

VARIABILIDAD ESPACIAL DE LA LLUVIA EN UNA PEQUEÑA CUENCA HIDROGRÁFICA DE LA PROVINCIA DE CÁCERES

Antonio Ceballos Barbancho

Departamento de Geografía y O. T. Universidad de Extremadura.
Avenida de la Universidad, s/n. 10071 Cáceres

Resumen: El objetivo principal del presente trabajo es la cuantificación y análisis de la variabilidad espacial de la lluvia en una pequeña cuenca hidrográfica de 35,4 hectáreas. Para ello se ha instalado una red de cinco pluviómetros totalizadores. Los resultados reflejan que la variabilidad espacial en la zona estudiada es pequeña, pero demuestran la utilidad de su determinación para precisar la respuesta hidrológica de la cuenca.

Palabras clave: hidrología, precipitaciones, variabilidad espacial, pequeñas cuencas.

Abstract: The principal aim of the present paper is the quantification and analysis of the spatial variability of rainfall in a small catchment of 35,4 has. A network of 5 simple pluviometers has been used. The results indicate that the spatial variability is small in the study area, but show the utility of its estimation to define the hydrological response of the catchment.

Key words: hydrology, rainfall, spatial variability, small catchments.

1. INTRODUCCIÓN

En los estudios hidrológicos sobre balances de agua y producción de escorrentía superficial en pequeñas cuencas de drenaje uno de los factores

decisivos son las entradas o precipitaciones. Tradicionalmente se ha dado por supuesto que la distribución espacial de la lluvia sobre pequeñas áreas es uniforme, utilizándose el registro de un solo pluviómetro para caracterizar las precipitaciones de un determinado espacio (Patrick & Stephenson, 1990). Sin embargo estudios recientes (Goodrich *et al.*, 1995) han demostrado que este presupuesto es inválido, incluso en cuencas de superficie reducida (5 hectáreas), y que la variabilidad espacial de la lluvia es un factor más que debe ser incorporado en la realización de los balances hídricos.

La extrapolación del registro de un solo pluviómetro al conjunto de toda una cuenca puede en ocasiones no ser representativo del conjunto y por lo tanto alterar el resultado final en la elaboración de un balance de agua. En algunos eventos la cantidad e intensidad de la lluvia tiene un reparto muy desigual, repercutiendo en la respuesta espacial de la escorrentía superficial y en los procesos que de la misma dependen.

Los objetivos del presente trabajo son la cuantificación y el análisis de la variabilidad espacial en una pequeña cuenca (34,5 hectáreas), por medio de los datos producidos por una red de cinco pluviómetros totalizadores instalados en la misma. Si bien es conocido que la variabilidad de las precipitaciones no sólo afecta a los totales de precipitación recogida en los diferentes pluviómetros, sino también a las intensidades de lluvia (Patrick & Stephenson, 1990; Lavee & Yair, 1990), la imposibilidad de disponer de una red de pluviómetros automáticos en la cuenca impide poder comprobar este fenómeno.

2. ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca experimental de Guadalperalón funciona desde 1990, dedicándose al estudio de los procesos hidrológicos y sedimentológicos que operan en el sistema dehesa. Se localiza a 22 km al noreste de la ciudad de Cáceres, hallándose integrada en la mitad oriental de la unidad geomorfológica de la Penillanura Cacerense (superficie de erosión finimiocena) (Gómez Amelia, 1985).

El sustrato geológico lo conforma el Complejo Esquisto Grauváquico sobre el que se asientan suelos pertenecientes al grupo de los leptosoles y regosoles. Las características físicas principales de los suelos (profundidad, porosidad, densidad, textura) son muy variables dependiendo de las características topográficas y/o fisiográficas de las unidades que consideremos.

El clima es mediterráneo con influencias tanto atlánticas como continentales. La zona de estudio se incluye dentro de la isoterma de los 16 °C que ocupa la franja central de la provincia de Cáceres. La precipitación media

anual es de 512 mm distribuidos en ochenta y cinco días de lluvia. El régimen pluviométrico de la zona de estudio se caracteriza por su gran variabilidad tanto anual como interanual. Según el índice de clasificación de zonas áridas (Ih) de la UNESCO (1979) y la interpretación corregida del mismo que realiza Font Tullot (1983), la zona de estudio puede definirse como semiárida.

