Análisis de curvas de agotamiento en dos ríos de Sierra Nevada (Granada; España)

Depletion curves analysis of two rivers in Sierra Nevada (Granada; Spain)

A. Adarve (*), A. Castillo (**) y B. Fedeli (*)

(*) Dpto. Geodinámica. Univ. de Granada. 18071 Granada
(**) C.S.I.C. e Insto. del Agua. Univ. de Granada. 18071 Granada, Email: acastill@goliat.ugr.es

ABSTRACT

We analyze the recession periods for 10 hydrologic years, in Monachil (Diéchar station) and Dilar (electric power station) rivers; they are located on the western part of Sierra Nevada. The area studied is mainly composed by metamorphic metapelitics rocks of the Nevado-Filabride Complex (Betic domain).
The depletion coefficients for the Monachil river varied between $4,5x10^{-3}$ y $3,7x10^{-2}$, with a medium value of $1,5x10^{-2}$ días^{-1}, for the Dilar river the coefficient are included between $5,2x10^{-3}$ y $2,0x10^{-2}$, having a medium value of $1,2x10^{-2}$ days^{-1}. A strong correlation between the day at the onset of depletion (generally during July) and annual precipitation has not been detected.
The presence in the area of springs related with very different hydraulic conductivity materials is probably one of the causes of the high variability of the results. Another reason is the strong influence of the snow and snowmelt processes on some important springs in the upper part of the valleys.

Key words: *Sierra Nevada, hard rocks, subsurface flow, depletion curves.*

Geogaceta 23 (1998), 3-6
ISSN: 0213683X

Introducción

Sierra Nevada es un sistema montañoso (con cumbres superiores a los 3.000 m s.n.m.) de aproximadamente 2.000 km^2 de extensión, que se localiza en el sureste de la Península Ibérica, donde ocupa parte de las provincias de Granada y Almería (Fig. 1). Desde el punto de vista geológico, se localiza en las Zonas Internas de las Cordilleras Béticas, siendo los materiales aflorantes predominantemente metapelitas del Complejo Nevado-Filábride (1.500 km^2), y, en menor proporción (500 km^2), materiales carbonáticos (y también metapelíticos) del Complejo Alpujárride.

