

PROCESOS HIDROLÓGICOS EN MICROAMBIENTES BAJO CONDICIONES MEDITERRÁNEAS

J.D. RUIZ SINOGA, J.J. DELGADO PEÑA, A. GALLEGOS REINA, B. LUCAS
SANTAMARÍA, J.F. MARTÍNEZ MURILLO, J. MÁRQUEZ CARRERO,
A. ROMERO LOPERA MÁRQUEZ

RESUMEN

En la montaña media mediterránea los procesos de escorrentía superficial se inician justo durante la precipitación y a lo largo de las laderas, lo que significa que dependiendo de las condiciones ecogeomorfológicas de las mismas, variaran la magnitud y las características de tales procesos. Son los distintos microambientes, que en su conjunto conforman la disposición y el patrón de vegetación de las laderas, quienes tienen un papel clave en los mecanismos de inicio de la redistribución del agua en las laderas hacia los cauces, de ahí la importancia de su estudio. En la presente investigación hemos llevado a cabo un análisis del comportamiento hidrológico de tales microambientes desde diversas ópticas, tanto teóricas como empíricas, utilizadas habitualmente en el ámbito del conocimiento de los procesos hídricos. Para ello, hemos delimitado nuestro estudio a varias parcelas experimentales, de 1, 3 y 5 m de longitud, tratando con ello de establecer también su vinculación con los procesos de conectividad hidrológica en laderas.

ABSTRACT

In the Mediterranean middle mountain, the runoff processes starting with the rainfall along the slopes, so that means that depending of the natural conditions in the ecogeomorphological system, will go to change the magnitude and characteristics of those processes. Different microenvironments made the vegetation patterns in the slopes having a head key in the mechanisms of starting of the water redistribution from the slopes to the channel. In this research we have been analysed the hydrological behaviour of the microenvironments from several point of view, theoreticals and experimentals, habitually used in the hydric processes knowledge. In that way, we have delimited our research to several experimental plots, from 1, 3 and 5 m of length, establishing also the link with the hydrological connectivity processes in the slopes.

1. INTRODUCCIÓN

Dos han sido los modelos hidrológicos clásicos que han explicado la escorrentía superficial. Por un lado, el modelo de Horton (1945) que considera el predominio del flujo superficial cuando la intensidad de precipitación supera a la capacidad de infiltración. Por otro lado, el modelo de Hewlett (1964), por el cual la precipitación se infiltra hacia el suelo, donde el agua comienza a fluir de forma subsuperficial ladera abajo, exfiltrándose en el contacto con el cauce. Estos modelos fueron definidos para condiciones naturales homogéneas, áridas en el caso de Horton y húmedas en el de Hewlett.

Diversos autores han coincidido en que ninguno de los dos sucede de forma exacta bajo condiciones mediterráneas, en donde es posible encontrar zonas bajo régimen árido o semiárido, e incluso subhúmedo o húmedo. Esto implica que el sistema ecogeomofológico, dependiente del clima, adopte diversas modalidades, por lo que la generación de escorrentía y, por tanto, la dinámica erosiva de vertientes, adquiera igualmente diversas formas. Por tanto, por la configuración de los factores bióticos o abióticos de la ladera, por el patrón de vegetación en la misma, dicha generación de escorrentía atendería a un modelo mixto de áreas infiltradoras / contribuyentes, hortoniano discontinuo, como plantea Calvo *et alii* (2003).

Las laderas mediterráneas actúan como un mosaico hidrológico desordenado, en el que se suceden áreas infiltradoras y escurridoras, dependiendo de sus características morfométricas, litológicas, edáficas y de vegetación y manejo (Yair y Klein, 1973; Yair, 1983; Yair y Lavee, 1985; Yair y Enzel, 1987; Lavee *et alii* 1998). Dicho mosaico conduce a plantear el tema de la conectividad hidrológica a lo largo de la ladera entre diferentes microambientes. Además, el agua interceptada por la vegetación se mueve no sólo a través de ella, sino también bajo la misma, atendiendo a trayectorias preferenciales, con lo que se establece en profundidad un modelo no uniforme de redistribución de la infiltración. (Bergkamp *et al.*, 1996). A lo anterior, hay que añadir las diferentes características hidrológicas y potenciales de infiltración/escorrentía de los suelos, provocando cierta variabilidad en la distribución de la humedad del suelo (Coronato y Bertiller, 1997; Western *et alii* ., 1998; Fitzjohn *et alii* ., 1998), es decir, áreas proclives a la infiltración, a la generación de escorrentía o a un comportamiento mixto.

Lavee *et alii* (1998) explican que la diferencia es impuesta por los factores que controlan la generación de escorrentía. En condiciones húmedas, los factores bióticos (patrón de vegetación, actividad de microorganismos, manejo humano) son los responsables de los procesos de infiltración y de generación de escorrentía, mientras que en condiciones áridas y semiáridas son los factores abióticos (costras, pedregosidad, propiedades físicas de los suelos) los que

ejercen el control. A veces, ambos mecanismos de generación de escorrentía superficial y subsuperficial aparecen combinados en la misma cuenca, ladera o evento pluviométrico (Llorens *et alii*., 1992; Gallart *et alii*., 1994; Gallart *et alii*., 1997; Martínez-Mena *et alii*., 1998; Puigdefábregas *et alii*., 1998, 1999; Boix-Fayos, 1999).

Calvo *et al* (2003) identifican los dos mecanismos clásicos de generación de escorrentía, por exceso de infiltración y saturación respectivamente. Cuando los suelos están secos, sólo se genera escorrentía si su nivel de degradación es alto, sin embargo ésta se reinfilitra, conectando con la vegetación ladera abajo, dadas sus mayores tasas de infiltración. Cuando los suelos están húmedos, aparecen tasas más altas de escorrentía, aunque no se produzca la saturación del perfil. Esta escorrentía no tiene porque ser continua en el espacio y suelen aparecer también reinfiltraciones en zonas adyacentes. En ambos casos podríamos denominarla escorrentía hortoniana discontinua.

Por tanto, ante condiciones climatológicas más húmedas, donde predominan los factores bióticos, se generan procesos de escorrentía por saturación de la capa superior del suelo, siempre discontinua en el espacio y con reducción de las áreas emisoras. Por el contrario, en condiciones climatológicas más áridas tiene lugar un aumento del tamaño de las áreas generadoras, siendo la escorrentía el resultado del exceso de infiltración con discontinuidad espacio-temporal. En condiciones típicamente mediterráneas, el comportamiento se traduce en un mecanismo mixto de generación de escorrentía.

En cualquier caso, planteamos la existencia de una variabilidad espaciotemporal en cuanto al comportamiento hidrológico de laderas bajo condiciones mediterráneas, lo que repercutirá en el sistema ecogeomorfológico. Consideramos que estas referencias pueden demostrarse científicamente a escala de microambiente, lo que supone cumplimentar unos objetivos para su verificación: 1) medir la respuesta hidrológica de parcelas de diferente longitud ante eventos lluviosos basándonos en modelos hidrológicos e hidrodinámicos; 2) observar las diferencias entre el comportamiento hídrico de las parcelas, en relación a los procesos de conectividad hidrológica de flujos en laderas, basándonos en mediciones reales, tanto con datos derivados de simulaciones de lluvia, como con otros recopilados en eventos pluviométricos.

Para ello, hemos establecido 3 parcelas experimentales de diferente longitud en una ladera que se localiza en la unidad natural de los Montes de Málaga, en el sur de la Península Ibérica, formando parte de las Cordilleras Béticas. Concretamente, se encuentra en la cabecera de la cuenca del arroyo Ancón (afluente de la margen izquierda del río Guadalhorce), y a unos 4 km al Oeste de la localidad malagueña de Almogía.

La morfología que la caracteriza es semejante al modelado que conforma los Montes de Málaga: topografía muy compartimentada, con pendiente eleva-

da hacia el fondo de los valles y formas alomadas, más suaves hacia las cimas. El sustrato geológico sobre el que actúa el agua para elaborar este modelado, queda constituido por el Complejo Maláguide, el manto de corrimiento más superficial de los tres que constituyen las Unidades Internas de las Béticas, siendo su litología de carácter metamórfico, basada en filitas carboníferas.