Mediante fotointerpretación, y su posterior constatación en el campo, podemos distinguir tres unidades paisajísticas según topografía, suelo y vegetación (Gómez Amelia & Schnabel, 1992):

a) *Superficie de erosión culminante*: comprende la zona de interfluvios planos con pendientes siempre inferiores al 9%. No hay estrato arbóreo y la cubierta herbácea es densa. La profundidad del suelo es variable según la topografía, con valores inferiores a los 40 cm.

b) *Vertientes en las vaguadas*: las pendientes de las vertientes de esta unidad son muy variables, oscilando entre el 10% y el 37%. Los máximos valores se registran en el extremo sur de la cuenca, conforme el encajamiento del canal principal de la misma es más definido. La densidad del arbolado es muy variable. El sustrato herbáceo es pobre y abunda el cantueso (*Lavandula stoechas*) en aquellas vertientes sin arbolado y abundantes afloramientos rocosos. La profundidad del suelo casi nunca supera los 20 cm, siendo a veces inexistente.

c) *Fondos de vaguada*: es la zona con menos pendiente dentro de la cuenca, con valores muy próximos al 0%. No tiene arbolado, pero sí un sustrato herbáceo muy denso. Se trata de fondos de valle rellenos con materiales fluvio-coluviales procedentes de las vertientes, que en algunos puntos superan los 150 cm de espesor, y que convierten a esta unidad en el área de mayor retención hídrica de la cuenca.

La superficie de la cuenca es de 35,4 hectáreas, presentando una forma alargada con orientación meridiana. La altitud media de la cuenca es de 378 m, el desnivel absoluto de 60 m, el perímetro de 2.836 m, la longitud de 1.100 m y la anchura de 617 m (Ceballos, 1997).

3. MÉTODOS Y TÉCNICAS

Para el estudio de la variabilidad espacial de las precipitaciones se procedió a la instalación de una red de cinco pluviómetros totalizadores que completan la información de un pluviómetro automático tipo balancín modelo ARG100 (fabricado por Omnidata International LTD), con 0,2 mm de resolución, y de un pluviómetro totalizador de 15,2 cm de diámetro y 725,5 cm² de superficie, pertenecientes ambos a una estación meteorológica instalada en la cuenca.

El diámetro del embudo de los pluviómetros de la red es de 9,2 cm, con una superficie de 265,8 cm². La experiencia en el campo ha demostrado que el tamaño de superficie seleccionado es apto para los fines del presente trabajo, ya que se procedió a la instalación de un pluviómetro de 9,2 cm² de diámetro a escasos metros de los pluviómetros de la estación meteorológica para comprobar si la reducción de la superficie introducía algún tipo de error y se constató la inexistencia de diferencias apreciables entre los registros de los tres pluviómetros. Tras la finalización de cada suceso de precipitación, se ha procedido al vaciado de los pluviómetros en un margen de tiempo nunca superior a veinticuatro horas para evitar cualquier tipo de error producido por la evaporación. En caso de producirse evaporación, se ha asumido que este proceso es uniforme en todos los pluviómetros debido a la homogeneidad de la temperatura y radiación solar en el área estudiada.

Varios son los métodos de análisis de datos de la variabilidad espacial de la precipitación. 1) El método más sencillo es el cálculo de la *media aritmética* de la serie registrada en los diferentes pluviómetros. Este método es factible en áreas con escaso contraste topográfico, poca variabilidad de las precipitaciones y una distribución uniforme de los pluviómetros de la red (Ward & Robinson, 1990). 2) El *método de los polígonos de Thiessen* (Thiessen, 1911) ha sido tradicionalmente adoptado por los hidrólogos, especialmente cuando la variabilidad de la precipitación es grande y la distribución de la red de pluviómetros es heterogénea. Este método tiene como principal objetivo ponderar el área de influencia de cada pluviómetro en el cálculo de la variabilidad espacial de la precipitación en la cuenca. 3) El método de las *isohietas* (Shaw, 1988) es el más adecuado en casos con fuertes contrastes en los registros de precipitación debido a la topografía y permite la elaboración de una cartografía que expresa los gradientes de precipitación en la zona estudiada. 4) Finalmente, en los últimos años se ha desarrollado un conjunto de técnicas matemáticas complejas destinadas a explicar la variabilidad espacial de la precipitación en áreas con una red de pluviómetros completa y homogénea (Ward & Robinson, 1990), destacando el *Universal Kriging* y el *Spline Surface Fitting Method* (Lebel *et al.*, 1987).

