

Caracterización hidrológica de la vertiente sur de la Sierra de Gádor (Almería)

Hydrological characterization on the southern edge of Sierra de Gádor (Almería)

W. Martín-Rosales ⁽¹⁾, A. Vallejos ⁽²⁾ y A. Pulido-Bosch ⁽²⁾

⁽¹⁾ Departamento de Geodinámica. Universidad de Granada. 18071-Granada

⁽²⁾ Departamento de Hidrogeología. Universidad de Almería. 04120-La Cañada (Almería)

ABSTRACT

The instantaneous maximum discharges have been calculated in the different subbasins that integrate the southern edge of Sierra de Gádor (Almería), for diverse return periods. The utilized methodology for the calculation has been the Modified Rational Formula. In general, the calculated flows can be considered anomalously high if they are had in counts the reduced size of the basins as well as the relative permeability of the lithologies that appear in them. Their low times of concentration, due to the important difference in height that characterizes them, and in some cases the high intensity of precipitation, they seem to be the decisive factor of the hydrological behavior in the area.

Key words: hydrology, floods, maximum flow, Rational Method.

Geogaceta, 31 (2002), 115-118

ISSN:0213683X

Introducción

El objetivo del presente trabajo es deducir los parámetros fundamentales que controlan el comportamiento hidrológico de la vertiente sur de la Sierra de Gádor. Las peculiaridades del área de estudio (cuencas y ramblas secas durante la práctica totalidad del año y con violentas crecidas en intervalos de tiempo prolongados), además de la escasez de datos de aforos y pluviógrafos, ha obligado a abordar el estudio hidrológico desde un punto de vista empírico e indirecto; es decir, los caudales que generarían las cuencas para diferentes periodos de recurrencia han sido estimados a partir de datos pluviométricos disponibles y de las características físicas de la cuenca. Para ello se ha utilizado la Fórmula Racional Modificada de Témez (1978 y 1991). Este método hidrometeorológico, dada su sencillez de aplicación, se emplea preferentemente en aquellos estudios que sólo requieren el cálculo del caudal máximo de crecida, y su uso está ampliamente extendido tanto a nivel internacional (Pilgrim, 1986), como nacional (MOPU, 1990).

El área investigada es la vertiente meridional de la Sierra de Gádor, que con una extensión de 320 km², está integrada por la yuxtaposición de 55 subcuencas