El clima es mediterráneo, de marcada irregularidad en sus precipitaciones y de suaves temperaturas. La estación pluviométrica más cercana es la de Almogía, situada a una altitud de 425 m. y con una precipitación cuya mediana estadística es de 511,1 mm. para 48 años de registros.

El uso principal del suelo consiste en matorral y bosque abierto mediterráneo en rodales, de alcornoques y encinas. Es un claro ejemplo de la evolución del ecosistema mediterráneo en los últimos 50 años: estuvo cultivada hasta la década de los sesenta del siglo XX, siendo entonces abandonada; a partir de ese momento ha sido colonizada por vegetación arbustiva y arbórea hasta conformar el bosque abierto mediterráneo actual. Desde el punto de vista de la vegetación, se localiza dentro de la Provincia Mediterránea de la Bética, en el Sector Malacitano Axarquicense, Distrito Malacitano. El estadio evolutivo de la vegetación correspondería a un bosque de encinar termófilo con alcornoques de la asociación *Smilaci mauritanicae* – *Querceto rotundifoliae quercetosus suberis* (Nieto Caldera, Pérez Latorre y Cabezudo, 1994) (Serie termomediterránea, Bética, Mariánico – Monchiquense y Rifeña, seco – subhúmeda e indiferente edáfica de la encina, subserie silicícola, seco superior – subhúmeda inferior con alcornoque). Son encinares climatófilos termomediterráneos que sobre sustratos silíceos (Paleozóicos y Triásicos) y zonas de ombroclima de piso seco superior, como es nuestro caso, desarrollan una faciación con alcornoques. Hay que apuntar, por último, que la actividad ganadera es activa, de carácter caprino y se deja sentir en el patrón de la vegetación y en las características edáficas.

2. METODOLOGÍA

En la ladera elegida, representativa dentro de su entorno, hemos instalado tres parcelas cerradas, dispuestas a favor de la pendiente, con tres medidas diferentes a fin de observar posibles diferencias en la generación de escorrentía inducidas por la longitud: 1, 3 y 5 m de longitud por 1 m de ancho.

Las parcelas cerradas disponen en su base de un depósito de 25 l para la recogida de la escorrentía. Dada la mayor superficie de las parcelas de 3 y 5 m, hemos establecido el sistema de recolección de muestras mediante el uso de partidores. Además, el conjunto de parcelas está acompañado de un pluviómetro para la medición de la precipitación total de cada evento. También, dispo-

nemos de los datos pluviográficos de la estación pluviométrica de Almogía, de la Confederación Hidrográfica del Sur de España, situada a 2 km. de distancia.

Cada una de las parcelas ha sido fotografiada a finales del verano de 2003, tras el periodo seco, con una cámara digital desde una altura de 2 m, para su posterior fotointerpretación de acuerdo con la leyenda definida por Lavee *et alii*, (Lavee *et alii*, 2003) que atiende al potencial comportamiento hidrológico de los diferentes microambientes.

El periodo de muestreo ha sido desde mediados de septiembre hasta mediados de diciembre de 2003. Después de cada uno de los periodos de lluvia continuos, hemos contabilizado tanto la lluvia recogida por el pluviómetro así como la escorrentía almacenada en los depósitos de cada una de las parcelas.

Por último, hemos llevado a cabo una serie de simulaciones de lluvia, siguiendo la metodología de Calvo *et alii* (1997) en zonas adyacentes a las parcelas cerradas sobre similares microambientes, a fin de obtener su respuesta hidrológica.

Con la información obtenida, hemos realizado diferentes aproximaciones al objeto de determinar el comportamiento hidrológico, así como el ajuste entre ellas.

3. ZONA DE ESTUDIO

3.1. Sistema ecogeomorfológico de las parcelas

Las parcelas cerradas de 1, 3 y 5 m de longitud han sido fotointerpretadas y cartografiadas, siguiendo la misma metodología y leyenda a partir de fotografías digitales. (fig. 1)

Tamaño, tipo y patrón de vegetación son variados en cada una de las parcelas. Predominan por su abundancia y porte los individuos de *Cistus monspeliensis*, que pueden alcanzar el metro de altura. Con menor frecuencia encontramos con un porte significativo individuos de *Genista umbellata*. También encontramos otras especies de menor porte, si bien abundantes en número, como son la *Lavandula stoechas*, el *Helichrysum stoechas*, y *Phagnalon rupestre*. Otras especies presentes más dispersas son el *Quercus coccifera*, la *Retama sphaerocarpa* o el *Chamaerops humilis*.

A lo largo de la ladera, la cubierta vegetal, incluyendo los tres estratos (arbóreo, arbustivo y herbáceo) ocupa un 50 % de su superficie total, quedando el resto repartido entre los diferentes tipos de suelo desnudo diferenciados según su pedregosidad y morfología, así como los afloramientos rocosos.

En el caso de parcelas cerradas, su longitud implica la presencia o ausencia de los diferentes elementos ecogeomorfológicos, pues obviamente a mayor longitud, la variedad podrá ser igualmente mayor.

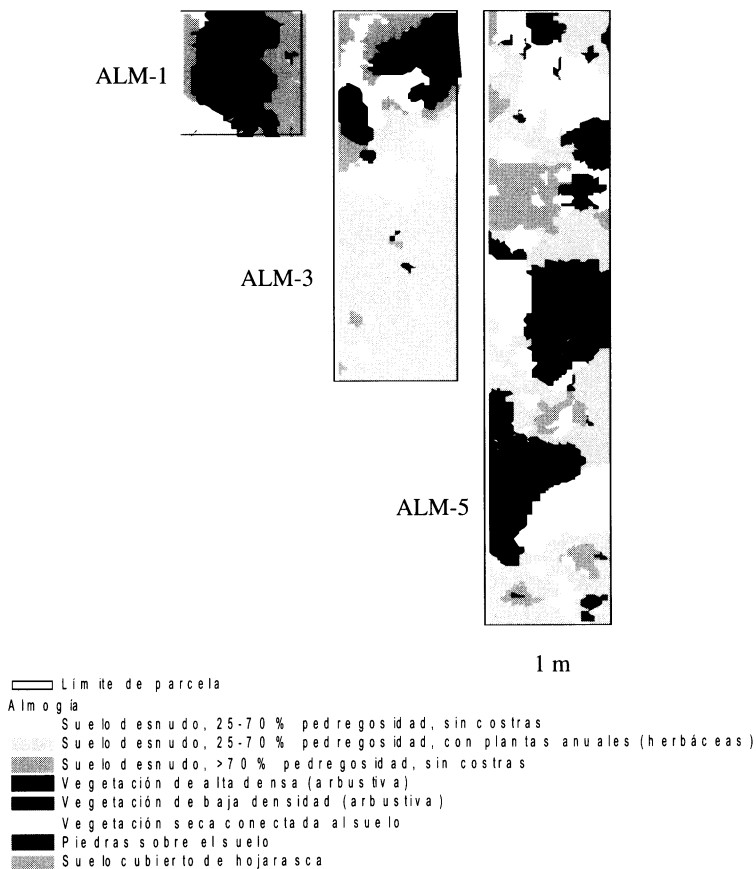
CUADRO 1
ELEMENTOS Y CUBIERTA (%) DEL SISTEMA
ECOGEOMORFOLÓGICO DE LA LADERA Y LAS PARCELAS DE
ALMOGÍA

Elementos ecogeomofológicos	Ladera	ALM-1	ALM-3	ALM-5
Suelo desnudo, con pedregosidad <25% sin costra (incluidas piedras)	11,3	0,0	0,0	0,0
Suelo desnudo, con pedregosidad <25% con plantas anuales	7,5	8,5	4,2	15,9
Suelo desnudo, con pedregosidad <25% embebida y sin costra	2,0	0,0	0,0	0,0
Suelo desnudo, con pedregosidad >25 y <70% sin costra	13,9	0,0	0,0	0,0
Suelo desnudo, con pedregosidad >25 y <70% con plantas anuales	7,3	50,0	78,3	1,6
Suelo desnudo, con pedregosidad >25 y <70% embebida y sin costra	1,3	5,0	0,3	2,2
Suelo desnudo, con pedregosidad >70% no embebida	2,6	7,4	1,7	14,5
Suelo desnudo, con pedregosidad >70% embebida	1,5	0,0	0,0	0,0
Afloramientos rocosos y piedras sobre el suelo	2,9	0,8	0,4	1,9
Vegetación de alta densidad (arbórea y arbustiva)	3,7	16,3	7,3	28,3
Vegetación de baja densidad (arbustiva)	27,5	12,0	0,0	12,6
Vegetación seca, conectada al suelo	14,9	0,0	7,7	23,0
Vegetación anual (herbácea)	3,5	0,0	0,0	0,0

Fuente: Elaboración propia.