Para la realización del presente trabajo hemos utilizado la serie de datos comprendida entre los meses de diciembre de 1994 y agosto de 1996 y una red de cinco pluviómetros colocados verticalmente a 1 m del suelo (cuantificación de la lluvia meteorológica).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para una mejor sistematización y análisis de los datos, se han agrupado los mismos en una serie mensual que expresa la precipitación registrada en

cada pluviómetro de la cuenca, la media aritmética, la desviación estándar, el coeficiente de variación y los valores obtenidos tras la aplicación del método Thiessen (tabla 1).

Los coeficientes de variación anuales medios de los diez meses monitorizados del año hidrológico 1994-95 (1,9%) y el año 1995-96 completo (2,6%) son muy bajos, y su evolución mensual tiene una clara relación inversa con la cantidad de precipitación. Los meses con precipitaciones menos cuantiosas son los que ofrecen un mayor porcentaje de variabilidad espacial de las precipitaciones. El análisis de una serie de eventos individuales (N = 57) demuestra que lluvias con un total medio por encima de los 12 mm nunca

Tabla 1. Distribución mensual de las precipitaciones registradas en la red de pluviómetros de la cuenca de Guadalperalón, desviación estándar (STD), coeficiente de variación (Coef. Var.) y comparación de los métodos de la media aritmética y Thiessen para el cálculo de la precipitación de la cuenca. Pm = pluviómetro de la estación meteorológica, P1, P2... = pluviómetros de la red instalada en la cuenca.

Mes	Pm	P1	P2	P3	P4	Media	STD	Coef. Var.	M. Thiessen
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	%	mm
DIC	17,6	17,2	16,7	15,3	15,2	16,4	1,0	6,0	16,4
ENE	21,9	22,0	20,8	19,6	19,3	20,7	1,1	5,4	20,7
FEB	63,2	62,4	64,3	62,4	65,1	63,5	1,1	1,7	63,5
MAR	2,8	2,7	2,4	0,6	2,5	2,2	0,8	36,9	2,2
ABR	34,4	34,0	33,5	33,7	32,1	33,5	0,8	2,3	33,5
MAY	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	0,0	0,0	3,0
JUN	26,0	23,7	25,9	25,5	25,7	25,4	0,8	3,3	25,4
JUL	9,6	9,1	10,1	9,3	12,1	10,0	1,1	10,8	10,1
AGO	3,2	2,9	2,9	2,5	3,3	3,0	0,3	9,5	3,0
Año 94-95	181,7	177,0	179,6	171,9	178,3	177,7	3,3	1,9	177,8
SEP	11,4	8,6	10,6	11,0	13,0	10,9	1,4	13,1	11,0
OCT	10,2	9,8	10,2	9,1	9,9	9,8	0,4	4,1	9,9
NOV	96,1	96,0	95,8	92,3	99,8	96,0	2,4	2,5	96,0
DIC	151,9	155,8	150,0	144,9	153,9	151,3	3,8	2,5	151,2
ENE	241,5	238,8	242,7	224,3	245,7	238,6	7,5	3,1	238,7
FEB	22,1	15,6	17,3	12,4	14,3	16,4	3,3	20,1	16,4
MAR	66,9	59,7	62,9	59,5	59,9	61,8	2,8	4,6	61,9
ABR	39,1	34,7	36,5	33,1	40,1	36,7	2,6	7,1	36,8
MAY	80,9	74,2	74,2	82,8	80,6	78,5	3,6	4,6	78,6
JUN	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
JUL	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
AGO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Año 95-96	720,1	693,2	700,2	669,4	717,3	700,0	18,4	2,6	700,5

