

FACTORES QUE CONTROLAN LA ESCORRENTIA EN UNA ZONA SEMIARIDA SOBRE MICAESQUISTOS

J. PUIGDEFABREGAS *
A. SOLE *
R. LAZARO *
J.M. NICOLAU *

RESUMEN: En el marco de los proyectos MEDALUS (Mediterranean Desertification and Land Use) y LUCDEME y con la finalidad de determinar parámetros hidro-geo-ecológicos y modelizar procesos naturales, se están llevando a cabo determinaciones del escurrimiento superficial, transporte de sedimentos así como la cuantificación y análisis de la lluvia en parcelas de erosión, en una zona semiárida de la provincia de Almería, en una pequeña cuenca de la vertiente sur de Filabres.

Se presentan los resultados relativos al escurrimiento superficial durante los 4 meses iniciales del proyecto en 10 de estas parcelas instaladas en laderas con pendientes entre el 12,5 % y el 45%, en antiguos campos de cultivo abandonados colonizados por *Anthyllis cytisoides* y *Stippa capensis* con recubrimientos entre el 20 y el 90%.

La generación de escorrentía muestra en los 11 eventos estudiados una considerable variabilidad.

La intensidad de la lluvia y el volumen precipitado por evento controlan significativamente y de forma directa la escorrentía. La humedad antecedente del suelo también la controla significativamente, si bien con efecto inverso.

* Estación Experimental de Zonas Áridas (CSIC). C/. General Segura, 1. 04001 Almería.

Asímismo las interacciones entre el factor "intensidad de la lluvia" y los factores "cobertura vegetal", "pendiente", "grado de acostamiento superficial", y "cantos superficiales" explican significativamente la variable escorrentía: para intensidades de lluvia > 6 mm, la cobertura vegetal disminuye la escorrentía, mientras que los cantos superficiales y el acostamiento superficial contribuyen a aumentarla.

Palabras clave: escorrentía, parcelas de erosión, intensidad de la lluvia, costas, cobertura vegetal, cantos superficiales, ANOVA.

ABSTRACT: Within the framework of the projects MEDALUS (Mediterranean Desertification and Land Use) and LUCDEME (Lucha contra la desertificación en el Mediterráneo) and in order to ascertain hydro-geo-ecological parameters and to model natural processes, runoff determinations, sediment budgets and rain analysis are being carried out in 10 runoff plots, in a small catchment in the southern, semi-arid slopes of Filabres, in Almería (South-east Spain).

We present the first results from 10 runoff plots located in abandoned fields on slopes with grades from 12.5% to 45%, and with a plant cover between 20 and 90% of the shrub *Anthyllis cytisoides* and the annual *Stippa capensis*, during the first four months of the project in which 11 events were recorded.

The role of rain intensity, soil humidity, slope gradient, plant cover and soil surface characteristics on runoff and sediment production are discussed. For rain intensities > 6 mm/h, plant cover and antecedent soil humidity influence runoff in a negative way, while shale fragments and crusting are factors controlling runoff positively.

Key words: Runoff plot, rain intensity, crust, shale fragments, plant cover, ANOVA.

INTRODUCCION

La generación de escorrentía resulta de la compleja interacción de una serie de factores hidrológicos. En las zonas áridas se ha dicho que éstos son más simples debido a que abundan las superficies relativamente desnudas, por lo que parece que las variaciones litológicas y la naturaleza de las precipitaciones son los factores esenciales que la controlan, SCOGING (1989).

Sin embargo, los procesos de infiltración y de humectación que controlan el inicio, la magnitud y la distribución espacial de la escorrentía no son tan simples como pudiera parecer. En efecto, en las zonas áridas la infiltración y la escorrentía parecen controladas en un alto grado por factores edáficos que provocan cambios en el estado

de la superficie: acostamiento físico y químico, hinchamiento de las arcillas y contracciones por evaporación, entre otros, SCOGING (1989).

