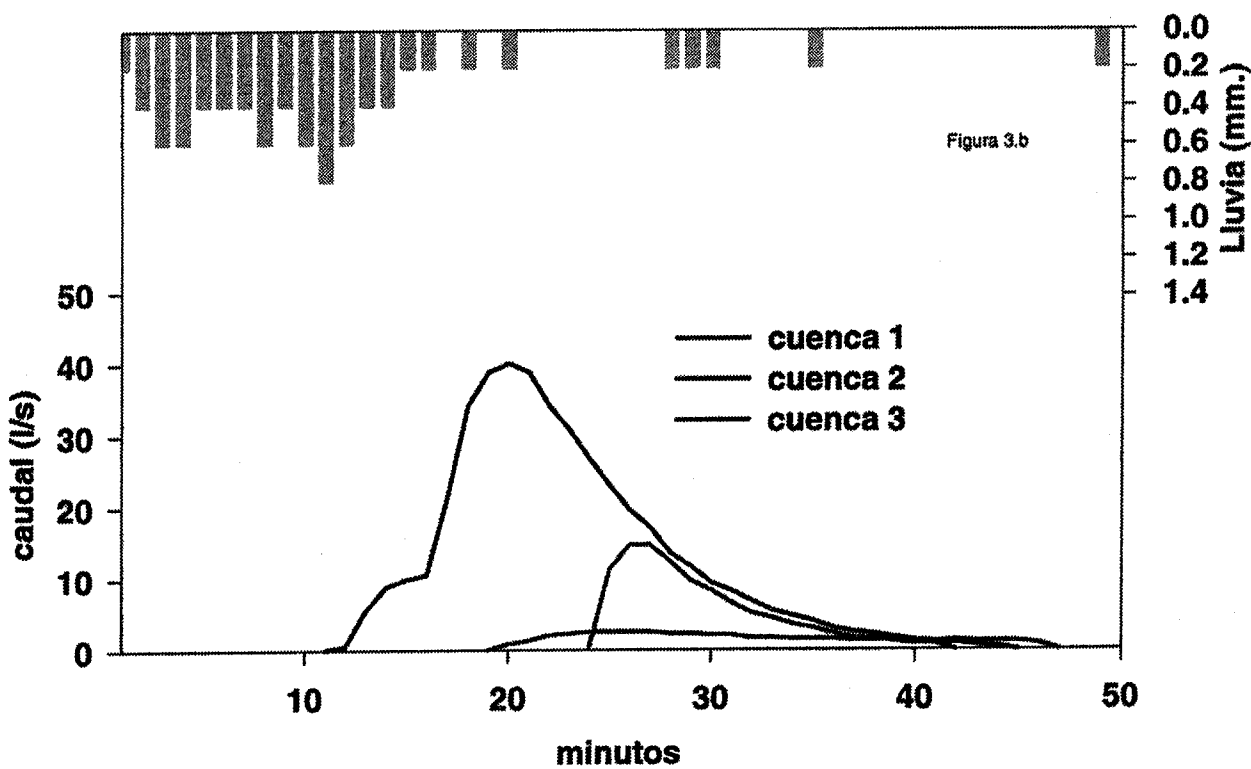


Figura 3b. Hidrogramas correspondientes al evento lluvioso del 22/01/99

4. Evolución temporal de la humedad del suelo: Factores de Control

La importancia de la humedad antecedente en la generación de escorrentía es destacada por numerosos autores (Karnieli y Ben-Asher, 1993, Ceballos y Schnabel, 1998; Fitzjohn y col, 1998) debido a la reducción en la capacidad de infiltración de los suelos conforme aumenta la humedad. Por otra parte, el efecto de la presencia de vegetación sobre la humedad del suelo ha sido objeto de varios estudios (Hawley *et al.*, 1983; Francis *et al.*, 1986). En todos los casos se ha encontrado diferencias significativas en el contenido de humedad debidas a la presencia o no de una cobertura vegetal y al grado de cobertura de la misma.