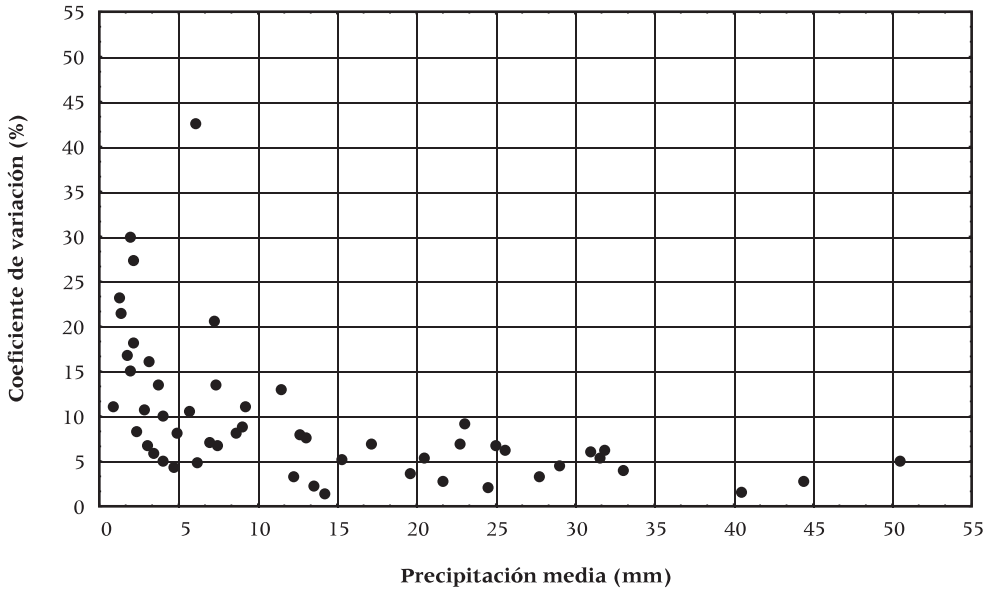


Figura 1: Relación entre la precipitación media de los pluviómetros de la red por evento y el coeficiente de variación de la misma ($N = 57$).

tienen un coeficiente de variación superior al 10% (fig. 1), por lo que parece existir una cierta relación positiva entre cantidad de lluvia y homogeneidad espacial de la misma.

A la misma serie mensual de datos de los diferentes pluviómetros se ha aplicado el método Thiessen (1911), obteniendo los valores que aparecen en la tabla 1 calculados a partir de la siguiente fórmula:

$$P = (P_1 \times S_1/S) + (P_2 \times S_2/S) + \dots + (P_n \times S_n/S)$$

Donde P = precipitación media de la cuenca; P_1, P_2, \dots, P_n = precipitación registrada en cada pluviómetro; S_1, S_2, \dots, S_n = área de cada polígono; S = área de la cuenca.

En el caso de la cuenca de Guadalperalón, tras el cálculo de la fracción decimal que expresa el peso de cada polígono sobre el área total de la cuenca, la fórmula sería la siguiente:

$$P = (P_m \times 0,2006) + (P_1 \times 0,1800) + (P_2 \times 0,2170) + (P_3 \times 0,1985) + (P_4 \times 0,2039)$$

La aplicación del método Thiessen demuestra que la red de pluviómetros instalada en la cuenca de Guadalperalón es muy homogénea y regular, ya que