Estas diferencias serán fundamentales al cuantificar su comportamiento hidrológico, dado que la presencia de vegetación más o menos densa, muerta o seca conectada o no con el suelo, implica una tendencia hacia los procesos de infiltración. De este modo, es lógico pensar que el patrón de vegetación favorecerá la infiltración en aquellos lugares donde se ubican los individuos, conformando teselas o áreas infiltradoras. El ramaje y las hojas interceptan el agua de lluvia, que discurre por la estructura de la planta y se filtra en el suelo, favorecido también por el sistema radical de las plantas. De igual manera, los suelos sin cubierta vegetal, pero con diferente pedregosidad, actuarán como áreas infiltradoras o sumideros, según la disposición, ya sea sobre el suelo, embebida, o formando costras. Y los afloramientos rocosos o piedras (fragmentos > 7 cm), que son claros generadores de escorrentía en el medio analizado. Vemos, por tanto, cómo las parcelas se convierten en un mosaico de teselas infiltradoras o generadoras de escorrentía, respondiendo a la distribución espacial, tamaño y patrón, tanto de la vegetación como de la pedregosidad superficial.

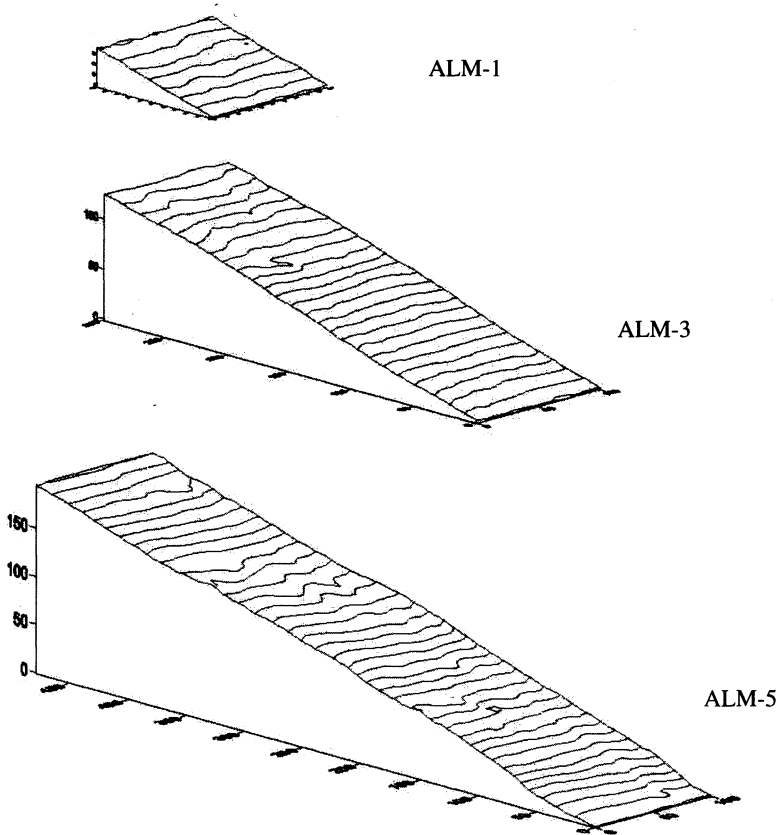
FIGURA 1
ECOGEOMORFOLOGÍA DE LAS PARCELAS



No obstante, dicho comportamiento hidrológico está condicionado por la topografía del terreno, puesto que puede definir las áreas preferenciales de concentración de flujo superficial, o áreas sumidero o de infiltración. En la figura 2, mostramos el alzado tridimensional de la topografía de las tres parcelas, con una equidistancia entre curvas de 5 cm. Los rasgos topográficos son muy similares en las tres parcelas; la pendiente es homogénea en todas, salvo en algunas zonas donde decrece, lo que puede implicar la presencia de áreas sumidero. La pendiente media en cada una de las parcelas es: ALM-1 (40,1 %); ALM-3 (45,8 %); y ALM-5 (44,8 %).

En definitiva, las parcelas cerradas participan de los rasgos ecogeomorfológicos que fueron definidos para toda la ladera, con lo que su representatividad está demostrada.

FIGURA 2
ALZADO TOPOGRÁFICO DE LAS PARCELAS CERRADAS
DE ALMOGÍA



3.2. Datos pluviométricos

Los datos pluviométricos utilizados han sido obtenidos a partir de dos fuentes. Por un lado, los volúmenes totales de precipitación recogidos por pluviómetros instalados en las parcelas de la ladera estudiada. Por otro lado,

los datos pluviográficos de la estación de Almogía, perteneciente a la Confederación Hidrográfica del Sur de España, agrupados en intervalos de tiempo de 5 minutos, de los que hemos podido obtener los valores de precipitación total, intensidad media del periodo e intensidad máxima. En el cuadro 2, mostramos las fechas de los periodos medidos, volúmenes e intensidades.

Los datos pluviométricos medidos en la ladera suelen ser superiores a los de la estación pluviométrica de Almogía, salvo en dos eventos, si bien presentan una buena correlación ($R^2 = 0,998$), por lo que la integración de la información de ambas fuentes es válida; ambos lugares distan unos 2 kilómetros y la ladera se encuentra a 160 m. más de altitud que la estación de Almogía.

CUADRO 2
PERIODOS Y EVENTOS PLUVIOMÉTRICOS, VOLUMEN,
DURACIÓN E INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN

Período	Fecha	Pp (l m ⁻²)		Estación pluviométrica de Almogía						
		// Ladera		Int (l h ⁻¹)			Intervalo de máx Int (l h ⁻¹)			Int med máx (l h ⁻¹)
		Pp (l m ⁻²)	T _{total} Pp	Int (l h ⁻¹)	(l h ⁻¹)	5'	10'	15'		
1	30 sep '03	6,0	5,4	1h 55'	4,3	18,0	4,8	18,0	18,0	13,6
2	1 y 2 oct '03	2,0	1,3	50'	1,6	3,6	1,2	3,6	1,2	2,4
3	3 a 7 oct '03	24,0	25,8	6h 10'	4,2	22,8	4,8	22,8	15,6	14,4
4	14 a 16 oct '03	6,0	2,9	1h 45'	1,7	3,6	2,4	3,6	1,2	2,4
5	19 oct '03	13,0	11,1	2h 25'	4,6	27,6	27,8	22,8	20,4	23,6
6	24 a 29 oct '03	122,4	121,4	26h 5'	4,7	66,0	49,2	54,0	52,8	48
							45,6	66,0	28,0	46,8
7	31 oct '03	19,0	12,1	3h 10'	3,8	28,8	9,6	28,8	13,2	17,2
8	10 nov '03	3,0	1,4	50'	1,5	2,4	1,2	2,4	1,2	1,6
9	15 y 16 nov '03	27,0	22,2	3h 40'	6,1	36,0	25,2	36,0	36,0	32,4
10	23 nov '03	34,0	34,0	8h	4,3	19,2	19,2	19,2	14,4	17,6
11	24 y 25 nov '03	18,0	12,5	4h 10'	3,0	10,8	6,0	10,8	4,8	7,2
12	3 a 7 dic '03	111,9	111,9	34h 10'	3,3	27,6	12,0	27,6	21,6	24,4
13	8 a 10 dic '03	32,0	27,5	10h 55'	2,5	20,4	20,4	7,2	7,2	11,6
Total		418,3	389,5	189h 5'						
Evento medio		32,2	30,0	6h 33'	3,5	22,1	16,4	23,1	16,8	18,8

Fuente: Elaboración propia y datos pluviográficos de la Confederación Hidrográfica del Sur de España (*).

Los periodos corresponden a días seguidos durante los que se produjeron eventos lluviosos. Por tanto, cada uno de estos periodos está formado por la suma de distintos eventos, con duración e intensidad de precipitación variables.