Con objeto de estudiar los patrones de evolución temporal de la humedad del suelo e identificar los factores del medio que determinan la variabilidad temporal se midieron datos de humedad del suelo a tres escalas temporales: mensual, semanal y diaria en cada una de las cuencas. La Fig. 4 representa la evolución mensual de la humedad junto con la precipitación semanal durante los periodos de medida diciembre 96-mayo 98 y noviembre 98-junio 99. Para las medidas correspondientes a julio-septiembre 1997, y teniendo en cuenta las condiciones meteorológicas durante estos meses, se estimó que el contenido de humedad del suelo estaba por debajo del 3%. La evolución semanal de la humedad se midió en el periodo noviembre 98- junio 99, y viene representada en la Fig. 5.

La tendencia general de los patrones temporales de evolución de la humedad es la misma en cualquiera de las tres escalas temporales estudiadas, aunque conforme disminuimos el periodo de muestreo se observa más fácilmente la influencia de algunos factores sobre dichos patrones.

De los dos transectos pertenecientes a la zona quemada, TQ1 y TQ2, el segundo de ellos es el que presenta, de forma casi permanente, un contenido de humedad

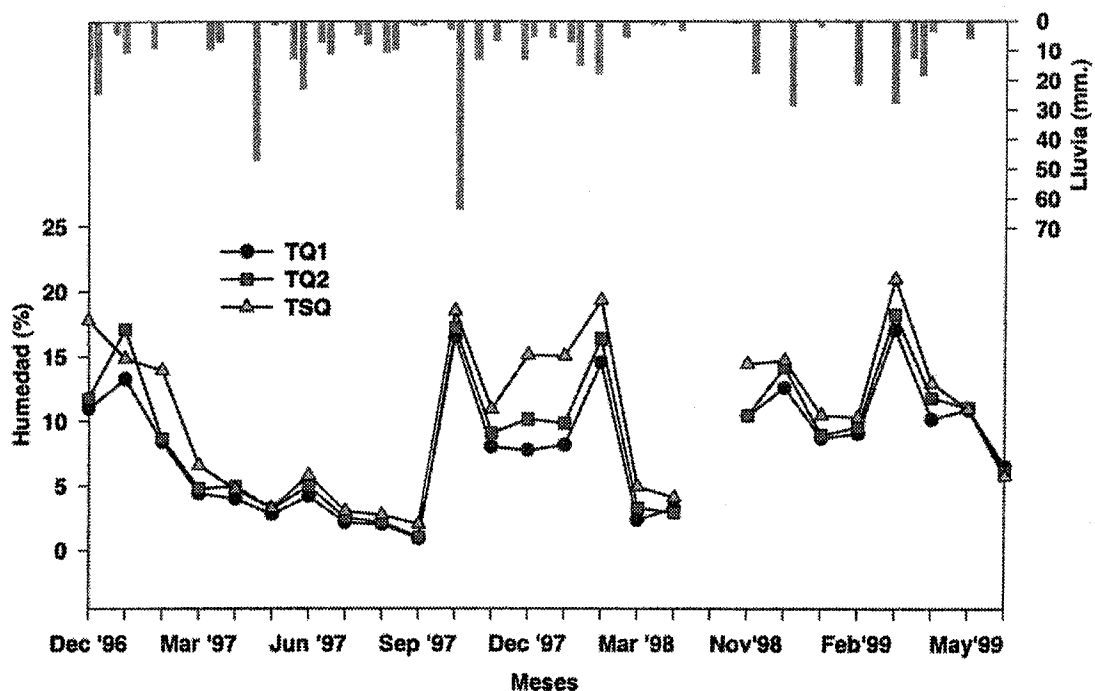


Figura 4. Evolución mensual de la humedad durante los periodos diciembre 1996-abril 1998 y noviembre 1998-junio 1999.