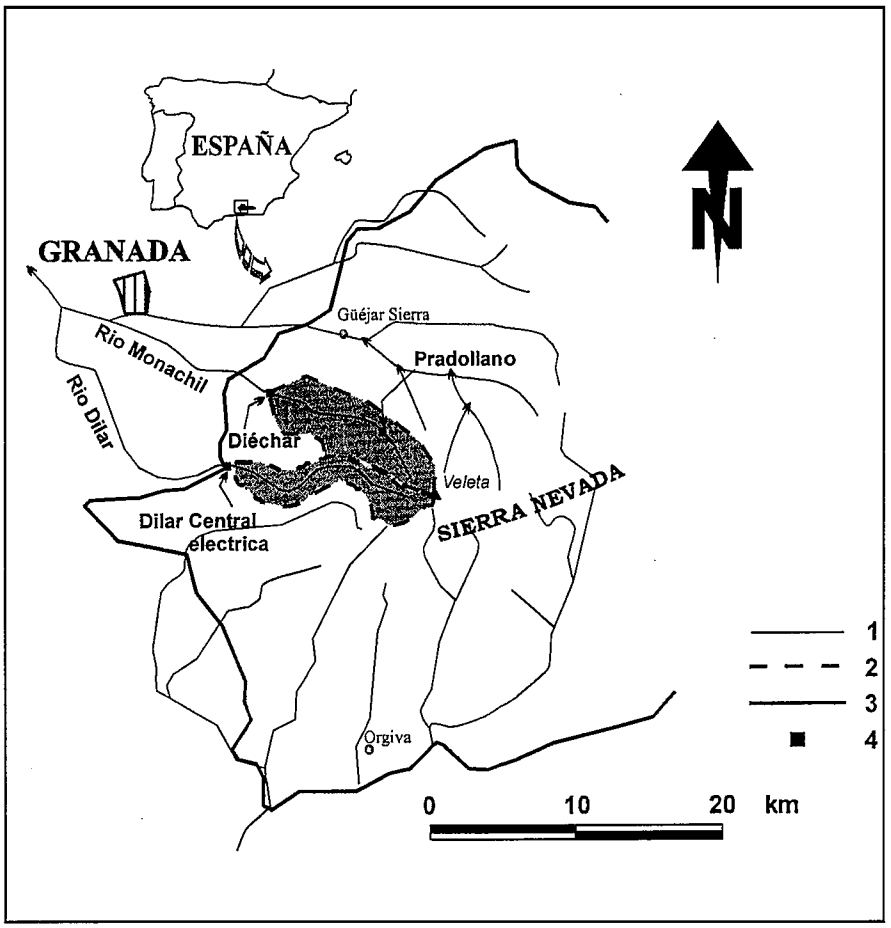

Fig. 1.- Localización geográfica de las cuencas estudiadas y situación de las estaciones de aforo de los ríos Monachil (Diéchar) y Dílar (central eléctrica). (1-ríos/2-divisorias de las cuencas de los ríos Monachil y Dílar/3-límite de Sierra Nevada (vertiente occidental)/4-estaciones de aforo).

Fig. 1.- Geographic location of the area studied and of the gauging sites of Diéchar (Monachil river) and the electric power station (Dílar river) (1-rivers/2-divide of Monachil and Dílar basins/3-boundary of S^a Nevada (western slope)/4-gauging sites)

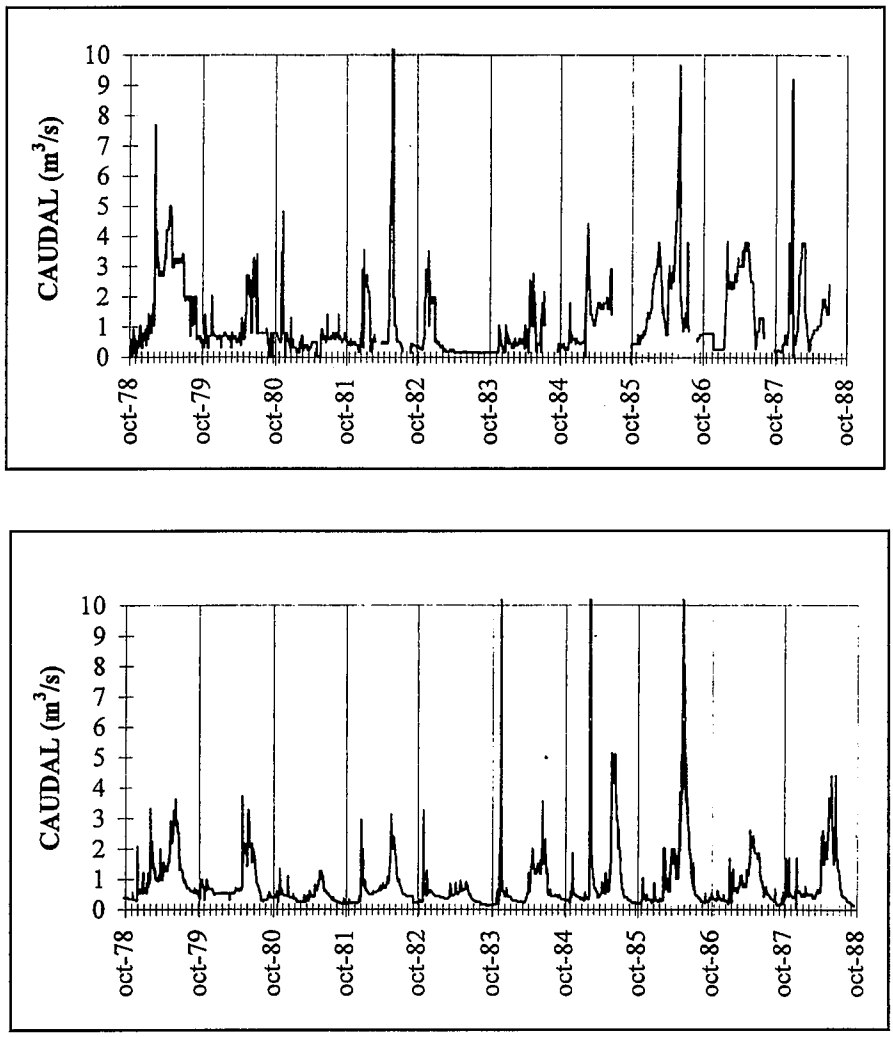

Fig. 2.- Hidrogramas analizados (ríos Monachil en Diéchar y Dílar en central eléctrica)