Los datos generales de los periodos de lluvia muestran una serie de eventos con pluviometría, tiempo de duración e intensidad media muy variada. A lo largo del otoño de 2003, tuvieron lugar periodos de diferente duración (desde menos de 1 hora hasta más de 1 día), diferente volumen recogido (apenas 2 l m⁻² en dos ocasiones, o más de 100 l m⁻² en otras dos) y diferente intensidad (1,6 l h⁻¹ el valor mínimo y 6,1 l h⁻¹ el valor máximo). Estos datos generales ofrecen una buena relación entre volumen, intensidad y duración, es decir, a mayor volumen, mayor duración y mayor intensidad, pues al tratarse de valores totales y medios, hacen referencia a los resultados finales de los periodos de lluvia, sin atender posibles diferencias dentro de los eventos que lo forman.

Sin embargo, cuando descendemos a una escala de mayor detalle, es decir, cuando analizamos los eventos que constituyen cada uno de los periodos lluviosos medidos, estamos ante una típica lluvia mediterránea, la cual había sido enmascarada ciertamente por los datos generales antes descritos. De este modo, gran parte de los periodos de lluvia están constituidos por al menos un evento de duración muy variable, dentro del cual es posible diferenciar un intervalo de tiempo de 15 minutos, durante el que se alcanzan intensidades de precipitación altas o muy altas.

Hemos de destacar dos eventos en los que durante 15 minutos, la intensidad de precipitación fue superior a 40 l h⁻¹, alcanzando unos máximos de 54,0 y 66,6 l h⁻¹. Y otros dos eventos importantes, pero de menores intensidades, con máximos de 27,8 y 36,0 l h⁻¹.

Estos intervalos de tiempo de 15 minutos definidos, permiten caracterizar la intensidad de la precipitación de la zona, en la que se han podido medir eventos de hasta casi 5 horas de lluvia continuada, con bajas intensidades de precipitación, dentro de los cuales se diferencian claramente intervalos de un cuarto de hora, en el que se alcanzan intensidades máximas. Si el evento se prolonga, las repercusiones de ese periodo intenso de 15 minutos se ven reducidas, es decir, el peso del agua caída durante ese intervalo de tiempo respecto al total del evento puede no ser relevante. Sin embargo, desde un punto de vista hidrogeomorfológico puede ser determinante al poder activar o aumentar tanto los procesos de generación de escorrentía como los erosivos, dependiendo de las condiciones de humedad del suelo.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Hemos realizado varias aproximaciones al comportamiento hídrico de los suelos a fin de establecer el posible ajuste entre ellas, así como determinar cual de ellas se aproxima en mayor medida a los datos recogidos tras eventos reales en las parcelas experimentales seleccionadas.

4.1. Comportamiento hidrológico basado en el método del número de curva del SCS

Dadas las características de las parcelas, se han podido efectuar ajustes hidrológicos al objeto de poder calcular los correspondientes hidrogramas de escorrentía.

Los ajustes hidrológicos del Método del Número de Curva (Cuadro 3), han sido calculados en base a un aguacero máximo medido en el área de estudio, que consistió en un evento de 15 minutos de duración, con las siguientes intensidades: 49,2 mm h⁻¹ durante los primeros cinco minutos, 54,0 mm h⁻¹ del minuto cinco al diez, y 52,8 mm h⁻¹ del diez al quince. Esta evolución pluviométrica acumuló un volumen total de lluvia de 13,2 mm durante el cuarto de hora de precipitación. Además, hemos tomado en consideración el estado de humedad del suelo en el momento previo al aguacero (6,8 % de humedad), por lo que el suelo se encontraba seco según sus características físicas e hídricas (condición I del Método del Número de Curva).

Para la determinación del tiempo de concentración (T_c), hemos utilizado la ecuación de California que arroja unos valores muy bajos, dadas las longitudes consideradas. Así, la parcela de 1 m. presenta un T_c de 0,029 min., la de 3 m., 0,064 min., y la de 5 m., 0,092. Es decir, una gota de agua que cayese sobre cada una de ellas tardaría apenas 1,7, 3,8 y 5,5 seg respectivamente en llegar a la salida de las parcelas, con lo que su respuesta hidrológica es casi instantánea. Comprobada esta circunstancia empíricamente, hemos observado valores muy distantes de los obtenidos según el modelo.

Al calcular los otros dos ajustes, mixto e hidrodinámico, hemos considerado la variabilidad en la velocidad del agua que introduce la pendiente del terreno, y por tanto, en el tiempo que tarda la escorrentía en recorrer una distancia determinada. Tras sucesivas mediciones (Ruiz *et alii*, 2002), calculamos los nuevos tiempos de concentración en base a las pendientes de las parcelas. Estos aumentaron considerablemente: la parcela 1 pasa a 1,73 minutos, la 3 a 4,78 minutos, y la 5 a 7,48 minutos. Estos resultados son más acordes con la realidad, pues los tiempos de concentración del ajuste hidrológico eran excesivamente reducidos, lo que confería una espontaneidad al sistema que no tiene.

CUADRO 3
RESULTADOS DE LOS AJUSTES HIDROLÓGICOS:
HIDROLÓGICO (H), MIXTO (M) E HIDRODINÁMICO (HD)

	ALM-1			ALM-3			ALM-5			
	H	M	HD	H	M	HD	H	M	HD	
Tp (min)					15					
P (mm m ⁻²)					13,2					
I (mm h ⁻¹)				49,2 / 54,0 / 52,8						
Tc (min)	0,029	1,73	1,73	0,064	4,78	4,78	0,092	7,48	7,48	
Qe (mm)	0,772	0,772	0,601	0,996	1,004	0,821	3,580	2,249	1,807	
Tasa Qe (mm m ⁻²)	0,772	0,772	0,6011	0,332	0,334	0,273	0,716	0,450	0,361	
% Qe / P	5,9	5,9	4,6	7,5	7,6	6,2	27,1	17,0	13,7	
	Infiltrabilidad / % área									
Muy alta		0,0			0,0			0,0		
Alta		0,0			0,0			0,0		
Media		24,9			20,2			29,8		
Baja		17,0			78,0			60,0		
Muy baja		58,1			1,8			10,2		

La escorrentía (Qe) obtenida en cada parcela, depende del número de curva de cada uno de los elementos ecogeomorfológicos, y comienza a fluir cuando la precipitación acumulada supera las abstracciones iniciales, relativas a las capacidades de infiltración de cada uno de esos elementos. El volumen aumenta con la longitud y superficie de la parcela, diferenciándose claramente la parcela 5 de las otras dos.

La emisión de escorrentía se incrementa con la longitud de la parcela, lo que es lógico dado que el área contribuyente es superior. Sin embargo, dependiendo del método de ajuste del hidrograma realizado, aparecerán matices significativos.

De un lado, es el cálculo basado en métodos estrictamente hidrológicos el que genera unos volúmenes totales de escorrentía superiores. Si la parcela de 1 m. emite 0,77 mm., en la de 3 es de 0,99 mm. y en la de 5 de 3,58 mm. Es decir, la de 5 m. emite 4,66 veces más que la de 1 m lo que aparentemente sería lógico dado el método de cálculo empleado.

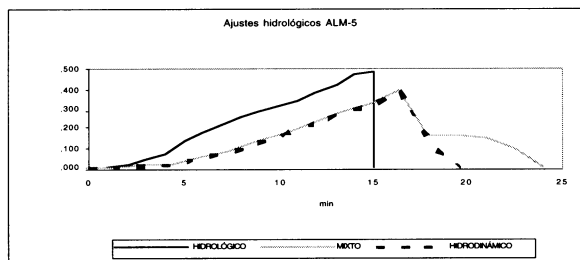
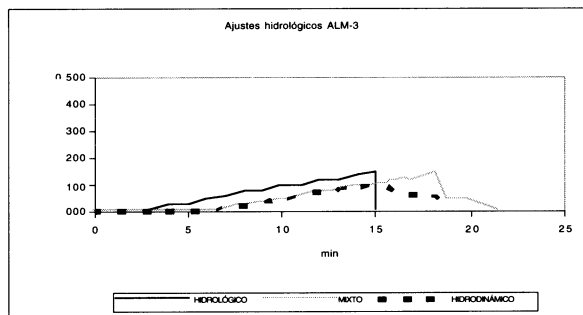
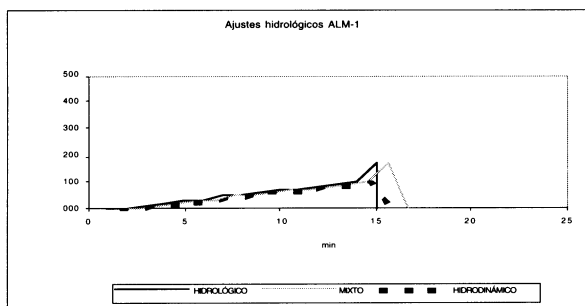
De otro, si modificamos el tiempo de concentración basándonos en los valores observados, y por tanto nos situamos en el modelo mixto, las variaciones no poseen tal ajuste lineal, dado que la parcela de 5 m., solo emite 2,91 veces más escorrentía que la de 1 m.