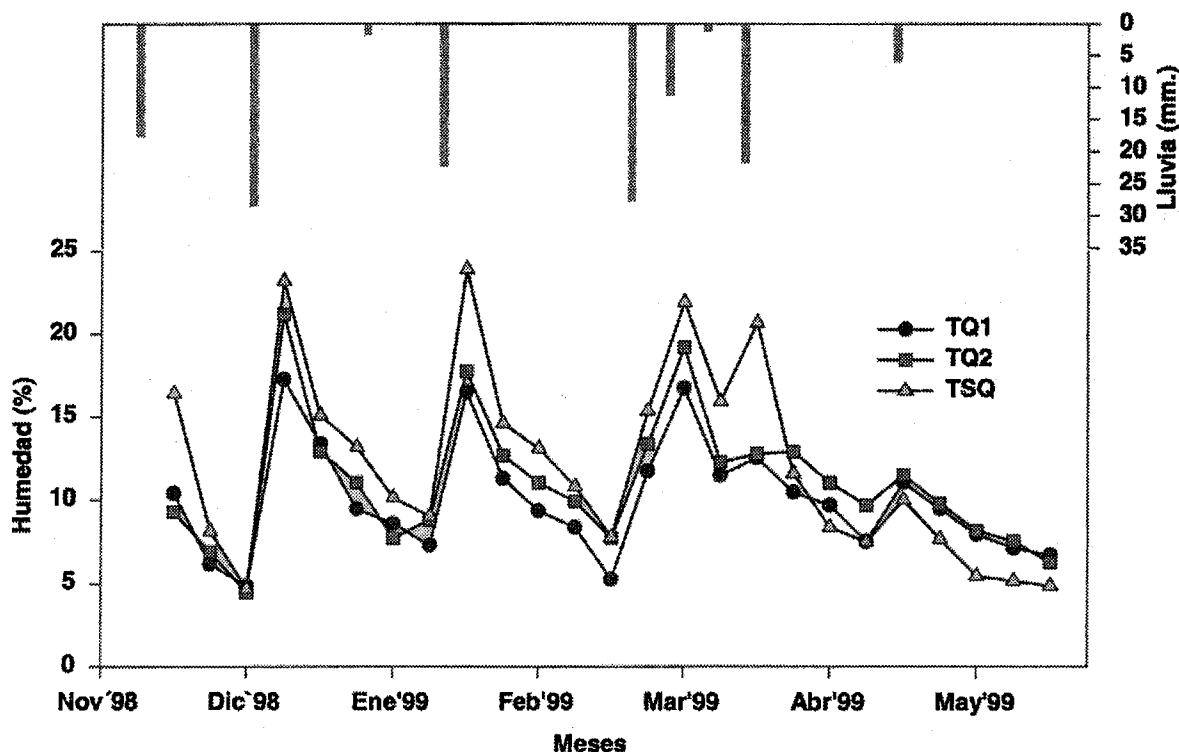


Figura 5. Evolución semanal de la humedad durante el periodo noviembre 1998-junio 1999.

mayor. Puesto que estos dos transectos no presentan diferencias notables en cuanto a cobertura vegetal y topografía, el mayor contenido de humedad en TQ2 ha de atribuirse a la diferente orientación de ambos transectos. La orientación sur de TQ1 tiene como consecuencia una mayor insolación y por consiguiente un secado más rápido del suelo, lo que confirma el importante papel de la orientación en el contenido de humedad del suelo en zonas de ambiente semiárido (Reid, 1973). En la medición semanal, puede comprobarse como los valores de ambos transectos tienden a igualarse durante periodos en los que las radiaciones solares no fueron muy intensas (noviembre 98-enero 99) y se redujo el efecto del factor orientación.

Comparando la zona quemada y no quemada, TSQ estuvo permanentemente más húmedo que TQ1 y TQ2. Las diferencias fueron mayores en los meses con un contenido de humedad medio y alto, mientras que en los meses con menos lluvia el contenido de agua en el suelo era similar en las dos zonas. Por otra parte, en los meses de invierno cuando las necesidades de agua por parte de la vegetación son pequeñas, la diferencia en el contenido de agua entre ambas zonas es mayor que en los meses de primavera. Así, en la evolución semanal de la humedad se observa como a partir de marzo, cuando las plantas comienzan su periodo de crecimiento y aumenta la demanda de agua, hay una disminución brusca del contenido de humedad en la zona no quemada y llega en algunos momentos a ser menor que el contenido de agua en la zona quemada. Este distinto comportamiento en la evolución temporal de la humedad del suelo demuestra la influencia de la cubierta vegetal sobre el contenido de humedad a través de los patrones de interceptación impuestos por la cubierta vegetal, reducción de energía radiante incidente y modificación de los procesos de evapotranspiración y evaporación (Famiglietti *et al.*, 1998). Esta evolución general de los tres transectos se ve alterada en momentos puntuales debi-