En el año 1991 se inició el proyecto "Erosión y colonización vegetal en campos abandonados" integrado en el LUCDEME que pretende analizar la evolución de áreas de cultivo abandonadas desde el punto de vista hidrológico, geomorfológico y de sucesión vegetal, PUIGDEFABREGAS (1991). El presente trabajo constituye una aportación preliminar que presenta los primeros resultados sobre las relaciones precipitación/escorrentía durante los primeros meses de funcionamiento de las 10 parcelas instaladas.

MATERIALES Y METODOS

La zona de estudio está en el tramo inferior de la rambla Honda, en la vertiente sur de la Sierra de Filabres (Almería), cuyas laderas están constituidas por micaesquistos negros granatíferos y grafitosos con depósitos aluviales en forma de abanico al pie.

La vegetación natural dominante es un matorral mediterráneo con un estrato herbáceo fundamentalmente de terófitos, dominado por *Stipa capensis*. En el fondo de la rambla y en la mayor parte de los abanicos es dominante el nanofanerófito *Retama sphaerocarpa* (retama); en la parte alta de los conos y baja de las laderas, así como en los claros con alguna acumulación de suelo o correspondientes a antiguos cultivos, en cualquier posición en la ladera, domina el caméfito *Anthyllis cytisoides* (albaida) y, en el resto de la ladera, así como en sus partes bajas cuando son abruptas y rocosas, domina el hemicriptófito *Stipa tenacissima* (esparto).

El clima de la zona es típicamente semiárido: P anual de 225 mm y T media anual de 17,8 °C (datos de 25 años de la estación próxima de Tabernas). Según los datos climáticos de LAZARO y REY (1990) las precipitaciones medias anuales en Rambla Honda estarían en torno a los 300 mm y las temperaturas en torno a los 16 °C.

Se han instalado 10 parcelas de 8m de largo y 2 de ancho para la recogida de escorrentía y sedimentos en campos abandonados situados sobre un abanico aluvial (3 parcelas), con pendientes inferiores al 30% y sobre formaciones coluviales a lo largo de una ladera, con pendientes superiores al 30% (7 parcelas). Cada parcela se ha equipado con un pluviómetro tipo Hellman de 110 mm de diámetro con la finalidad de controlar la variabilidad espacial de la lluvia.

Los parámetros de caracterización de cada parcela fueron las siguientes: pendiente, porcentaje de cobertura vegetal total y arbustiva, porcentaje de gravas, cantos y piedras superficiales y superficie relativa ocupada por costras superficiales. Los datos correspondientes a estos parámetros se resumen en la tabla 1. Todos estos parámetros se utilizan en el análisis estadístico para conocer su relación con la variable escorrentía.

La humedad del suelo se registra semanalmente a dos profundidades en tres puntos adyacentes a cada parcela de erosión, mediante el método gravimétrico. Se dispone de datos desde el 13 de febrero de 1991 (fig 1).

Tabla 1. Características fundamentales relativas a la superficie de cada parcela.

Parcelas	Pendiente (%)	Vegetación (%)	Arbustos (%)	^{Elementos} Cimientos gruesos	Gravas (%)	Cantos (%)	Piedras (%)	Costra (%)
P 1	12,5	40	5	80	40	20	10	10
P 2	21	65	5	90	65	25	10	5
P 3	27,5	20	15	80	40	40	20	20
P 4	29	40	15	50	50	40	10	40
P 5	33	70	5	60	60	20	20	10
P 6	28	70	5	80	60	30	10	20
P 7	41	90	10	60	50	30	35	15
P 8	23	75	10	85	60	30	10	10
P 9	35	80	10	30	20	20	60	2
P10	45	80	25	45	20	30	50	4