Por último, al tener en cuenta las reinfiltraciones (F_a) una vez finalizada la precipitación, la parcela de 5 m. emite 3 veces más que la de 1 m.

Así pues, y desde el punto de vista hidrológico –basado en el NC del SCS- y con los 2 diferentes tiempos de concentración utilizados, no existe relación entre los valores esperados y los estimados, dado que supuestamente la parcela de 5 m, debería emitir 5 veces mas que la de 1 m.

Además, la tendencia hacía la emisión de escorrentía de las parcelas consideradas se aprecia, –una vez clasificada la infiltrabilidad obtenida en 5 niveles–, en la existencia de unos porcentajes muy elevados de superficie de cada parcela con mínima infiltrabilidad.

FIGURAS 3, 4 Y 5 HIDROGRAMAS DE LAS PARCELAS SEGÚN LOS AJUSTES HIDROLÓGICOS



El análisis de la morfografía de los hidrogramas obtenidos nos muestra diferencias bastante significativas entre ellos. La respuesta más inmediata en relación al evento considerado siempre se genera atendiendo al modelo estrictamente hidrológico. No solo los volúmenes son superiores, sino que la escorrentía se inicia antes, así como concluye con la finalización del evento.

Al contrario, el modelo mixto, es el que presenta una base de hidrograma más amplia. La escorrentía punta es inferior, pero el desfase en relación al modelo hidrológico es evidente en cualquiera de las situaciones. No obstante, al considerar tal comportamiento hidrológico hemos de aceptar que una vez finalizada la precipitación, sigue fluyendo agua durante un tiempo que supera el 50% de la duración del evento, circunstancia que no parece lógica dado que entonces una parte de la supuesta escorrentía se infiltraría como abstracción continuada. A esta aproximación es a la que hemos denominado hidrodinámica.

En definitiva, y considerando los cálculos hidrológicos basados en el número de curva del SCS, hemos de concluir que los niveles de infiltración son escasos en las parcelas estudiadas. Estamos por tanto, ante áreas fundamentalmente emisoras de escorrentía desde este punto de vista.

4.2. Comportamiento hidrológico como sistema ecogeomorfológico

Esta aproximación al comportamiento hidrológico de las parcelas como sistema ecogeomorfológico, se fundamenta en la metodología propuesta por Lavee et al (2003), en la que según el estado del potencial hídrico del suelo, se le asigna un determinado valor de infiltrabilidad a los diferentes elementos ecogeomorfológicos.

A modo de ejemplo, la máxima infiltrabilidad correspondería a áreas vegetadas de alta densidad, y la mínima, a suelos desnudos encostrados y a zonas con rocas embebidas en el suelo, habiendo entre ambos casos toda una serie de situaciones intermedias.

En esta ocasión, aplicamos el método para el estado potencial en el que se encontraba el suelo antes del evento considerado en el ajuste hidrológico, que era el de punto de marchitez (Pf 4,2), de modo que a cada uno de los elementos de las parcelas, le asignamos una determinada capacidad de infiltración. Así, podemos diferenciar dentro de las parcelas, áreas infiltradoras, emisoras de escorrentía y mixtas, es decir, que a lo largo de un evento lluvioso pueden modificar su comportamiento hidrológico, de escurridor a infiltrador y viceversa. En el cuadro 4, observamos que en las tres parcelas hay un predominio de las áreas infiltradoras. Las parcelas 1 y 3 son las que pueden llegar a generar más volumen de escorrentía en principio, pues un 62,3 y un 88 % de su superficie puede pasar a convertirse en áreas emisoras directas de flujo superficial. Mientras, la parcela 5 tiene un comportamiento más infiltrador, pues aunque el

41,3 % de área mixta pasara a generar escorrentía, no superaría, ni junto a las áreas netamente emisoras, el 56,8 % de área infiltradora permanente.

CUADRO 4
DISTRIBUCIÓN DE LAS ÁREAS INFILTRADORAS, MIXTAS Y
GENERADORAS DE ESCORRENTÍA (A_{QE})

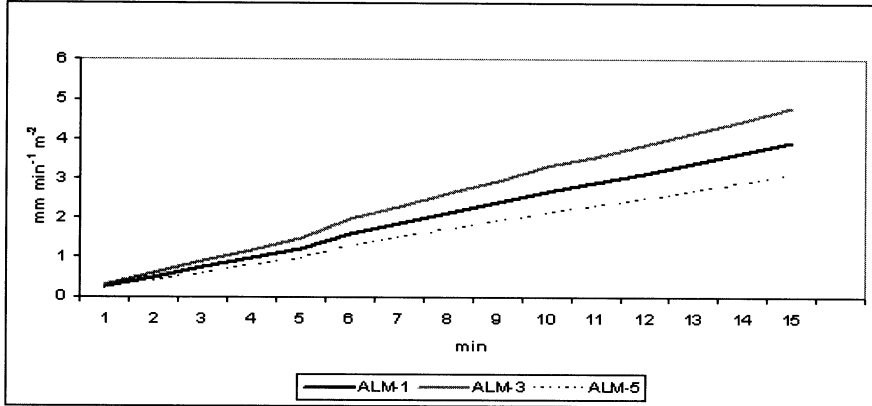
Área (%)	ALM-1	ALM-3	ALM-5
Infiltradora	36,9	11,6	56,8
Mixta	62,3	88,0	41,3
Emisora	0,8	0,3	1,9

Según lo anterior, calculamos a continuación un valor de escorrentía generado por el mismo evento que tuvimos en cuenta en los ajustes hidrológicos, de carácter cualitativo, pues debe tomarse sólo como comparativo. De este modo, calculamos la precipitación caída en cada una de las áreas, y a ello le aplicamos un factor dependiente del grado de infiltrabilidad según el estado hidrológico del suelo anterior a la lluvia. Los valores son muy superiores a los obtenidos en los ajustes hidrológicos, y su evolución temporal (figura 6) muestra que es la parcela 3, la que genera mayor volumen de escorrentía, seguida de la 1 y la 5.

CUADRO 5
EVOLUCIÓN DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA DURANTE LA
PRECIPITACIÓN EN LAS PARCELAS

TIEMPO (min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Pp Acum	0,82	1,64	2,46	3,28	4,1	5,4	6,3	7,2	8,1	9	9,68	10,56	11,44	12,32	13,2
P-1	0,242	0,484	0,726	0,968	1,21	1,594	1,86	2,125	2,391	2,656	2,857	3,117	3,377	3,636	3,896
P-3	0,298	0,595	0,893	1,191	1,488	1,96	2,287	2,613	2,94	3,267	3,514	3,833	4,152	4,472	4,791
P-5	0,192	0,383	0,575	0,767	0,958	1,262	1,472	1,683	1,893	2,103	2,262	2,468	2,674	2,879	3,085

FIGURA 6
HIDROGRAMA DEL AJUSTE ECOGEO MORFOLÓGICO



En definitiva, atendiendo a la propuesta planteada, desde el punto de vista ecogeomorfológico, la respuesta hidrológica de los microambientes de las parcelas es bastante menos emisora que la calculada atendiendo a modelos estrictamente hidrológicos. La casuística es mayor, y pensamos que la variabilidad espaciotemporal también.

La importancia del factor conectividad queda también patente, puesto que precisamente es la parcela más larga, la que menos escorrentía emite. Esto significa que la sucesión de microambientes a lo largo de la ladera conlleva otra en la misma línea de áreas emisoras, infiltradoras, exfiltradoras,... conformando una dinámica hidrológica a lo largo de la ladera extraordinariamente compleja, pero cuyo resultado final, y dependiendo del patrón de la vegetación, puede ser mucho menos "agresivo" del esperado atendiendo a modelos estrictamente hidrológicos.