do a que las mediciones se hicieron justo después de una lluvia, o a los efectos de tormentas muy localizadas (enero 97, abril 98).

Las curvas de evolución diaria de los tres transectos reflejan los patrones de secado de las diferentes zonas. El efecto de la orientación sobre el secado del suelo en los transectos de la zona quemada también se observa a este nivel de escala temporal (Fig. 6). La medición se efectuó después de una lluvia de 19.6 mm durante el periodo comprendido entre el 25-1-99 y el 19-2-99. Los días posteriores al aguacero fueron soleados. El contenido de humedad inmediatamente después de la lluvia era muy similar en ambos transectos (16% en TQ1 y 18% en TQ2). La evolución de la humedad muestra claramente como el transecto TQ1 se seca mucho más rápidamente que TQ2. Esto se refleja en la tasa de pérdida diaria ($K = -0.375$ para TQ1 y -0.170 para TQ2). Así, si el primer día la diferencia de humedad era de un 2.5%, el segundo aumenta hasta un 5%. Esta diferencia sigue aumentando hasta el quinto día en que empieza a disminuir, observándose hacia el final del periodo de medida como la variación diaria casi no es apreciable en ninguno de los dos transectos quemados.

A escala diaria, la diferencia entre los transectos quemados y no quemados está en los rangos de humedad medidos. Al ser una medición en invierno, el contenido de humedad de la zona no quemada es mayor que el de la zona quemada, aunque la velocidad de secado ($K = -0.245$) alcanza un valor intermedio entre la de los dos transectos quemados.