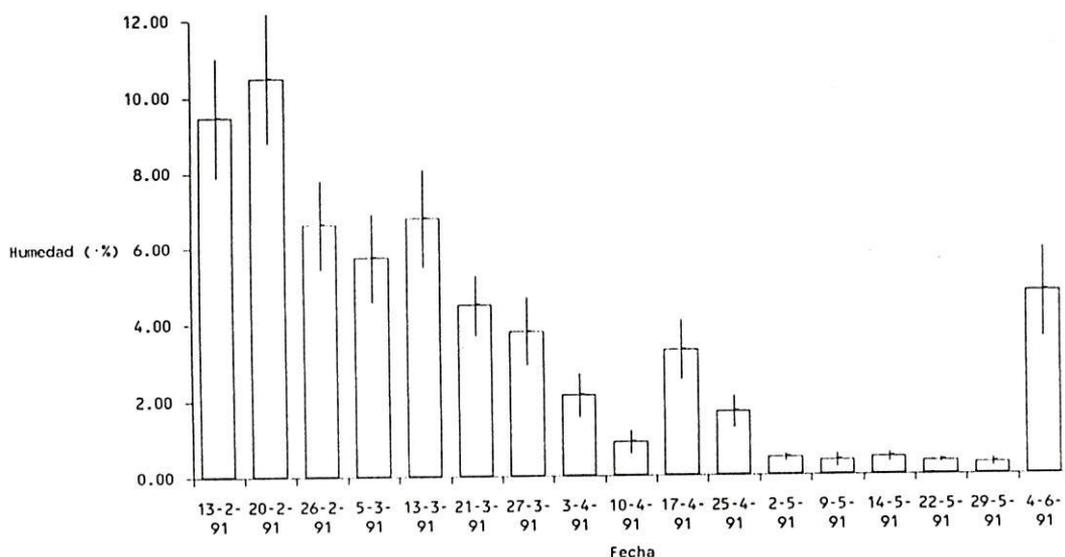


Figura 1. Humedad del suelo a 15 cm.

RESULTADOS Y DISCUSION

Desde el 12 de febrero de 1991 hasta el 3 de junio de 1991, se han recogido en el pluviógrafo de la estación 136 mm en 17 eventos (fig. 2), lo que representa casi la mitad anual. Los tres eventos superiores a 15 mm representan el 50% del total de este período y los 5 eventos superiores a 10 mm representan el 66%, lo que indica la poca cantidad de lluvia en los demás. En la tabla 2 se incluyen las duraciones de los eventos y las intensidades medias y máximas registradas.

La tabla 3 contiene los datos detallados de los pluviómetros de cada parcela para los 11 eventos considerados útiles. Se comprueba la variabilidad espacial de la lluvia a lo largo de la ladera así como tendencias altitudinales en algunos eventos. La desviación típica de la pluviometría en las parcelas en casi todos los eventos es inferior a 1 mm.