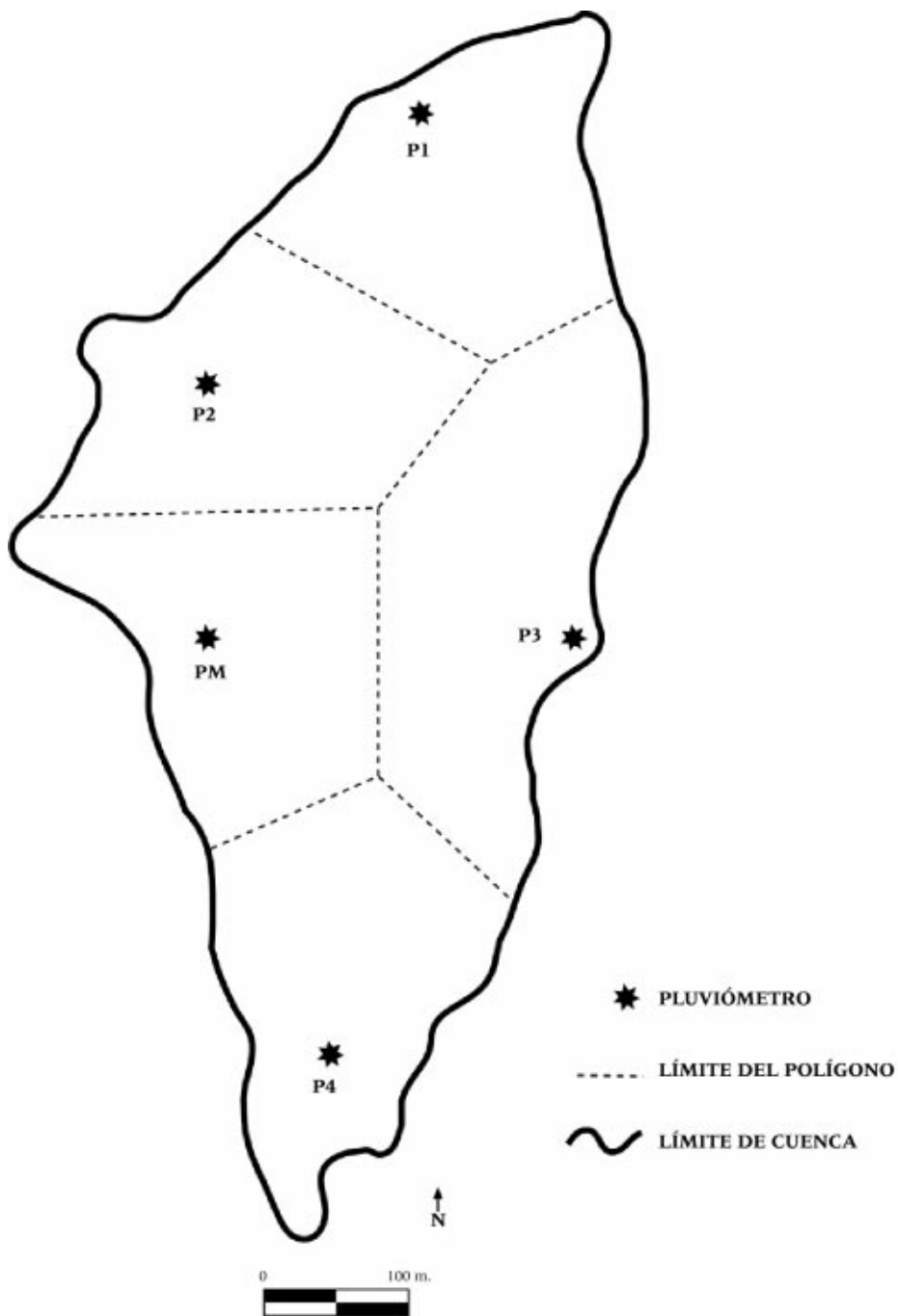


Figura 2: Distribución espacial de la red de pluviómetros en la superficie de la cuenca y determinación de los polígonos de Thiessen.

el valor decimal correspondiente a los polígonos de cada pluviómetro es muy similar (fig. 2).

La ausencia de fuertes contrastes topográficos en el área estudiada, la escasa variabilidad de las precipitaciones y la regularidad de la red de pluviómetros instalada determina que la correlación entre los valores obtenidos por la media aritmética y el método Thiessen sea perfecta ($r^2 = 1$). No obstante, hay algunas matizaciones que deben ser señaladas. Si bien en los dos años hidrológicos monitorizados las precipitaciones más altas se han producido en Pm, el método Thiessen demuestra que P2 es el pluviómetro con más peso específico respecto al resto, con un área de influencia más grande. El mismo razonamiento puede aplicarse a los dos pluviómetros que han registrado los valores más bajos, ya que el método Thiessen pondera en mayor grado los aportes de P3 debido al mayor tamaño del polígono. A pesar de estos matices, las diferencias entre los totales obtenidos por ambos métodos son más que insignificantes.

Los totales anuales de los distintos pluviómetros que aparecen en la tabla 1 reflejan la misma distribución espacial de las precipitaciones en los dos años monitorizados. Los dos pluviómetros con valores más bajos (P1 y P3) tienen en común su situación próxima a la línea divisoria de la cuenca, y por lo tanto su posición topográfica culminante, en donde el viento es más frecuente e intenso impidiendo que la lluvia caiga perpendicular al suelo. En 1995-96 hay una diferencia de 50,7 mm entre el máximo registrado en Pm (720,1 mm) y el mínimo en P3 (669,4 mm), con tan sólo 333 m de distancia entre ambos puntos. El resto de los pluviómetros se encuentra en posición menos expuesta a los efectos del viento (tramos inferiores de las vertientes y fondos de valle). Sharon (1970) y Shanan (1976) demuestran que las partes altas de las vertientes colectan menos agua de lluvia que las partes bajas de las mismas.