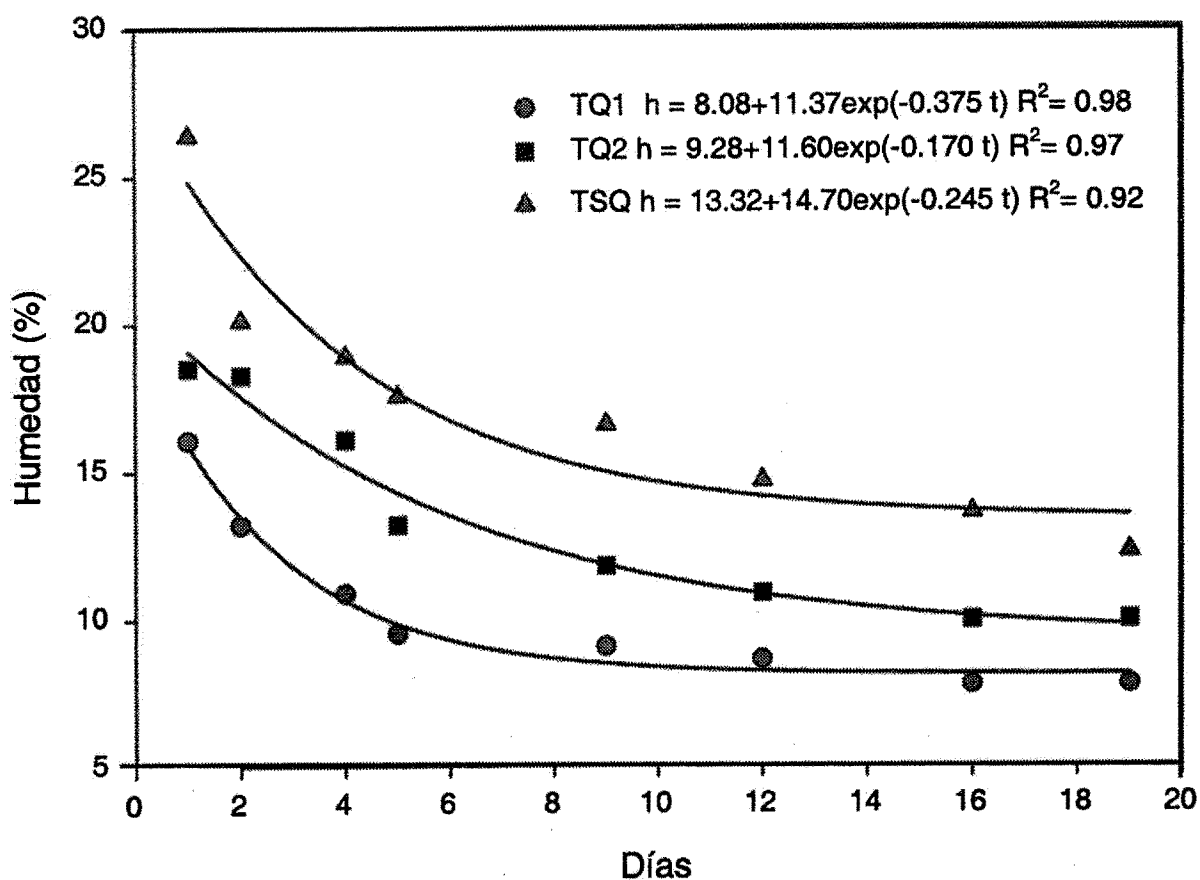


Figura 6. Curvas de secado para los tres transectos estudiados.

5. Conclusiones

La instalación e instrumentación de cuencas y parcelas experimentales es una herramienta muy útil, e imprescindible, para el estudio de los procesos hidrológicos. En los medios semiáridos, los eventos hidrológicos son escasos e irregulares por lo que la obtención de una serie de datos representativos de la respuesta hidrológica requiere largos períodos de observación. El estudio hidrológico debe acompañarse del desarrollo de modelos matemáticos de simulación que deberán ser validados con los datos obtenidos en los campos experimentales.

La extrema variabilidad temporal y espacial de los factores que regulan la generación de escorrentía es otra de las características singulares de la hidrología en las zonas semiáridas. La investigación en cuencas experimentales permite identificar los patrones de variabilidad espacial y temporal de estos factores, como la humedad del suelo, y determinar de qué depende esta variabilidad. La inclusión de la dinámica temporal y la heterogeneidad espacial de las variables de control en los modelos hidrológicos de simulación aumentará la fiabilidad de sus predicciones y su capacidad para evaluar los efectos de un cambio en las condiciones ambientales en la hidrología de los medios semiáridos.

Agradecimientos

Los resultados presentados se han obtenido en el marco de los proyectos EPROHIDRO (HID98-CO2-C01) financiado por la CICYT dentro del Plan Nacional de I+D y RESEL-LUCDEME financiado por la Dirección General de Conservación de la Naturaleza del MIMAM.

Bibliografía

- ABRAHAMS, A.D., PARSONS, A.J. & LUK, S.H., 1988. Hydrologic and sediment responses to simulated rainfall on desert hillslopes in southern Arizona. *Catena*15:103-107
- ALBALADEJO, J., MARTINEZ-MENA, M., ROLDAN, A. & CASTILLO, V., 1998. Soil degradation and desertification induced by vegetation removal in semiarid environment. *Soil Use and Management* , 14:1-5
- ALCARAZ, F., ALVAREZ ROGEL, J., DELGADO, M.J., FAZ, A., & INOCENCIO, C., 1999. Recursos del Medio Natural. Vegetación. *Atlas del Medio Natural de la Región de Murcia*. ITGE. pp:15-35.
- ANDERSON , M.G. & BURT, T.P., 1985. *Hydrological Forecasting*. Wiley Interscience Publication.
- BURCH, G.J., BATH, R.K., MOORE, I.D. & O'LOUGHLIN, E.M., 1987. Comparative hydrological behaviour of forested and cleared catchments in southeastern Australia. *Journal of Hydrology*, 90:19-42
- CASTILLO, V.M., MARTINEZ-MENA, M. & ALBALADEJO, J., 1997. Runoff and soil response to vegetation removal in a semiarid environment. *Soil Science Society of America Journal*, 61(4):1116-1121.
- CEBALLOS, A. & SCHNABEL, S., 1998. Hydrological behaviour of a small catchment in the dehesa landuse system (Extremadura, SW Spain). *Journal of Hydrology*, 210:146-160.