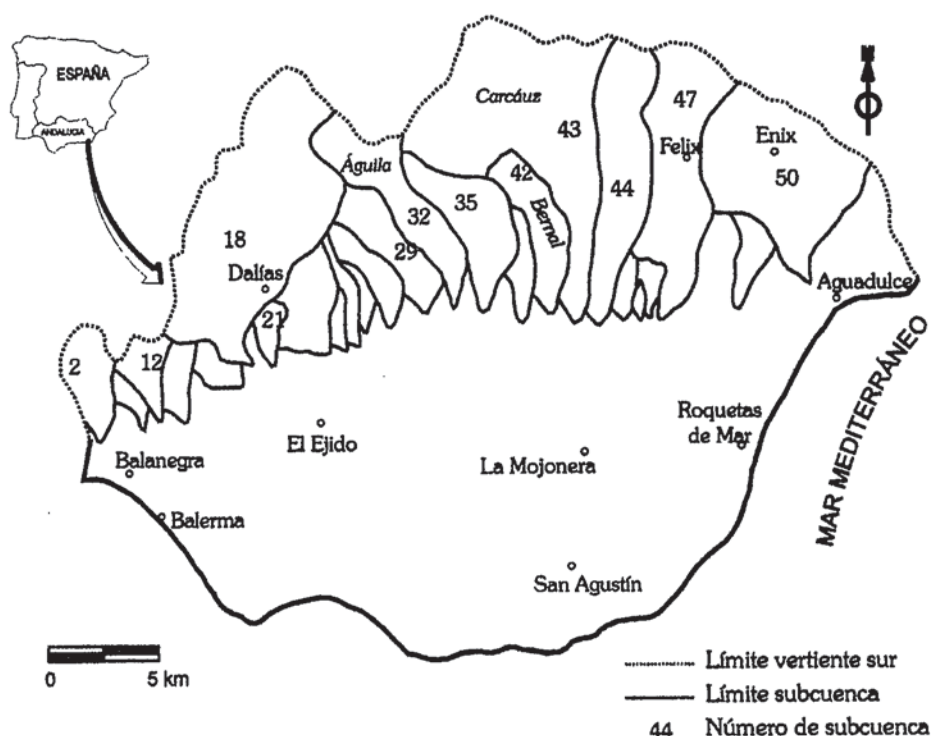


Fig. 1.- Localización geográfica del área de estudio, con indicación de las principales subcuencas.

Fig. 1. - Geographical location of the study area, indicating the main subbasins.

con superficies comprendidas entre el km² y 54 km², las más importantes de las cuales son las ramblas de Almodete (nº

18), Carcáuz (nº 43) y las Hortichuelas (nº 50); su ubicación se muestra en la figura 1. En lo referente a aportaciones

pluviométricas, el sector oriental presenta las zonas más deficitarias, que no llegan a alcanzar los 300 mm anuales y en donde los fenómenos de aridez son más efectivos (Martín Rosales *et al.*, 1996a).

Características morfométricas

Una de las características más distintivas de esta vertiente es la energía de su relieve, tal y como refleja la figura 2, en donde se muestra la distribución porcentual de los rangos de pendiente. El intervalo 0-7.5 % corresponde a la depresión neógena de Dalfas así como al relleno de otras de origen kárstico y a las áreas de la vertiente situadas a menor cota, donde se sitúan los ápices de los abanicos aluviales. El rango 7.5-15 % coincide con una superficie de aplanamiento situada por encima de la cota 1.400 m s.n.m., en la cual se desarrollan las escasas manifestaciones kársticas observables en el macizo. Corresponden también a este intervalo las áreas cultivadas próximas a Enix y los relieves estructurales definidos por las calcarenitas miocenas, que se apoyan directamente sobre el substrato alpujárride. Las pendientes comprendidas en el intervalo 15-35 % son especialmente características de los sectores occidental y oriental de la vertiente. Por último, los relieves más abruptos (pendientes superiores al 35 %) se restringen a las subcuencas de Carcauz, la Maleza y el Águila, en la parte central de la vertiente y que representan el 42 % de la superficie total de ésta. También presentan este rango de pendientes los abruptos resaltes desarrollados por la formación Vícar.

La pendiente media alcanza su máximo valor en las subcuencas del Tartell (nº 42), la Maleza (nº 35) y Carcauz (nº 43) superando en los tres casos el 40 %. En el extremo opuesto se sitúan las ramblas de los Infantes (nº 12), las Hortichuelas (nº 50) y Almocete (nº 18) con valores del 30.2 %, 30.9 % y 30.5 % respectivamente. En cuanto a la altura media, ésta es mayor en la parte central de la vertiente, siendo máxima en la subcuenca del Águila, con 1.550 m s.n.m. Presentan igualmente valores elevados las ramblas de la Maleza y Carcauz, con 1.200 y 1.275 m s.n.m., respectivamente. La interpretación de diversos perfiles longitudinales correspondientes al cauce principal de varias cuencas, así como la constatación de capturas fluviales de depresiones exokársticas demuestran el notable grado de incisión fluvial de la vertiente (Martín Rosales, 1997).