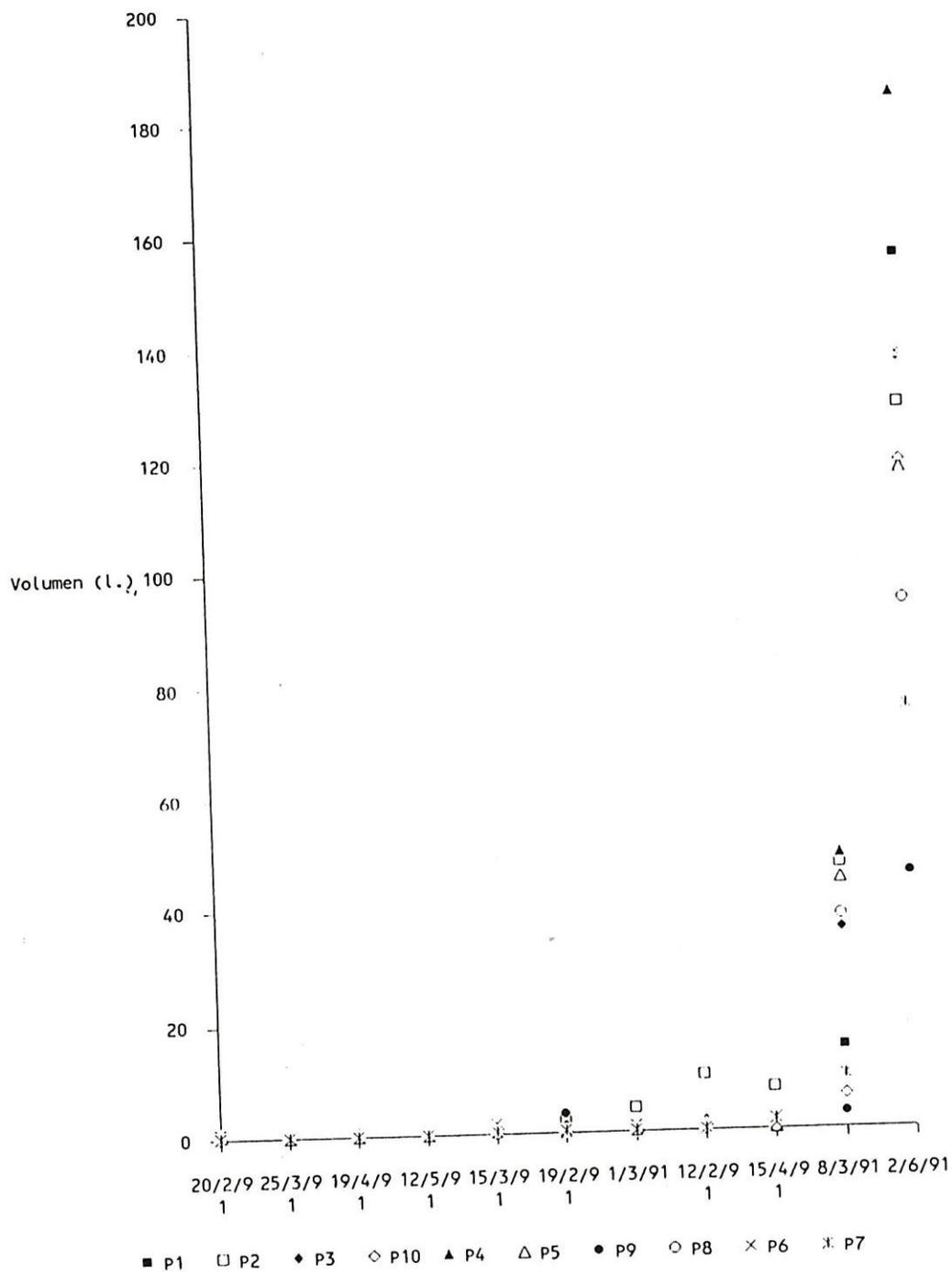


Figura 2. Tasas de escorrentía en orden creciente.

La figura 3 registra, ordenadas de menor a mayor, las tasas de escorrentía de todos los eventos. La contribución de los dos eventos de mayor precipitación representa entre el 73% y el 95%, según las parcelas, del total escurrido (tabla 4). Estos resultados concuerdan con los citados por SEUFFERT (1988) en Cerdeña y por otros autores trabajando en el área mediterránea.

Tabla 2. Datos de precipitación (pluviógrafo)

Fechas	Duración (h)	Lluvia total (mm)	Intensidad media (mm/h)	Intensidad máxima (mm/h)
12/2/91	10	11,5	1,15	3
18/2/91	5	3,5	0,7	1,5
20/2/91	18	17,5	1	2
26/2/91	4	5,5	1,37	4
1/3/91	2	4	2	3,5
7/3/91	17	26	1,52	5,5
8/3/91	7	3,5	0,5	1,5
14/3/91	14	11	0,78	2
23/3/91	8	4	0,5	1,5
14/4/91	3	8	2,67	4
18/4/91	4	4,5	1,12	2
21/4/91	2	1	0,5	0,5
24/4/91	2	1	0,5	0,5
11/5/91	5	1,5	0,3	0,5
31/5/91	1	2	2	2
1/6/91	2	8	4	6,5
2/6/91	4	23,5	5,87	14

Tabla 3. Secuencia altitudinal de la pluviometría (l/m²)