4.3. Respuesta hidrológica durante las simulaciones de lluvia

Las simulaciones de lluvia han sido realizadas sobre microambientes claramente definidos en las parcelas: suelo desnudo con elevada pedregosidad, suelo cubierto de vegetación herbácea (vegetación terófito), suelo con cubierta de matorral poco densa (*Lavandula stoechas* y *Cistus monpelienensis*) y suelo cubierto de matorral muy denso (*Genista umbellata*), y con una intensidad de 46 mm/m²/hora..

Todas han tenido una duración de 30 min., excepto dos de ellas, una que duró 39 minutos y la otra 20, simulada sobre el mismo lugar que la anterior, a fin de observar las consecuencias hidrodinámicas en suelo próximo a la saturación.

El comienzo de la escorrentía se retrasa conforme se incrementa la cubierta vegetal. En los ambientes de suelo desnudo con elevada pedregosidad, es inferior al minuto, aunque en la simulación sobre suelo húmedo comienza a los tres minutos (cuadro 5). Sobre cubierta herbácea, la escorrentía comienza a los 2'50'', mientras que en la cubierta de matorral poco denso, se retrasa hasta los 7 y 8 minutos, e incluso, no llega a fluir en la simulación sobre matorral denso.

La cantidad de escorrentía emitida en suelo desnudo es superior a la emitida en áreas vegetadas, tanto más dependiendo de las condiciones de humedad del suelo. Es de destacar que el experimento sobre cubierta herbácea alcanzó menos cantidad de escorrentía que uno de los realizados sobre matorral poco denso. La simulación sobre matorral denso, no llegó a emitir escorrentía. Las tasas de escorrentía siguieron un orden similar: mayores en el suelo desnudo, seguidos del matorral poco denso, la cubierta herbácea terófito y el matorral denso.

Otro aspecto importante a considerar es el flujo de desfase tras el final de la precipitación. Así, es en el suelo desnudo, en donde la escorrentía circula más tiempo tras terminar la precipitación, concretamente, dos minutos con niveles superiores a 0,05 mm. En el ambiente de herbáceas terófitas y en uno de los de matorral poco denso, la escorrentía siguió fluyendo durante un minuto tras el fin de la lluvia; mientras, en el otro ambiente de matorral poco denso al terminar la precipitación dejó de emitirse flujo superficial.

La evolución temporal de la escorrentía de los diferentes ambientes (figura 7) puede dividirse en dos grupos: uno, en el que la escorrentía alcanza un pico muy agudo y de elevado volumen al poco de comenzar a fluir, para después ir descendiendo, aunque con la sucesión de máximos y mínimos relativos; y otro, en el que la escorrentía comienza a fluir poco a poco, manteniéndose a lo largo del experimento en unos niveles similares.

Durante las simulaciones hemos insertado en el suelo a 5 cm. de profundidad un sensor TDR TRIME para medir la humedad del mismo, y por consiguiente tener información acerca de su comportamiento hídrico, (figura 8), y ahí se destaca el importante aumento de la humedad del suelo bajo la cubierta herbácea, hasta un 27 %. Tanto en los ambientes de suelo desnudo como en los de matorral poco denso, las diferencias entre los valores iniciales (H_0) y finales (H_{30}) se encuentran alrededor de un 15 %. En el caso de la simulación realizada sobre suelo saturado, las diferencias no superan el dos por ciento, dada la imposibilidad del suelo de mantener y transferir más cantidad de agua.

Durante la simulación, son los ambientes vegetados los más lentos en incrementar la humedad del suelo. Los restantes, mostraron un crecimiento más rápido de la humedad del suelo dado que en los primeros 10 minutos ya habían alcanzado casi su máximo o punto de saturación. El caso de la cubierta herbácea es de destacar, puesto que pasa de apenas un 6 % a más de un 30% de humedad en tan solo 7 minutos, lo cual nos indicaría una importante capacidad de transferencia hidrológica del suelo.

En el matorral, las diferencias iniciales y finales de la humedad del suelo son tan sólo de 10,9 %, sin embargo, lo relevante es que ha sido el único ambiente en el que transcurridos diez minutos una vez finalizada la lluvia, aumentaba su humedad a 20,9 %, mostrando una vez más el papel de regulador hidrológico de este tipo de ambientes. El resto de ambientes mostraron un descenso en sus valores de humedad edáfica tras la finalización del evento, entre 0,6 y 6,8 puntos.

CUADRO 6
RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES DE LLUVIA

Ambiente	T Pp (min)	Pp (mm)	Inicio Qe	Qe tot (l)	Tasa Qe(l min ⁻¹)	% Qe / Pp	H ₀	H ₃₀	H ₄₀	? max
Suelo desnudo con elevada pedregosidad superficial	30	23	50''	2,954	0,102	12,8	10,3	23,1	18,6	12,7
Suelo desnudo con elevada pedregosidad superficial	39	29	33''	0,256	0,007	0,9	15,4	30,7	30,1	15,3
Suelo desnudo con elevada pedregosidad superficial	20	8	3'00''	0,888	0,052	11,1	29,9	30,2	27,4	1,3
Vegetación herbácea terófito	30	23	2'50''	0,998	0,037	4,3	6,3	33,5	26,7	27,2
Vegetación alta densidad (matorral)	30	23	8'00''	0,635	0,03	2,8	16,3	30,3	25,7	14
Vegetación baja densidad (matorral)	30	23	7'00''	0,254	0,011	1,1	10,3	27,8	25,4	17,5
Vegetación alta densidad (matorral)	30	23		0	0	0,0	10,1	19,1	20,9	10,8

FIGURA 7
ESCORRENTÍA GENERADA EN LAS SIMULACIONES DE LLUVIA

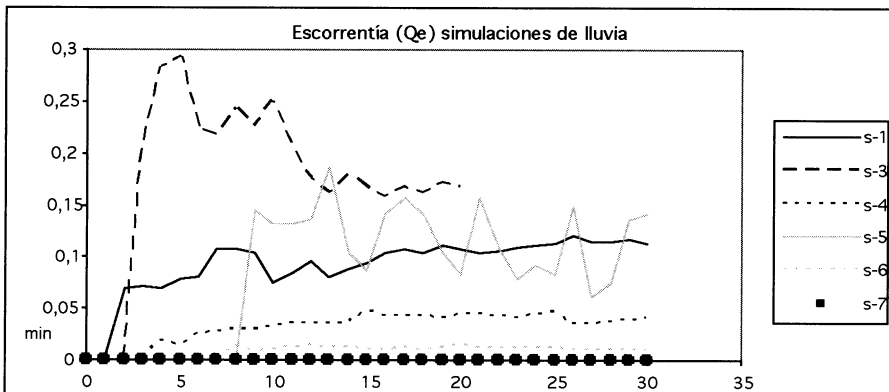
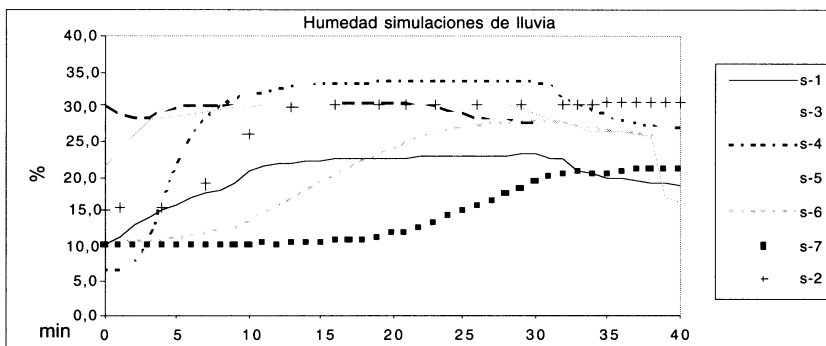


FIGURA 8
EVOLUCIÓN DE LA HUMEDAD DURANTE LAS SIMULACIONES
DE LLUVIA



4.4. Comportamiento hidrológico observado en las parcelas experimentales

Desde septiembre a diciembre de 2003 se han contabilizado un total de 13 eventos pluviométricos. Tras cada uno de ellos ha sido medida la escorrentía generada –allí donde se produjo- para cada una de las parcelas. Su respuesta hidrológica fue variada, (cuadro 7), y no en todos los casos se produjo generación de escorrentía ni en todas las parcelas. Asimismo, a lo largo de este periodo de lluvias, hemos seguido la evolución de la humedad del suelo en los primeros 15 cm., que lógicamente se ha incrementado en la medida en la que el suelo pasó de la condición hídrica de punto a marchitez a la de capacidad de campo.