Aunque la variabilidad espacial de las precipitaciones en la zona estudiada sea pequeña, su determinación siempre resulta útil para precisar la respuesta hidrológica de la cuenca. Desde el año 1990 existe una serie de datos sobre precipitaciones y escorrentía superficial en vertientes en la cuenca de Guadalperalón. Hasta diciembre de 1994 sólo estuvieron instalados dos pluviómetros en la cuenca, y además a escasos metros de distancia: un pluviómetro de balancín conectado a un registrador automático y pluviómetro totalizador de 15,2 cm de diámetro. Los datos pluviométricos procedentes de estos pluviómetros eran extrapolados a toda la cuenca en la aplicación de técnicas estadísticas y elaboración de balances hidrológicos. En el análisis de escorrentía superficial en las vertientes se ha delimitado la cifra de 5,7 mm

de precipitación total como el umbral al partir del cual es posible, dependiendo de la intensidad de la lluvia y de las condiciones de humedad antecedente de los suelos, la producción de escorrentía (Ceballos, 1997). La pregunta es obvia ¿qué ocurre en la cuenca cuándo, en un determinado evento de lluvia, la variabilidad espacial de la precipitación oscile en torno a los 5,7 mm? El día 28 de junio de 1995 se desarrolló en la cuenca una situación convectiva que provocó un contraste más o menos acusado entre los valores de precipitación registrados en la mitad norte de la cuenca (por encima del umbral) y en la mitad sur (por debajo del umbral). La figura 3 demuestra de forma nítida la influencia de este hecho para explicar la variabilidad de la escorrentía superficial en diferentes puntos de la cuenca, ya que las parcelas situadas en la zona con precipitación inferior al umbral registra valores de escorrentía insignificantes (< 1 l/m). Debido a la homogeneidad de la humedad del suelo (totalmente secos) y de la degradación del pasto, la diferencia espacial de la precipitación parece ser el único factor que explica la variabilidad espacial de la escorrentía superficial.

Una de las características de la escorrentía superficial en la cuenca de Guadalperalón es la discontinuidad espacial en los procesos de flujo (Ceballos & Schnabel, 1996), circunstancia que en opinión de algunos autores (Yair & Lavee, 1985) puede estar condicionada, entre otros muchos factores, por la

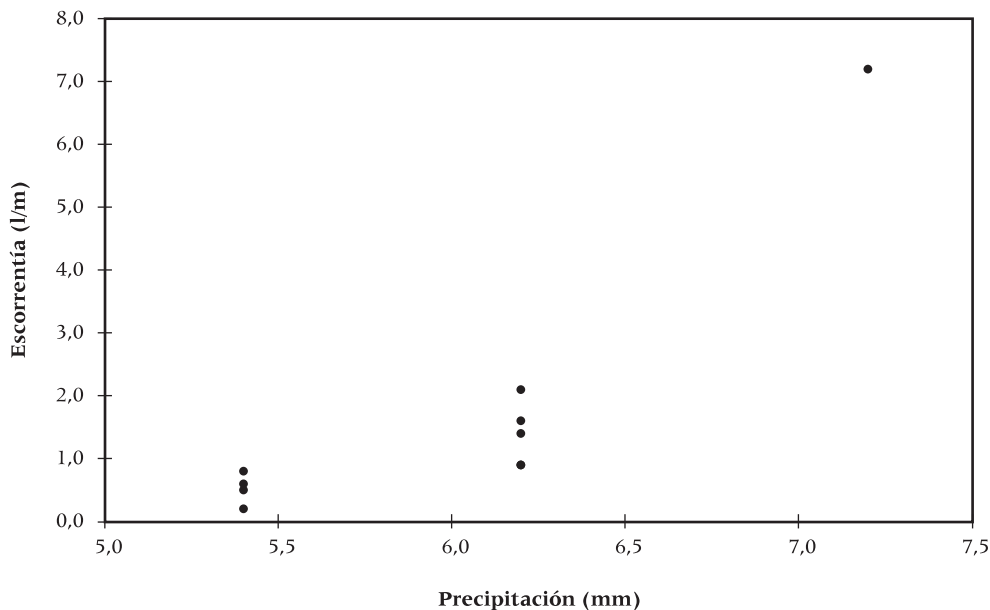


Figura 3: Relación entre la distribución espacial de la precipitación y de la escorrentía superficial en las vertientes de la cuenca de Guadalperalón durante una tormenta producida el 28-06-1995.

variabilidad espacial (cantidad e intensidad) de las precipitaciones caídas sobre la cuenca.