Otro aspecto a tener en cuenta en cualquier estudio relacionado con el re-

Nº	NOMBRE	H	Rr	Lcp	Pcp	(A)	(B)	(C)	(D)	MEDIA
2	Bco. de la Estanquera	675	0.11	7,71	0,0700	2,35	1,27	1,48	2,37	1,81
4	Bco. de las Adelfas II	590	0.23	2,27	0,1806	0,77	0,47	0,27	0,80	0,54
5	Bco. del Pardo I	618	0.26	2,58	0,1705	0,86	0,50	0,32	0,89	0,64
9	Bco. de la Cruz	678	0.13	5,69	0,0914	1,77	0,95	0,96	1,79	1,31
12	Rambla de los Infantes	771	0.11	7,31	0,0718	2,24	1,30	1,39	2,27	1,81
13	Rambla de Balanegra	771	0.17	5,04	0,1091	1,56	0,76	0,78	1,57	1,11
17	Rambla de Hornales	751	0.18	3,71	0,1186	1,22	0,74	0,55	1,25	0,94
18	Rambla de Almocete	2244	0.16	18,39	0,1066	4,20	1,57	2,86	3,62	3,01
20	Bco. Real	490	0.12	3,01	0,0947	1,08	0,68	0,50	1,18	0,81
21	Bco. Ancho	1274	0.23	5,54	0,1751	1,53	0,74	0,67	1,43	1,01
23	Bco. de los Lobos	800	0.25	3,16	0,1646	1,01	0,52	0,40	1,02	0,74
24	Bco. de Peñas Negras	1170	0.14	4,34	0,2074	1,23	0,51	0,48	1,16	0,81
27	Bco. de Ortiz	830	0.26	2,61	0,2261	0,83	0,43	0,28	0,81	0,51
28	Bco. del Capitán	1274	0.22	6,18	0,1602	1,70	0,71	0,78	1,58	1,11
29	Rambla de Andrés Pérez	1540	0.22	6,56	0,1456	1,81	0,82	0,87	1,69	1,31
32	Rambla del Águila	2084	0.20	10,79	0,1538	2,61	0,91	1,40	2,29	1,81
35	Rambla de la Maleza	1991	0.25	7,54	0,1698	1,95	0,90	0,93	1,76	1,31
39	Bco. de las Sardinias	1277	0.23	4,90	0,1939	1,37	0,56	0,57	1,28	0,94
42	Bco. del Tartell	1567	0.21	7,68	0,1661	2,06	0,89	1,06	1,91	1,41
43	Rambla de Carcauz	1991	0.14	18,76	0,0733	4,58	1,94	3,52	4,13	3,54
44	Rambla del Cañuelo	1498	0.11	17,94	0,0627	4,56	1,77	3,64	4,22	3,54
45	Bco. de la Galeota	730	0.16	3,37	0,1320	1,11	0,61	0,47	1,14	0,81
46	Bco. del Junquillo	780	0.12	5,30	0,1075	1,63	0,91	0,82	1,63	1,21
47	Rambla de Vícar-El Cura	1444	0.11	16,23	0,0724	4,11	1,65	3,07	3,78	3,11
49	Rambla del Pastor	646	0.14	4,24	0,0802	1,45	1,00	0,76	1,55	1,11
50	Rambla de las Hortichuelas	1088	0.12	12,92	0,0743	3,44	1,67	2,41	3,24	2,61
51	Rambla de San Antonio	950	0.15	8,55	0,0877	2,43	1,13	1,47	2,36	1,81
52	Bco. del Cañarete	812	0.18	5,59	0,1342	1,63	0,71	0,78	1,57	1,11
55	Bco. del Palmer	804	0.19	6,00	0,1317	1,72	0,77	0,84	1,65	1,21

Tabla 1.- Características de relieve y del cauce principal (H: amplitud de relieve, en m; Rr: razón de relieve; Lcp: longitud del curso principal, en km y Pcp: pendiente del cauce principal, en km/km) y tiempos de concentración -en horas- de las distintas subcuencas, calculados según las fórmulas de Témez (A), Giandotti (B), California (C) y Chow (D).