Parcelas	(Parcelas ordenadas en altitud creciente)										
	12/2/91	19/2/91	20/2/91	1/3/91	8/3/91	15/3/91	25/3/91	15/4/91	19/4/91	12/5/91	2/6/91
P 1	9,58	11,32	6,27	8,28	24,56	9,32	3,40	6,01	4,36	2,61	28,75
P 2	9,58	11,76	6,27	8,19	24,56	9,58	3,66	6,01	4,53	3,48	29,18
P 3	9,58	11,32	6,10	7,84	24,39	9,32	3,48	5,75	3,92	3,48	29,18
P10	8,71	11,50	6,10	7,40	24,39	9,15	3,57	5,40	4,36	2,18	30,05
P 4	9,58	11,50	5,66	7,84	24,48	8,80	3,48	5,05	4,36	2,18	29,18
P 5	9,32	11,32	5,40	6,97	25,09	8,28	3,22	5,05	4,36	3,05	28,31
P 9	7,58	11,32	5,31	6,71	26,13	7,84	3,05	8,19	3,92	2,61	27,87
P 8	9,41	12,02	5,23	6,97	25,70	8,45	3,92	5,31	4,79	3,48	23,52
P 6	9,50	11,50	5,30	6,70	25,70	8,71	3,05	5,40	4,36	2,18	23,52
P 7	9,58	11,24	5,31	6,53	25,70	8,28	3,14	5,84	4,36	2,18	21,78

Tabla 4. Datos anuales de escorrentía.

Parcelas	Volumen total (litros)	Tasa escorr. (mm)	Coef. escorr. (%)	% 2 event. mayores
P 1	171,20	10,70	3,61	92,15
P 2	201,71	12,61	5,65	73,35
P 3	179,77	11,24	4,23	91,94
P10	126,21	7,89	2,80	91,60
P 4	236,70	14,79	5,44	94,44
P 5	167,45	10,47	4,04	97,59
P 9	54,52	3,41	1,54	75,17
P 8	132,18	8,26	3,27	95,79
P 6	225,93	14,12	5,92	91,26
P 7	88,47	5,53	2,74	90,35

La evolución de los coeficientes de escorrentía (fig.3) a lo largo de los distintos eventos sigue una pauta similar a la de los totales recogidos. De los 11 eventos registrados, en la mayoría apenas se alcanzan coeficientes de escorrentía del 5% y sólo en 2 eventos los coeficientes superan el 10%, alcanzándose un máximo del 41%.

La figura 4 pone de manifiesto que sólo a partir de precipitaciones superiores a 20 - 25 mm se generan volúmenes significativos de escorrentía. Los eventos lluviosos inferiores a 5 mm no son capaces de producir escorrentía, mientras que los intermedios, entre 5 y 20 mm, dan lugar a escorrentías muy débiles, inferiores a 2 mm.

El análisis de la varianza llevado a cabo para explicar las variaciones registradas por los coeficientes de escorrentía con los distintos factores característicos de cada parcela (tabla 5) ha revelado lo siguiente:

La "intensidad máxima de la lluvia" en primer lugar, el "volumen de precipitación" caído en un evento en segundo lugar, la humedad antecedente del suelo en tercer lugar y finalmente la duración de los eventos lluviosos, controlan por sí solos significativamente la variable escorrentía.

A mayor intensidad y volumen precipitado, mayor escorrentía. En cambio la escorrentía es tanto menor cuanto mayor es la humedad antecedente del suelo.

Del mismo modo, la interacción entre el factor "volumen de la precipitación" y "humedad del suelo", explica significativamente la variable escorrentía: para precipitaciones superiores a 5 mm, a mayor humedad antecedente del suelo menor escorrentía.

La influencia negativa de la humedad antecedente en la escorrentía debe considerarse con reservas debido a que durante este período inicial del experimento, los dos eventos lluviosos que generaron mayor escorrentía tuvieron lugar sobre suelos relativamente secos, por lo que su peso en el ANOVA podría haber condicionado los resultados. Por otro lado, el hecho de no contar con datos de humedad continuos nos impide saber exactamente la humedad antecedente en el momento de producirse la precipitación de máxima intensidad dentro de cada evento.