Para la realización de balances hidrológicos se ha utilizado siempre el total anual de los dos pluviómetros instalados en la estación meteorológica de la cuenca (Pm). En el año hidrológico 1995-96 el total anual registrado en ese punto ha sido el valor máximo de la red de pluviómetros (720,1 mm), mientras que la media aritmética del total de la red ha sido de 700,1 mm. Utilizando uno u otro valor obtendremos un coeficiente de escorrentía anual en la cuenca de 14,2% en el primer caso y 14,6% en el segundo caso. Si en la cuenca el único pluviómetro instalado fuera el P3 (669,4 mm), el coeficiente de escorrentía anual se habría visto incrementado en un punto (15,3%).

AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido financiado por la CICYT en el marco del proyecto AMB95/0986-CO2-02, por la disponibilidad de una beca FPI-MEC, y apoyado por la Junta de Extremadura, Dirección General de Enseñanzas Universitarias e Investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ceballos, A.** (1997): *Balance de agua en una cuenca hidrográfica bajo explotación de sistema dehesa en Extremadura*. Tesis Doctoral Inédita. Departamento de Geografía y O. T. Universidad de Extremadura, 207 pp.
- Ceballos, A. & Schnabel, S.** (1996): Runoff generation in a small catchment under silvopastoral landuse in SW Spain. *Conference on ecohydrological processes in small basins*. ERB. Strasbourg, France (en prensa).
- Font Tullot, I.** (1983): *Climatología de España y Portugal*. Instituto Nacional de Meteorología, Madrid.
- Gómez Amelia, D.** (1985): *La penillanura cacereña. Estudio geomorfológico*. Dpto. de Geografía. Facultad de Filosofía y Letras. Servicio de Publicaciones. Universidad de Extremadura.
- Gómez Amelia, D. & Schnabel, S.** (1992): Procesos sedimentológicos e hidrológicos en una pequeña cuenca bajo explotación de dehesa en Extremadura. En: López Bermúdez, F.; Conesa García, C. y Romero Díaz, M.A. (eds.): *II Reunión Nacional de Geomorfología*, 55-63. S.E.G., Murcia.
- Goodrich, D.C.; Faurès, J.M.; Woolhiser, D.A.; Lane, L.J. & Sorooshian, S.** (1995): Measurement and analysis of small-scale convective storm rainfall variability. *Journal of Hydrology*, 173, 283-308.
- Lavee, H. & Yair, A.** (1990): Spatial variability of overland flow in a small arid basin. *Erosion; Transport and Deposition Processes (Proceedings of the Jerusalem Workshop)*. IASH Publ. núm. 189, 105-120.
- Lebel, T.; Bastin, G.; Obled, C. & Creutin, J.D.** (1987): On the accuracy of areal rainfall estimation: a case study. *Water Resources Research*, 23, 2123-2134.

- Patrick, N. & Stephenson, D.** (1990): Spatial variation of rainfall intensities for short duration storms. *Hidrological Sciences –Journal– des Sciences Hydrologiques*, 35, 667-680.
- Shannan, L.** (1976): *Rainfall and runoff relationships in small watersheds in the Avdat region of the Negev desert highlands*. Ph. D. Tesis. Hebrew University, Jerusalem.
- Sharon, D.** (1970): Arcal patterns of rainfall in a small watershed. *Symposium Results of Research on Representative and Experimental basins*. IASH Publ., 96, 3-11.
- Shaw, E.M.** (1988): *Hydrology in Practice*. Van Nostrand Reinhold (International), Great Britain.
- Thiessen, A.H.** (1911): Precipitation averages for large areas. *Monthly Weather Rev.*, 39, 1082-1084.
- UNESCO** (1979): *Carte de la répartition mondiale des régions arides*. UNESCO, Paris.
- Yair, A. & Lavee, H.** (1985): Runoff generation in arid and semi-arid zones. En: Anderson, M.G. and Burt, T.P. (eds.): *Hydrological Forecasting*, 183-220. John Willey and Sons Ltd.
- Ward, R.C. & Robinson, M.** (1990): *Principles of Hydrology*. Mc Graw-Hill, London.