Table 1.- Characteristics of relief and principal stream (H: width of relief, in m; Rr: rate of relief; Lcp: length of principal stream, in km and Pcp: slope of principal stream, in km/km) and times of concentration -in hours- for the different subbasins, calculated according to the formulas from Témez (A), Giandotti (B), California (C) and Chow (D).

lieve de una cuenca dada, es la caracterización de su cauce principal, y especialmente su pendiente, ya que de este elemento depende, en gran medida, la morfología de su hidrograma de escorrentía superficial. El valor medio para el conjunto de la vertiente es del 18 % (tabla 1), oscilando entre el 47 % (cuenca nº 7) y el 7 % en la rambla de Carcauz, por lo que pueden considerarse todos ellos como *torrentes* en el sentido de Meunier (1991). Según la clasificación de ríos naturales propuesta por Rosgen (1994), atendiendo a un nivel de detalle de tipo I o lo que es igual, una caracterización morfológica en

sentido amplio, estos cauces pertenecerían a los grupos Aa+ y A, que engloban a aquéllos con pendientes superiores a 0.10 y comprendidas entre 0.04 y 0.10, respectivamente, típicos de torrentes encajados de baja sinuosidad (1-1.2), elevado potencial de arrastre, y con desarrollo importante de morfologías erosivas y deposicionales a lo largo de su perfil longitudinal.

Para el cálculo del tiempo de concentración -que rige la rapidez de respuesta de una cuenca ante una precipitación efectiva y por tanto de frecuente utilización en hidrología- se utilizaron las ex-

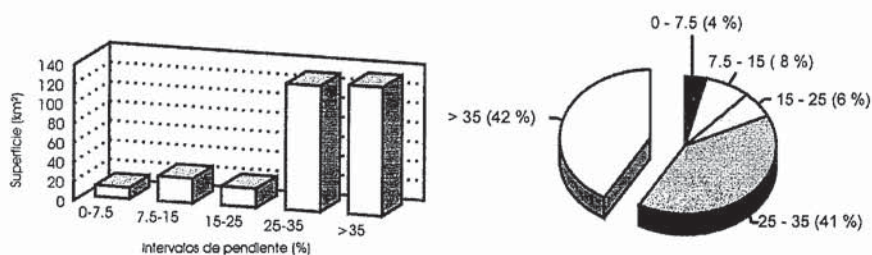


Fig. 2.- Histograma y gráfico de distribución porcentual de pendientes de la vertiente sur de la Sierra de Gádor.

Fig. 2.- Histogram and graph gives percentage distribution of slopes on the southern edge in Sierra de Gádor.

presiones propuestas por Témez, Giandotti y Chow (*in* Témez, 1978) así como la denominada fórmula de California (*in* Chow *et al.*, 1988). Todas las expresiones mencionadas utilizan como parámetros de estimación del tiempo de concentración (T_c), la pendiente y la longitud del curso principal, si bien la de Giandotti emplea, además, la superficie de la cuenca. La expresión de Témez produce resultados sensiblemente diferentes a los obtenidos mediante Giandotti y Kirpich; dichas diferencias -al comparar los métodos de Témez y Giandotti- son mayores al aumentar la superficie de la cuenca. Los tiempos de concentración más elevados se obtienen mediante la aplicación del método de Témez, presentando el valor máximo la rambla de Carcauz (n° 43). El resultado es prácticamente similar al obtenido mediante la expresión de Chow en la mencionada subcuenca (4.6 y 4.1 horas, respectivamente). Los valores más bajos se obtienen, como era de esperar, en las subcuencas más pequeñas; ello es debido a que el curso principal en estas cuencas presenta una reducida longitud, lo que, unido a su gran desnivel, hace que su pendiente sea más elevada que en las cuencas de mayor superficie.

Estimación de caudales

El método aplicado es el de la Fórmula Racional Modificada (Témez, 1978); su utilización es factible en el área ya que