Fig. 2.- Hydrographs of discharge studied (Monachil river in Diéchar and Dílar river in the electric power station)

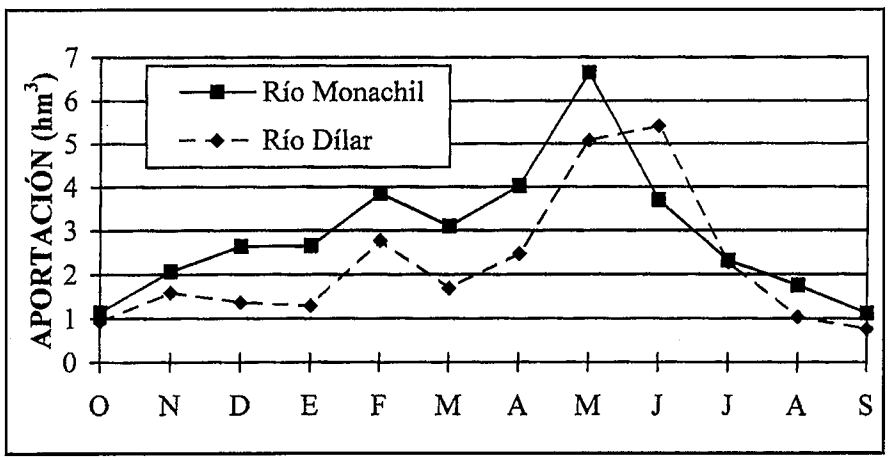

Fig. 3.- Hidrogramas medios mensuales del periodo considerado (ríos Monachil en Diéchar y Dílar en central eléctrica)

Fig. 3.- Mean monthly hydrograph of the studied period.

Desde el punto de vista hidrológico, Sierra Nevada ocupa parte de las cuencas mediterránea (1.300 km²; CHSE) y atlántica (700 km²; CHG). Las aportaciones pluviométricas son predominantemente sólidas por encima de los 2.200 m de altitud, siendo máximas en la línea de cumbres, en la que el módulo pluviométrico se ha estimado próximo a 1.300 mm. La escorrentía superficial y subterránea está fuertemente condicionada por procesos nivales (innivación-deshielo); la escorrentía subsuperficial es importante, debido a la existencia de depósitos clásticos y franjas de alteración, sobre todo por encima de los 2.000 m de altitud. Los recursos hídricos del macizo se han estimado en aproximadamente 700 hm³/a, equivalentes a una aportación específica promedio de 9 l/s/km² (Castillo, 1993; Castillo *et al.*, 1996a; Castillo *et al.*, 1996b).

El presente artículo tiene por objeto contribuir al conocimiento de la hidrogeología de los materiales metapelíticos del Complejo Nevado-Filábride; éstos han sido muy poco estudiados hasta el momento, posiblemente por habérseles atribuido tradicionalmente un escaso valor hidrogeológico. En los últimos años, y seguramente influidos por los continuos (y sorprendentes) avances de la hidrogeología de «rocas duras», se ha abierto una línea de investigación sobre estos materiales (Pulido y Ben Sbith, 1995; Al-Alwani *et al.*, 1996; Castillo *et al.*, 1996b; Fedeli y Castillo, 1997; Gisbert, 1997...). Los resultados obtenidos hasta el momento reflejan un comportamiento hidrogeológico muy interesante, tanto desde los puntos de vista cualitativo como cuantitativo.