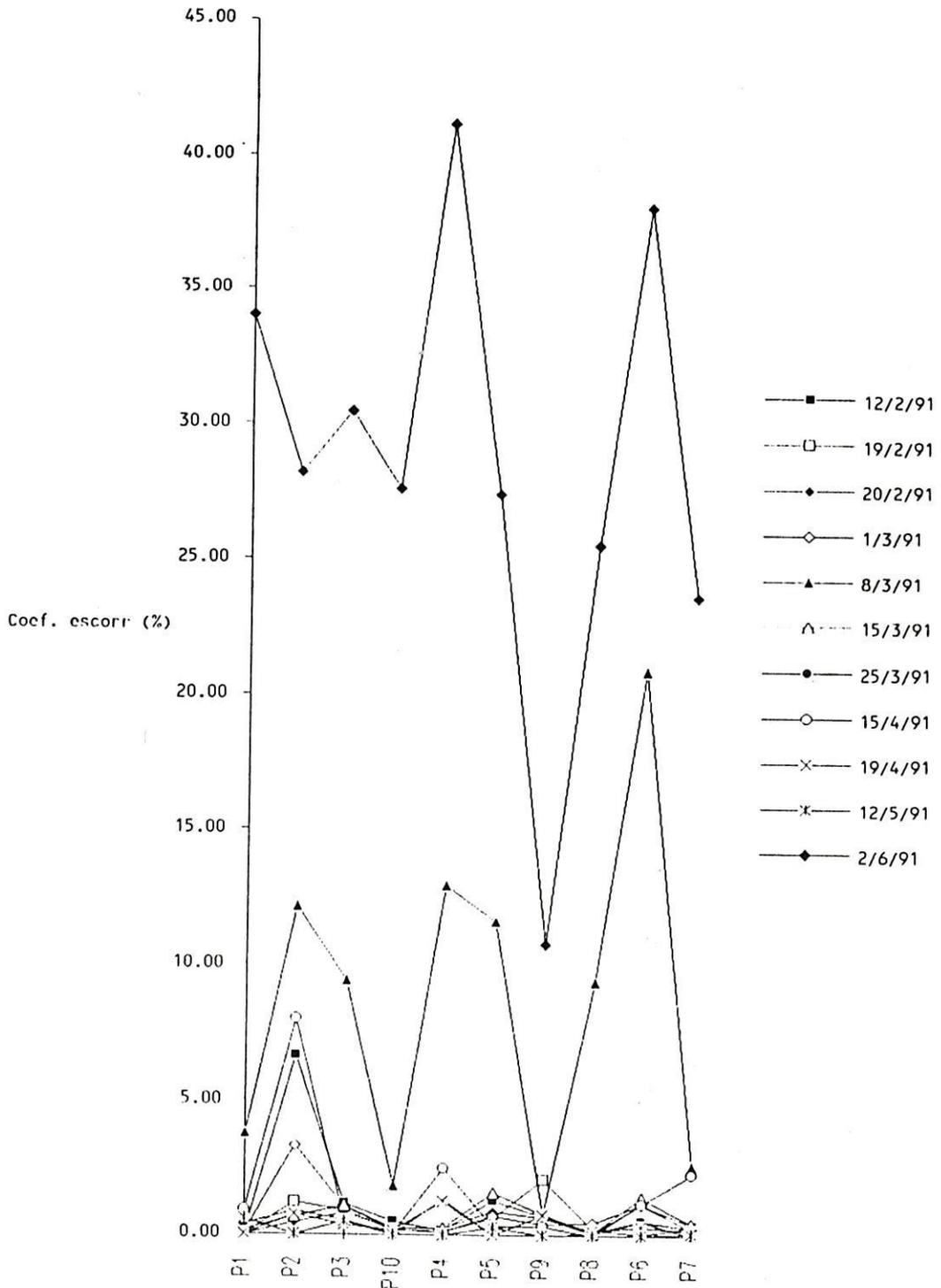


Figura 3. Coeficientes de escorrentía.

Tabla 5. Resultados Anova.