Nº	NOMBRE	S	Po	T = 5 años	T = 25 años	T = 50 años	
CUENCA	CUENCA	(km²)	mm	Q (m³/s)	Qe	Q (m³/s)	Qe
2	Bco. de la Estanquera	8,9	25	10,3	1,2	21,2	2,4
4	Bco. de las Adelfas II	1,1	25	2,4	2,2	4,6	4,2
5	Bco. del Pardo I	1,3	25	2,5	2,0	4,9	3,9
9	Bco. de la Cruz	4,9	25	5,8	1,2	12,3	2,5
12	Rambla de los Infantes	10,5	25	11,4	1,1	23,8	2,3
13	Rambla de Balanegra	2,9	25	4,2	1,5	8,9	3,1
17	Bco. de la Mina	2,9	25	5,8	2,0	11,9	4,1
18	Rambla de Almocete	49,2	30	45,8	0,9	98,8	2,0
20	Bco. Real	1,4	29	2,5	1,8	5,6	4,1
21	Bco. Ancho	6,3	21	15,6	2,5	32,8	5,2
23	Bco. de los Lobos	1,5	20	3,7	2,6	7,6	5,3
24	Bco. de Peñas Negras	2,1	21	6,1	2,9	10,9	5,3
27	Bco. de Ortiz	1,2	21	4,2	3,5	9,0	7,4
28	Bco. del Capitán	4,7	20	12,3	2,6	25,8	5,5
29	Rambla de Andrés Pérez	7,0	25	14,6	2,1	32,0	4,6
32	Rambla del Aguila	11,1	21	24,7	2,2	46,6	4,2
35	Rambla de la Maleza	13,2	21	33,9	2,6	70,7	5,3
39	Bco. de las Sardinas	2,6	24	6,4	2,5	11,9	4,6
42	Bco. del Tartell	8,4	24	17,1	2,0	36,1	4,3
43	Rambla de Carcauz	54,1	24	79,1	1,5	162,4	3,0
44	Rambla del Cañuelo	26,7	23	38,8	1,5	76,8	2,9
45	Bco. de la Galeota	1,7	20	4,2	2,5	7,1	4,2
46	Bco. del Junquillo	5,7	20	11,8	2,1	20,5	3,6
47	Rambla de Vicar-El Cura	27,1	18	48,9	1,8	86,8	3,2
49	Rambla del Pastor	4,3	15	9,3	2,1	13,2	3,0
50	Rambla de las Hortichuelas	30,3	15	50,4	1,7	80,3	2,6
51	Rambla de San Antonio	8,9	16	9,8	1,1	18,1	2,0
52	Bco. del Cañarete	3,1	15	3,1	1,0	6,3	2,0
55	Bco. del Palmer	4,3	19	2,1	0,5	5,2	1,2

Tabla 2.- Caudal máximo (m³/s), caudal específico (m³/s/km²), estimados para periodos de retorno de 5, 25 y 50 años y umbral de escorrentía (P_0), en mm, correspondiente a las principales cuencas de la vertiente.

Table 2.- Maximum discharge (m³/s), specific discharge (m³/s/km²), for return periods of 5, 25 and 50 years and threshold runoff (P_0), in mm, corresponding to the main basins.

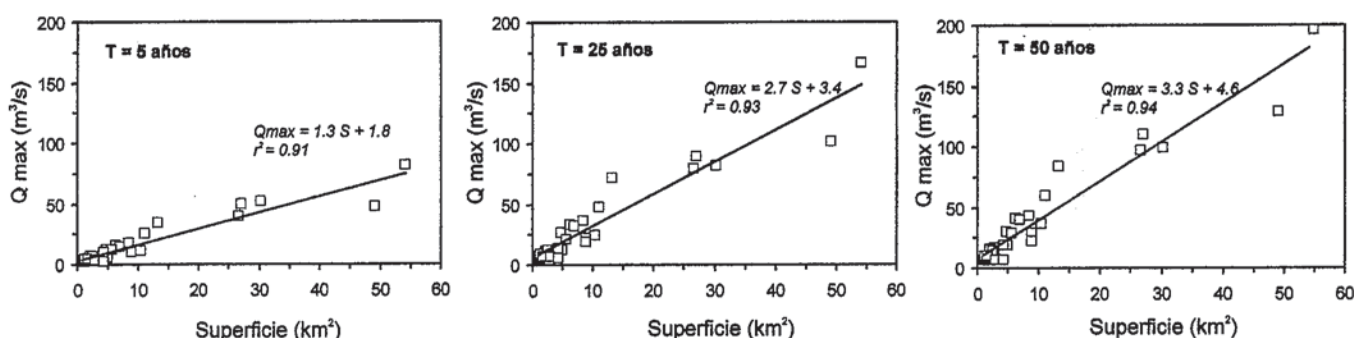


Fig. 3.- Relación entre la superficie de la cuenca vertiente y el caudal máximo estimado para periodos de retorno de 5, 25 y 50 años.