- DUNNE, T., MOORE, T.R. & TAYLOR C.H., 1975. Recognition and prediction of runoff producing zones in humid regions. *Hydrol. Sci.Bull.* 20:305-327
- FAMIGLIETTI, J.S., RUDNICKI, J.W., & RODELL, 1998. Variability in surface moisture content along a hillslope transect: Rattlesnake Hill, Texas. *Journal of Hydrology*, 210:259-281.
- FITZJOHN, C., TERNAN, J.L., AND WILLIAMS, A.G., 1998. Soil moisture variability in a semi-arid gully catchment: implications for runoff and erosion control. *Catena*, 32:55-70.
- FRANCIS, C.F., THORNES, J.B., ROMERO DÍAZ, A., LÓPEZ BERMÚDEZ, F., & FISHER, G.C., 1986. Topographic control of soil moisture, vegetation cover and land degradation in a moisture stressed Mediterranean environment. *Catena*, 13:211-225.
- FRANCIS, C.F. & THORNES, J.B., 1990. Matorral: erosion and reclamation. En Albaladejo, J., Stocking, M.A. y Díaz, E. (eds.), *Degradación y Regeneración del Suelo en Condiciones Mediterráneas*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Murcia, pp.86-115.
- GOMEZ-PLAZA, A., 2000 *Variabilidad espacio-temporal del contenido de humedad del suelo en una zona mediterránea semiárida. Efectos de las condiciones antecedentes en la respuesta hidrológica*. Tesis Doctoral. ETS Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid
- GRAYSON, R.B., MOORE, I.D. & MCMAHON, T.A., 1992. Physically based hydrologic modeling : A terrain based model for investigative purposes. *Water Resources Research*, 26(10): 2639-2658.
- HAWLEY, M.E., JACKSON, T.J., & MCCUEN, R.H., 1983. Surface soil moisture variation on small agricultural watersheds, *Journal of Hydrology*, 62: 179-200.
- ILRI, 1978. *Discharge Measurement Structures*. International Institute for Land Reclamation and Improvement. Wageningen. The Netherlands.464 pp.
- KARNIELI, A. & BEN ASHER, J., 1993. A daily runoff simulation in semiarid watersheds based on soil water deficit. *Journal of Hydrology* 149:9-25
- MARTÍNEZ-MENA. M.D., ALBALADEJO, J. & CASTILLO, V., 1998. Factors influencing surface runoff generation in a Mediterranean semi-arid environment: Chicamo watershed, SE Spain. *Hydrological Processes* 12:741-754.
- MORGAN, R.P.C., 1991. Technical and policy options for dealing with the problems of desertification in the European community. In: *Desertification and Water Resources in the European Community*, European Parliament, pp.340-359.
- QUINTON, J.N., EDWARDS, G.M. & MORGAN, R.P.C., 1997. The influence of vegetation species and plant properties on runoff and soil erosion: results from a rainfall simulation study in south east Spain. *Soil Use and Management*, 13: 143-148.
- REID, I., 1973. The influence of slope orientation upon the soil moisture regime and its hydrogeomorphological significance. *Journal of Hydrology*, 19: 309-321
- WILCOX, B.P., WOOD, M.K. & TROMBLE, J.M., 1988. Factors influencing infiltrability of semiarid mountain slopes. *Journal of Range Management*, 41(3):197-206.
- YAIR A. & LAVÉE H., 1985. Runoff generation in arid and semiarid zones. In Anderson, M.G. and T.P. Burt (eds.) *Hydrological Forecasting*. Wiley Interscience Publications.

Recibido en noviembre del 2000
Aceptado en enero del 2001