Las cuencas de los ríos Monachil y Dílar son colindantes y relativamente similares desde los puntos de vista hidrológico y geológico (Castillo *et al.*, 1996b), si bien la cuenca estudiada para el Dílar (hasta la central eléctrica) participa de unos 20 km² de materiales carbonáticos, mientras que el resto de los materiales de ambas cuencas son esquistos metamórficos. Esta investigación ha pretendido complementar y confirmar los resultados de una investigación anterior realizada sobre las condiciones de agotamiento del río Monachil (Adarve *et al.*, 1997). También se trabaja actualmente sobre las condiciones de agotamiento de las surgencias más altas del macizo (desde los 2.000 a los 3.000 m de altitud), denominadas localmente borreguiles, chortales y chorreras, según sus formas de manifestación (Fedeli y Castillo, 1997)

Datos de partida y metodología

Para la realización de este trabajo se utilizaron las series de aforos diarios disponibles para los ríos Monachil (en Diéchar; 48

km² de cuenca) y Dílar (en central eléctrica; 42 km²), ambos pertenecientes a la vertiente occidental del macizo de Sierra Nevada (Fig. 1). En concreto, la serie analizada fue la comprendida entre octubre de 1978 y septiembre de 1988, cuyos hidrogramas pueden observarse en la figura 2. En la figura 3 se muestran los hidrogramas medios mensuales de ambos ríos. Los datos se utilizaron directamente; solo en los casos en los que se evidenciaron datos erróneos, sobre todo por defecto, al producirse obturaciones en el canal del pozo limnimétrico, se procedió a su eliminación.

La precisión en el limnígrafo de la estación de Diéchar, para caudales inferiores a 1 m³/s, fue baja al no existir doble canal (para estiaje) de menor sección. En concreto, la precisión estuvo por debajo de 100 l/s por cm de escala en numerosas ocasiones. Este hecho, junto al tratamiento manual de las bandas limnimétricas para la adjudicación de los caudales medios diarios, posiblemente por métodos gráficos, pudo ser la causa de la obtención de hidrogramas «en escalones» en esta estación. No obstante, como ya se comentó anteriormente, los datos no fueron en ningún caso manipulados, por lo que los hidrogramas obtenidos son un fiel reflejo de los datos originales de partida.

La determinación del inicio del agotamiento se realizó, de forma aproximada, y para los casos más habituales, haciéndolo coincidir con el punto inicial de la recta de agotamiento a escala semilogarítmica. El final del agotamiento coincidió con la primera elevación mantenida de caudales tras el periodo estival (obviando los eventuales picos de tormenta).

Las 10 curvas de agotamiento disponibles se representaron en escala semilogarítmica, utilizando el programa Excel para Windows'95, que ajustó la correspondiente función, y calculó el coeficiente de correlación por mínimos cuadrados. Tras este proceso hubo de descartarse las curvas correspondientes a los años 79/80 y 82/83 para el río Monachil, al dar ajustes muy deficientes. Para cada río y año hidrológico finalmente considerado, se obtuvieron los siguientes parámetros representativos del agotamiento: coeficiente de agotamiento, caudal de inicio del agotamiento (Q_0), y tiempo (en días) para el inicio del agotamiento y el necesario para alcanzar un caudal igual a 0,1 m³/s, contando desde el día 1 de mayo.

ESTACIÓN DE DIÉCHAR (R. Monachil)- CENTRAL ELÉCTRICA (R. Dílar)										
AÑO HIDROLÓGICO	APORTACIÓN (hm³)		CAUDAL INICIO AGOTAMIENTO (m³/s)		COEFICIENTE AGOTAMIENTO (días⁻¹)		DÍA INICIO AGOTAMIENTO		DÍA AGOTAMIENTO Q=0,1m³/s	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
78/79	63,15	34.96	2	0.98	0.0206	0.0088	15/7	20/7	7/12	5/4
79/80	29,88	25.74	-	0.32	-	0.0052	-	4/8	-	15/3
80/81	18,142	14.551	0.8	0.676	0.0076	0.0138	22/7	20/6	22/4	5/11
81/82	35.27	22.013	0.19	0.53	0.0045	0.009	19/7	22/7	7/12	23/1
82/83	16,166	14.156	-	0.39	-	0.0116	-	30/6	-	25/10
83/84	19,778	23.879	1.05	0.56	0.0132	0.0063	12/7	14/7	5/11	13/4
84/85	33,538	41.429	0.618	0.4	0.0115	0.0094	27/7	7/8	1/1	1/1
85/86	55,801	37.216	0.75	0.52	0.0083	0.0171	21/7	20/7	21/3	25/10
86/87	46.93	23.361	0.66	1.12	0.0164	0.0184	5/10	13/6	28/11	20/10
87/88	38,237	29.559	0.18	0.48	0.0373	0.0199	3/7	26/7	27/9	13/10