La pluviometría total recogida en las parcelas de la ladera de Almogía, fue de 418,3 l m⁻², desde el 30 septiembre al 10 de diciembre de 2003. Durante este periodo, hemos recogido en los depósitos de las tres parcelas los siguientes volúmenes de escorrentía: 34,40 l m⁻² en la ALM-1, 41,09 l m⁻² en la ALM-3 y 21,16 l m⁻² en la ALM-5. Esto supone que en la parcela de 1 m, el 8,2 % de la precipitación se convirtió en flujo superficial, en la de 3 m, el 9,8 %, y en la de 5 m, el 5,1 %. No obstante, si tenemos en cuenta exclusivamente los eventos que generaron escorrentía, el volumen de precipitación queda en 357,3 l m⁻², aumentando la escorrentía relativa a más del doble: ALM-1 = 19,3 %; ALM-3 = 23,0 %; y ALM-5 = 11,8 %. Por tanto, en términos globales, podemos decir que la parcela más escurridora es la de 3 m., seguida de cerca por la de 1 m., mientras que la de 5 m., se comportó como más infiltradora. Esta circunstancia nos induce a pensar en la existencia de mecanismos de conectividad a lo largo de la parcela de mayor longitud, de la misma forma que ya ha sido planteado desde otras aproximaciones.

CUADRO 7
ESCORRENTÍA GENERADA EN LAS PARCELAS DURANTE LOS
PERIODOS LLUVIOSOS (SEP-DIC 2003)
EVENTOS

Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Pp (l m ⁻²)	6,0	2,0	24,0	6,0	13,0	122,4	19,0	3,0	27,0	34,0	18,0	111,9	32,0	
Int Pp máx (l h ⁻¹)	18	3,6	22,8	3,6	27,8	66	28,8	2,4	36	19,2	10,8	27,6	20,4	
Humedad suelo (%)	1,4		1,8			6,8		9,5		10,3				
Esc (l m ⁻²)	ALM-1	0,00	0,00	0,99	0,63	3,20	18,50	0,08	0,00	6,00	0,44	0,00	4,50	0,06
	ALM-3	0,01	0,00	4,75	0,62	3,50	12,50	0,41	0,00	6,50	2,00	0,55	10,25	0,00
	ALM-5	0,00	0,00	0,46	0,08	1,02	8,50	0,10	0,00	2,55	0,29	0,00	8,16	0,00
% Esc/Pp	ALM-1	0,0	0,0	4,1	10,5	24,6	15,1	0,4	0,0	22,2	1,3	0,0	4,0	0,2
	LM-3	0,2	0,0	19,8	10,3	26,9	10,2	2,2	0,0	24,1	5,9	3,1	9,2	0,0
	ALM-5	0,0	0,0	1,9	1,4	7,8	6,9	0,5	0,0	9,4	0,8	0,0	7,3	0,0

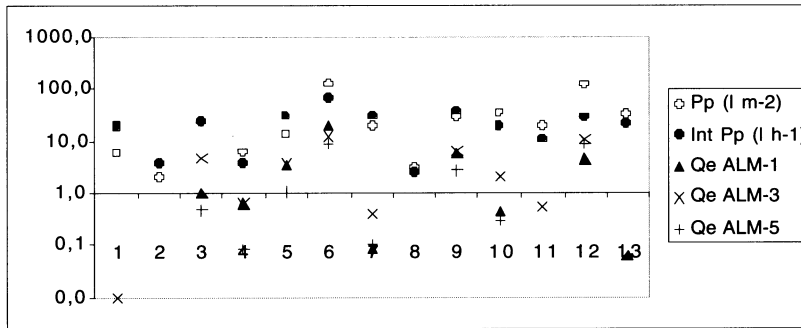
Fuente: Elaboración propia.

Los valores de escorrentía varían con el volumen de la precipitación, intensidad, longitud y superficie de las parcelas. La parcela de 1 m ha emitido escorrentía durante el mes de octubre (eventos del 3 a 7), alcanzando un máximo de 18,5 l m⁻² en el evento 6, durante el cual se registraron un total de 122,4 l m⁻² de precipitación, con una intensidad máxima de 66 l h⁻¹. Sin embargo, el mayor porcentaje de escorrentía emitida por esta parcela respecto al total pluviométrico, no se corresponde con el valor absoluto anterior; el valor relativo máximo lo alcanzó durante el evento 5, en el que con sólo 13 l m⁻² de precipitación y 27,8 l h⁻¹ de intensidad máxima, originó 3,2 l m⁻² de escorrentía, lo que suponía casi un 25 % del volumen de agua precipitada.

En la parcela de 3 m., el máximo absoluto de escorrentía también se recogió tras el evento 6, aunque seguido de cerca por la escorrentía del evento 12, donde la pluviometría total superó también los 100 l m⁻². En cuanto a sus valores relativos, ha sido también durante el evento 9, cuando más de una cuarta parte de la precipitación (26,9 %), se transformó en escorrentía superficial. Para la parcela de 5 m. (ALM-5), son los eventos 6 y 12 también los generadores de mayores volúmenes absolutos, superiores a los 8 l m⁻², y el evento 9 el que mayor porcentaje de la precipitación como escorrentía, aunque sin superar el 10 %.

En cualquier caso, la parcela de 5 m ha sido la menos emisora a lo largo del periodo considerado.

FIGURA 9
ESCORRENTÍA DE LAS PARCELAS GENERADA DURANTE LOS PERIODOS LLUVIOSOS (SEP-DIC 2003)



Fuente: Elaboración propia.

La relación entre la escorrentía generada en cada una de las parcelas y el volumen e intensidad de precipitación ha sido analizada mediante la aplicación del coeficiente de correlación de Pearson (cuadro 8). Dicha relación es elevada y aumenta con la longitud de la parcela, alcanzando el 96 % en la parcela de 5 m. En la misma línea encontramos la relación entre la escorrentía y la intensidad de la precipitación, aunque en este caso el orden es inverso: la relación se reduce al aumentar la longitud de la parcela.

CUADRO 8
RELACIÓN DEL VOLUMEN DE ESCORRENTÍA
CON EL VOLUMEN E INTENSIDAD DE LA PRECIPITACIÓN

Parcela / longitud (m)	Pp (l m ⁻²)	Int (l h ⁻¹)
ALM-1	0,79	0,88
ALM-3	0,90	0,82
ALM-5	0,96	0,74

5. CONCLUSIONES

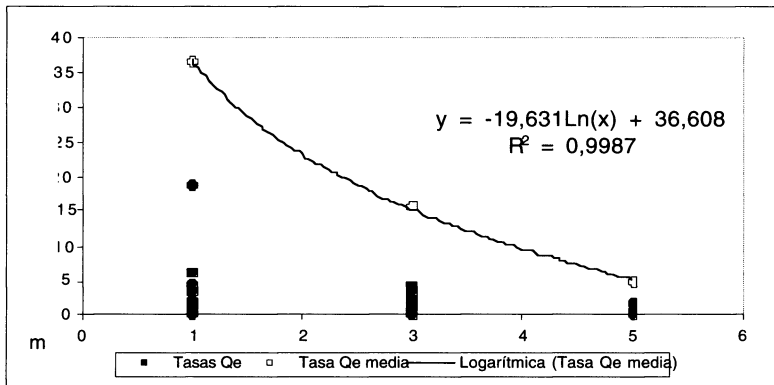
Tras los diferentes ajustes realizados, hemos de plantear algunas reflexiones en relación al comportamiento hidrológico de los microambientes seleccionados.

1. Es indudable que en términos generales la vegetación –con independencia de su densidad- juega un importante papel. Retrasa la iniciación de los procesos de escorrentía y regula su dinámica durante los eventos.

2. Siendo el suelo desnudo, encostrado o no, el microambiente más emisor, la humedad del mismo en el momento de inicio de la precipitación tiene una relevancia especial en los mecanismos de generación de escorrentía.