Factor	categorías		valores	medias	ANOVA
Intensidad Lluvia (mm/h)	1		< 3	0,52	GL = 2 F = 354,21 P > 0,0000
	2		3,1-6	3,99	
	3		> 6	30,31	
Volumen Lluvia	1		0-10	0,7	GL = 1 F = 70,87 P > 0,0000
	2		> 10	13,44	
Duración Lluvia (h)	1		0-3	1,18	GL = 3 F = 4,18 P > 0,0077
	2		3,1-5	7,8	
	3		5,1-10	0,77	
	4		> 10	3,6	
Humedad Suelo (%)	1		0-3	9,03	GL = 3 F = 5,14
	2		3,1-5	2,31	
	4		> 8	0,55	
1.º factor	2.º factor	interacción		medias	ANOVA
Intensidad Lluvia (3 cat.)	Cobertura Vegetal (3 cat.)	1,1		0,45	GL = 4 F = 4,89 P > 0,0000
		1,2		0,69	
		1,3		0,34	
	2,1		3,45		
	2,2		5,75		
	2,3		2,18		
1 (0,5-3)	1 (< 40)	3,1		35,18	
2 (4-6)	2 (41-70)	3,2		29,78	
3 (> 6)	3 (> 70)	3,3		26,17	
Intensidad Lluvia (3 cat.)	Pendiente (3 cat.)	1,1		0,15	GL = 4 F = 2,45 P > 0,05
		1,2		0,66	
		1,3		0,19	
	2,1		1,55		
	2,2		5,14		
	2,3		1,17		
1 (0,5-3)	1 (< 20)	3,1		33,97	
2 (4-6)	2 (21-30)	3,2		31,15	
3 (> 6)	3 (> 30)	3,3		25,57	
Intensidad Lluvia (3 cat.)	Costras (2 cat.)	1,1		0,49	GL = 2 F = 9,59 P > 0,002
		1,2		0,59	
		2,1		0,59	
	2,2		5,5		
	3,1		27,65		
	3,2		36,54		
1 (0,5-3)	1 (0-15)				
2 (4-6)	2 (> 15)				
3 (> 6)					
Intensidad Lluvia (3 cat.)	cantos (3 cat.)	1,1		0,73	GL = 4 F = 2,71 P > 0,03
		1,2		0,26	
		1,3		0,6	
	2,1		4,44		
	2,2		3,33		
	2,3		4,4		
1 (0,5-3)	1 (< 26)				
2 (4-6)	2 (26-35)				
3 (> 6)	3 (> 35)				
Volumen Lluvia (2 cat.)	Humedad (4 cat.)	1,1		0,76	GL = 3 F = 104,97 P = >0,0000
		1,2		0,59	
		1,3		0,5	
		1,4		0,59	
	2,1		31,06		
	2,2		11,49		
1 (0-10)	1 (0-3)				
2 (> 10)	2 (3,1-5)				
	3 (5,1-8)				
	4 (> 8)				
		2,3		8,66	
		2,4		0,49	

La interacción entre los factores "intensidad de la lluvia" y "cobertura vegetal total" controlan significativamente la escorrentía: para intensidades de lluvia inferiores a 6 mm/h, la cobertura vegetal parece no influir en la escorrentía; para intensidades de lluvia superiores a dicho valor el papel de la cobertura vegetal es el de reducir la escorrentía.

La interacción entre los factores "intensidad de lluvia" y "costras superficiales" controla significativamente la escorrentía: para intensidades de lluvia inferiores a 3 mm/h, la existencia de costras no influye en la escorrentía, pero con intensidades superiores el efecto de las costras es aumentar la escorrentía.

También las interacciones respectivas entre la "intensidad de la lluvia" y los "cantos" controlan significativamente la escorrentía: con intensidades de lluvia inferiores a 6 mm/h, las gravas y los cantos no tienen efecto en la escorrentía; en cambio, con intensidades superiores, la favorecen claramente.