(1): Estación Diéchar
(2): Estación Dílar

Tabla I.- Algunos datos hidrológicos de interés para el análisis del agotamiento de los ríos Monachil y Dílar

Table I.- Some interesting hydrologic data for the recession curves analysis (Monachil and Dílar rivers)

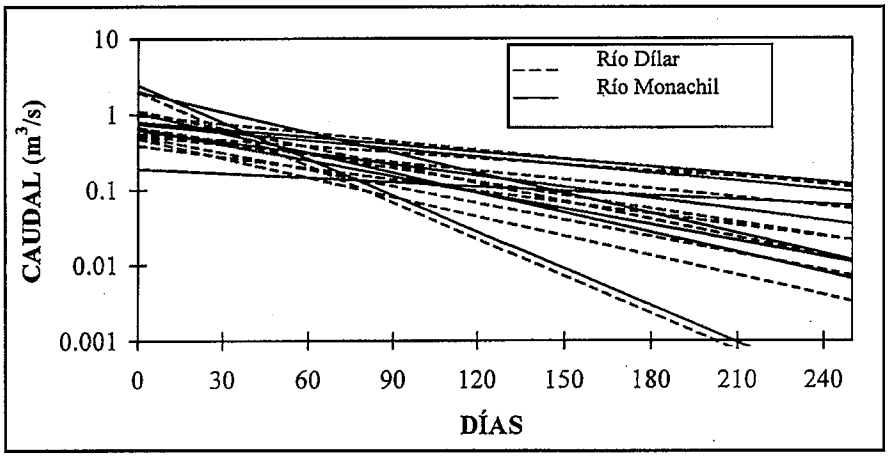

Fig. 4.- Curvas de agotamiento, a escala lognormal, de los ríos Monachil y Dílar (1978/79 a 1987/88)

Fig. 4.- Depletion curves, in a semilogarithmic scale, for the Monachil and Dílar rivers (1978/79 to 1987/88)

Resultados obtenidos

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla I, que recoge los principales parámetros representativos del agotamiento para los 10 años de control.

Las curvas de agotamiento obtenidas pueden observarse, a escala semilogarítmica, en la figura 4.

En la figura 5 se presentan varias gráficas de posible interés intepretativo que comparan los resultados obtenidos en ambos ríos: a.- caudal de inicio del agotamiento; b.- coeficiente de agotamiento; c.- día de caudal igual a 0,1 m³/s; d.- día de inicio del agotamiento; y e.- aportación anual.

Discusión

Los resultados obtenidos, y en particular los referentes a los coeficientes de agotamiento, muestran una relativa dispersión y guardan, en general, poca relación entre ellos. Ello obedecería a la concurrencia de multiples variables en el proceso de infiltración y escorrentía subsuperficial y subterránea (ligadas, en gran medida, a los procesos de innivación-deshielo), así como a la participación en los caudales de base fluvial de numerosas surgencias de muy diferente tipología y conductividad hidráulica.

Los coeficientes de agotamiento obtenidos son relativamente elevados, lo que vendría a indicar que los flujos mayoritarios en el caudal de base poseen una alta conductividad hidráulica y, en consecuencia, un rápido agotamiento. Ello es especialmente cierto para las surgencias localizadas entre los 2.000 y 3.000 m de altitud, cuyos materiales de drenaje y origen son mani-