3. No existe un comportamiento lineal positivo entre la longitud de las parcelas y su tasa de escorrentía. El ajuste es inverso, de tal forma que las tasas de escorrentía se reducen conforme se incrementa la longitud de la parcela. La relación atiende a una función logarítmica en los valores medios de las tasas de cada una de las parcelas, alcanzando un coeficiente de correlación de Pearson de 0,9987. De este modo, a mayor longitud, menor tasa de escorrentía, lo que hay que poner en relación con la conectividad de flujos a lo largo de laderas y a los procesos de infiltración en ámbitos mediterráneos, puesto ya de manifiesto por diversos autores.

FIGURA 10
RELACIÓN ENTRE LONGITUD Y TASA DE ESCORRENTÍA



4. Los métodos de estimación utilizados basados en la aplicación del número de curva del SCS presentan resultados variables. El método hidrológico basado en el cálculo del hidrograma mediante la aplicación de la ecuación de California parece poco válido a estas escalas de análisis, porque presenta una inmediata respuesta, tanto con el inicio de la precipitación como con su cese, además de un pico elevado, (cuadro 9). El mixto, tiene un mayor ajuste a las condiciones naturales observadas en las laderas, sin embargo, la no consideración de la abstracción continuada tras la finalización de la precipitación, dota al hidrograma de un exceso de base. Por ello, parece que dentro de estos méto-

dos, el que más se ajusta a la situación real es el hidrodinámico, dado que al considerar la abstracción continuada, la reinfiltración es mayor y por consiguiendo el ajuste con las condiciones naturales.

CUADRO 9
RELACIÓN ENTRE ESCORRENTÍA ESTIMADA Y OBSERVADA
EN CADA PARCELA

Método	ALM-1		ALM-3		ALM-5	
	E	O	E	O	E	O
Hidrológico	0,772	0,772	2,317	0,996	3,862	3,580
Mixto	0,772	0,772	2,317	2,117	3,862	2,249
Hidrodinámico	0,541	0,541	1,623	1,246	2,705	1,807
Ecogeomorfológico	3,89	3,89	11,67	4,79	19,45	3,08
Qe eventos	1,995	1,995	5,985	1,348	9,975	0,917

5. Las estimaciones de escorrentía basadas en lo que hemos denominado "procedimiento geomorfológico" evidencia una mayor dinámica dentro de la ladera, de tal forma que las tasas calculadas van descendiendo con el incremento de la superficie de la parcela considerada.

6. Las simulaciones realizadas en los microambientes considerados han puesto de manifiesto que las áreas desnudas generan mayor escorrentía, al contrario que las vegetadas, y especialmente la importancia que ejerce la humedad del suelo en la variabilidad espaciotemporal de los procesos de escorrentía.

7. Los datos obtenidos de las parcelas experimentales muestran que existe una mayor correlación entre precipitación y escorrentía resultante, conforme se incrementa la longitud de la parcela, y una mayor variabilidad conforme el tamaño es menor. Por el contrario, si consideramos la intensidad de la precipitación, conforme ésta aumenta, la respuesta hidrológica de inicio es mayor en las parcelas de inferior tamaño.

8. Por último, dadas las longitudes de las parcelas analizadas hemos de concluir que se pone de manifiesto la existencia de procesos de conectividad hidrológica en la medida en que no existe relación entre los valores esperados y los observados entre los distintos métodos analizados, (cuadro 8).

BIBLIOGRAFÍA

- BERGKAMP, G.: "A hierachical view of the interactions of runoff and infiltration with vegetation and microtopography semiarid shrublands". *Catena* 33, 1998, 201-220.
- BERGKAMP, G., CERDÁ, A., IMESON, A.C.: "Magnitude-frecuency analysis of water redistribution along a climate gradient in Spain". *Catena* 37, 1998, 129-146.
- BOIX-FAYOS, C., CALVO-CASES, A., IMESON, A.C., SORIANO-SOTO, M.D., TIEMESSEN, I.R.: "Spatiaal and short-term temporal variations in runoff, soil aggregation and other soil properties along a mediterranean climatological gradient". *Catena* 33, 1998, 123-138.
- CALVO, A., BOIX, C. y IMESON, A.C.: "Runoff generation, sediments movement and soil water behaviour on calcareous (limstone) slopes of Mediterranean enviroments in southeast Spain". *Geomorphology* 50, 2003, 269-291.
- CERDÁ, A., IBÁÑEZ S, Y CALVO, A.: "Design and operation of a small and portable rainfall simulator for rugged terrain", *Soil Technology* 11, 1997, 163-170.
- CERDÁ, A.. "Seasonal changes of the infiltration rates in a Mediterranean scrubland on limestone", *Journal of Hydrology* 198, 1997, 209-225.
- HUANG, Ch.: "Sediment regimes under different slope and Surface hydrologic conditions", *Soil Science society of America* 62, 1998, 423-430.
- HUANG, C., GASCUEL-ODOUX, C., CROS-CAYOT, S.: "Hillslope topographic and hydrologic effects on overland flow and erosion", *Catena* 46, 2001, 177-188.
- IMESON, A.C. AND LAVÉE, H.: "Soil erosion and climate change: the transect approach and the influence of scale", *Geomorphology* 23, 1998, 219-227.
- KOSMAS, C., DANALATOS, N., CAMMERAAT, L.H., CHABART, M., DIAMANTOPOULOS, J., FARAND, R., GUTIERREZ, L., JACOB, A., MARQUES, H., MARTINEZ-FERNANDEZ, J., MIZARA, A., MOUSTAKAS, N., NICOLAU, J.M., OLIVEROS, C., PINNA, G., PUDDU, R., PUIGDEFABREGAS, J., ROXO, M., SIMAO, A., STAMOU, G., TOMASI, N., USAI, D., VACCA, A.: "The effect of land use on runoff and soil erosion rates under Mediterranean conditions", *Catena* 29, 1997, 45-59.
- KULITEK M. & NIELSEN D.R.: *Soil Hydrology*. Geo ecology. Text Book. 1994.
- LAVÉE, H, IMESON, A.C, SARAH, P.: "The impact of climate change on geomorphology and desertification along a Mediterranean - arid transect", *Land Degradation and Development* 9, 1998, 407-422.
- MINTEGUI-AGUIRRE, J.A. y LÓPEZ-UNZU, F.: *La ordenación agrohidrológica en la planificación*, Vitoria 1990.
- PÉREZ-LATORRE, A., NIETO CALDERA, J. M. Y CABEZUDO, B.: "Datos sobre la vegetación de Andalucía III. Series de vegetación caracterizada por *Quercus suber* L.", *Acta Botánica Malacitana* 19, 1994, 169-183. Universidad de Málaga.
- RUIZ-SINOGA, J.D., DELGADO, J.J., MARTÍNEZ-MURILLO, J.F., GALÁN, O., GALLEGOS, A., NOGUERA, M.J., MÁRQUEZ, J., LUCAS, N., BUENO, F., CALVO, L., NAVARRO, M., RAMÍREZ, G., RUIZ, E., ROMERO, A.: "Métodos para la estimación de la escorrentía en vertientes de litología no acuifera en ámbitos mediterráneos", *Baética* 24, 2002, 149-192.

- RUIZ-SINOVA, J.D., DELGADO, J.J., MARTÍNEZ-MURILLO, J.F., GALLEGOS, A., NOGUERA, M.J., MÁRQUEZ, J., LUCAS, N., ROMERO, A. "Variabilidad de los procesos de generación de escorrentía en laderas bajo condiciones mediterráneas", *Baética* 25, 2003, 279-311.
- SMITH, D.B., WEARN, H.J.: "Water movement in the unsaturated zone of high and low permeability strata", International Atomic Energy Authority, Vienna, 73-81. 1970.
- USÓN, A y RAMOS MC.. "A improved rainfall erosivity index obtained from experimental interrill soil losses in soils with a Mediterranean climate". *Catena*, 43. 2001, 293-305.
- VEN TE CHOW *et alii*: *Hidrologia aplicada*, Mc Graw Hill, Londres 1994.
- WARD R.C. & ROBINSON M.: *Principles of hydrology*, Mc Graw Hill, Londres 2000.
- YAIR, A. LAVEEH, H.: "Runoff generation in arid and semiarid zones". Anderson M.G. & Burt, T. P.: *Hydrological Forecasting*, 183-220. John Willey and sons LTD. 1985.