Fig. 3.- Relationship among the surface of the basin and the estimated maximum flow for return periods of 5, 25 and 50 years.

ninguna cuenca posee una extensión superior a los 75 km², que constituye el límite de aplicación del método, si bien posteriormente se han incluido modificaciones que lo hacen aplicable en cuencas de mayor extensión (Témez, 1991). La Fórmula Racional Modificada propone la estimación de los caudales máximos (Q_{max}) en función de la intensidad máxi-

ma de precipitación (I), el coeficiente instantáneo de escorrentía (C), la superficie de la cuenca (A) y un coeficiente de uniformidad (K), a partir de la expresión:

$$Q = \frac{CIA}{3.6} \times K$$

Las intensidades máximas de precipitación se obtuvieron a partir de las series de precipitación diaria de 18 estaciones

pluviométricas dependientes del Instituto Nacional de Meteorología. Así pues, y como labor previa, se estimaron los valores de precipitación probable para diversos periodos de retorno en el área investigada, utilizando para ello dos procedimientos alternativos: el método de las series de duración parcial, y el método de máximas anuales (Martín Rosales *et al.*,

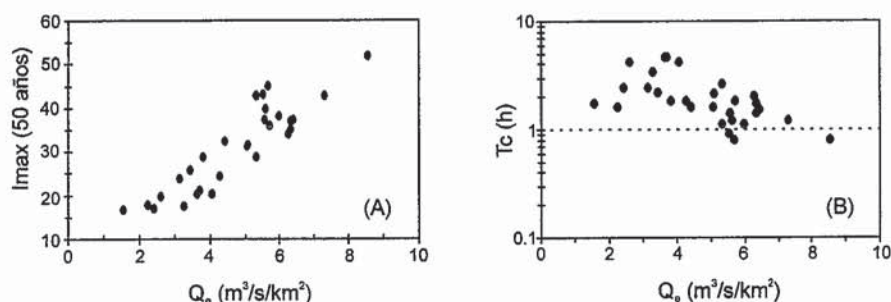


Fig. 4.- Representación gráfica de caudal específico (Q_e), en $\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$, para un periodo de retorno de 50 años, frente a la intensidad máxima correspondiente (A) y tiempo de concentración (B) de las principales subcuencas.

Fig. 4.- Graphical representation of specific discharge (Q_e), in $\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$, for a return period of 50 years, in front of the corresponding maximum intensity (A) and time of concentration (B) for the main subbasins.

1996b). Para el cálculo del coeficiente instantáneo de escorrentía fue preciso elaborar una cartografía litológica y otra correspondiente a los usos del suelo, cuya superposición permitió establecer para cada subcuenca el parámetro P_0 o *umbral de escorrentía*. Su estimación se efectuó teniendo en cuenta las propuestas metodológicas recogidas en Ferrer (1993), a su vez obtenidas a partir de los correspondientes del Servicio de Conservación de Suelos (SCS, 1972), y que no son más que la expresión numérica del complejo suelo-vegetación en determinadas condiciones de humedad antecedente. En los cálculos efectuados se han considerado unas condiciones de tipo II, o lo que es igual, condiciones medias de humedad. El coeficiente instantáneo de escorrentía se obtiene finalmente mediante la expresión:

$$C = \frac{\left(\left(\frac{P_d}{P_0} - 1\right) \times \left(\frac{P_d}{P_0} + 23\right)\right)}{\left(\left(\frac{P_d}{P_0} + 11\right)^2\right)}$$

P_0 : umbral de escorrentía, expresado en mm

P_d : precipitación máxima diaria correspondiente a un periodo de retorno considerado