Finalmente la interacción entre la intensidad de la lluvia y la pendiente, si bien presentan una relación significativa con la escorrentía, su explicación no parece muy convincente: para intensidades inferiores a 6 mm/h, las pendientes suaves y fuertes no favorecen la escorrentía, al contrario de lo que sucede con pendientes medias; para intensidades superiores a 6 mm/h, el papel de la pendiente es contrario al que cabría esperar: disminuir de la escorrentía al aumentar la pendiente. YAIR y KLEIN (1973) encuentran relaciones similares y las explican por las variaciones en las propiedades de la superficie del suelo. En nuestro caso podría tratarse de un artefacto motivado por el hecho de que las tres parcelas con mayor pendiente son también las que cuentan con un mayor porcentaje de cubierta vegetal, cuyo efecto es el de reducir la escorrentía, como demuestra el ANOVA.

CONCLUSIONES

Un período de cuatro meses durante el que se ha monitorizado la escorrentía en 10 parcelas de erosión en Rambla Honda ha permitido poner de manifiesto que la mayoría de eventos lluviosos, de baja intensidad y volumen son la causa de una mayoría de bajos coeficientes de escorrentía que permite que un elevado porcentaje de agua precipitada (>90%) no produzca escurrimiento.

En la zona estudiada, los factores que controlan la escorrentía son de mayor a menor: la intensidad de la lluvia, el volumen precipitado, la humedad antecedente, la duración de la lluvia y, en menor grado: la cobertura vegetal, la presencia de costras y cantos superficiales y finalmente la pendiente, como se deduce del análisis estadístico.

Si bien las parcelas de erosión, en esta primera fase de su instalación, se revelan como instrumentos útiles para conocer el balance hídrico en laderas, el hecho de no disponer de los registros detallados de cada evento de escorrentía impide conocer las relaciones precisas entre yetogramas e hidrogramas. Dada la importancia que pueden adquirir en el área mediterránea las precipitaciones de alta intensidad, se hace necesario instalar instrumentos de medida continua del escurrimiento.

REFERENCIAS

- LÁZARO, R. Y REY, J.M. (1991): Sobre el clima de la provincia de Almería (SE Ibérico): Primer ensayo de cartografía automática de medias anuales de temperatura y precipitación. *Suelo y Planta*, 1(1):61-68.
- PUIGDEFÁBREGAS, J. (1990): Erosión y colonización vegetal en campos abandonados. Informe final del subproyecto LUCDEME del mismo nombre, inédito. Estación Experimental de Zonas Áridas, CSIC, 203 p. + mapas anexos.
- SEUFFERT, O., MOTZER, H., DIECKMANN, H., HARRES, H.P., STÜVE, P. y WARTWIG, H. (1988): Rainfall-runoff and rainfall-erosion relations on hillslopes. New equations and their experimental background. *Geoökodynamik*, IX(1):17-40.
- SCOGING, H. (1982): Spatial variations in infiltration, runoff and erosion on hillslopes in semi-arid Spain. in Bryan and Yair (Eds.): *Badland Geomorphology and Piping*. pp. 47-79, Geo Books, England.
- SCOGING, H. (1989): Runoff generation and sediment mobilisation by water. in D.S.G.Thomas (ed.): "Arid zone geomorphology", pp 87-116. Belhaven Press, London
- YAIR, A. Y LAVEE, H. (1985): Runoff generation in arid and semi-arid zones. in Anderson and Burt (eds.): *Hydrological forecasting*, John Wiley & sons, capítulo 8.

Albert

SOCIEDAD ESPAÑOLA DE GEOMORFOLOGIA



ESTUDIOS DE GEOMORFOLOGIA EN ESPAÑA

Tomo I

Actas
II REUNION NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA
Murcia, 23 - 25 Septiembre 1992

F. LOPEZ BERMUDEZ - C. CONESA GARCIA - M.A. ROMERO DIAZ, Editores

Primera edición, septiembre, 1992

Todos los derechos reservados

© F. López Bermúdez, C. Conesa García, M. A. Romero Díaz

© Sociedad Española de Geomorfología

Area de Geografía Física

Universidad de Murcia

Campus de La Merced

Santo Cristo, 1

E-30001 MURCIA (España)

I.S.B.N.: 84-7684-337-2

Depósito Legal: MU-1732-1992

Imprime: I. G. Libecrom, S.A.