Resultados y discusión

Los caudales máximos correspondientes a periodos de retorno de 5, 25 y 50 años, caudal específico Q_e y el umbral de escorrentía P_0 , deducidos para las principales subcuencas, se muestran en la ta-

bla 2. Los caudales estimados son mayores en las cuencas más orientales debido a su mayor superficie, factor determinante del caudal punta, tal y como se comprueba en la figura 3. En ella se muestran las ecuaciones de regresión que relacionan ambos parámetros –caudal máximo y superficie de cuenca vertiente–, correspondientes a las 55 subcuencas en que está dividida la vertiente y para los tres periodos de retorno considerados.

Dadas las notables diferencias en cuanto a tamaño de las subcuencas, y a efectos comparativos, se muestran además los caudales específicos estimados para cada una de ellas. Se comprueba que estos valores son más elevados en aquellas subcuencas con superficies muy reducidas, y por tanto con menores tiempos de concentración, circunstancia inherente a la metodología empleada, que considera el parámetro I como la intensidad máxima (mm/h) de un aguacero cuya duración es igual al tiempo de concentración (t_c) de la cuenca. Consecuentemente el valor de I aumentará al disminuir t_c , lo cual, a igualdad de otros factores, se traducirá en mayores valores de caudal máximo, tal y como se ilustra en la figura 4. La no linealidad de las series representadas en ella obedece a otros factores condicionantes también del caudal máximo, como son el coeficiente de escorrentía y la precipitación máxima en 24 horas deducida para cada subcuenca.

Los resultados de caudal máximo son, en general, bastante elevados si se tiene en cuenta su pequeña superficie. El valor

más alto se registraría en la cuenca nº 43 o rambla de Carcáuz, la de mayor extensión, y en la que los caudales correspondientes a periodos de 5, 25 y 50 años serían de 79, 162 y 196 m^3/s , respectivamente. En este sentido, el relieve, y más concretamente la pendiente, parecen ser factores determinantes. Conviene recordar que dichas estimaciones se realizaron para periodos de retorno relativamente bajos, habida cuenta de la corta longitud de las series de precipitación diaria disponibles. Para periodos de recurrencia mayores los caudales probables serían lógicamente más elevados. Si a ello se une el alto índice de ocupación de las zonas de desagüe de las ramblas por cultivos bajo plástico y edificaciones, hacen del Campo de Dalías un área de alto riesgo frente a las inundaciones. Hay que tener presente que estas estimaciones no tienen en cuenta el caudal sólido, de efectos más destructivos y que, dependiendo del grado de erosión de la cuenca en cuestión, puede llegar a alcanzar valores considerables.

Referencias

- Chow, V.T., Maidment, D.R. y Mays, L.W. (1988): *Mc Graw Hill, Inc.*, New York, 572 p.
- Ferrer, J. (1993): *CEDEX*, Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 42 p.
- Martín Rosales, W.; Pulido Bosch, A. y Vallejos, A. (1996a): *IV Simp. el Agua en Andalucía*, I, 69-80.
- Martín Rosales, W.; Pulido Bosch, A.; Vallejos, A. y López Chicano, M. (1996b): *Geogaceta*, 20 (6), 1251-1254.
- Martín Rosales, W. (1997): *Tesis Doctoral*. Univ. de Granada, 266 p.
- Meunier, M. (1991): *CEMAGREF*, Paris, 278 p.
- MOPU (1990): *Instrucción 5.2-I.C. Drenaje superficial*, D.G. de Carreteras, Madrid.
- Pilgrim, D.H. (1986): *Water Res. Res.*, 22 (99), 165-176.
- Rosgen, D.L. (1994): *Catena*, 22, 169-199.
- SCS (1972): *Soil Conservation Service, U.S. Dept. of Agriculture*, Washington, D.C.
- Témez, J.R. (1978): *M.O.P.T.*, 113 p.
- Témez, J.R. (1991): *XXIV Congress IAHS*, A: 33-40.