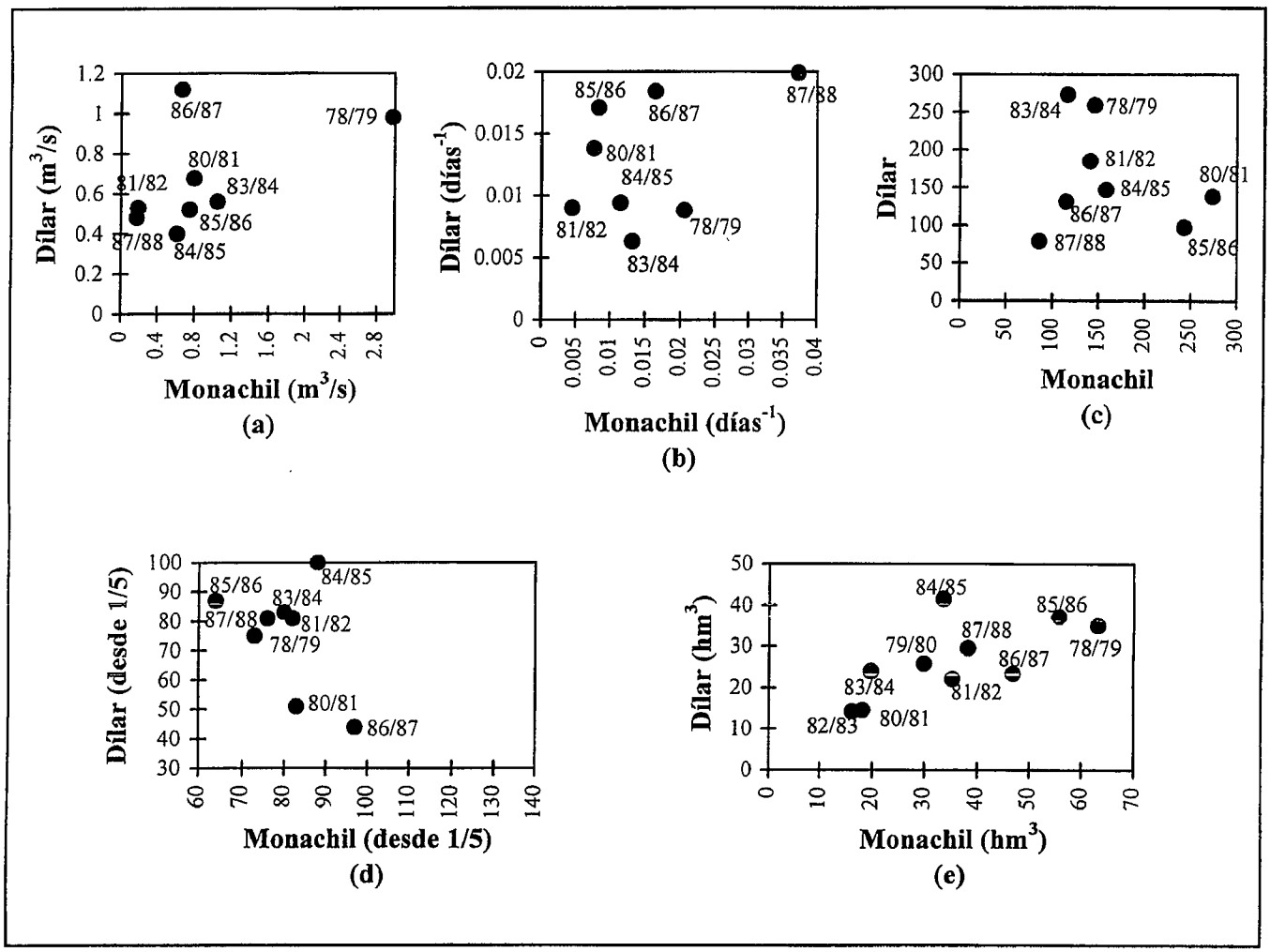

Fig. 5.- Relación entre algunos parámetros representativos obtenidos para los ríos Monachil y Dílar. a.- caudal de inicio del agotamiento; b.- coeficiente de agotamiento; c.- día de caudal igual a 0,1 m³/s; d.- día de inicio del agotamiento; y e.- aportación anual.

Fig. 5.- Relation between some obteined representative parameters for the Monachil and Dílar rivers. a- discharge at the onset of depletion; b- depletion coefficient; c- day of depletion with a discharge =0,1 m³/s; d- day at the onset of the depletion; e- annual flow.

fiestamente de naturaleza periglacial y glacial (depósitos morrénicos y crioclásticos); en estas surgencias se han obtenido coeficientes de agotamiento entre $2{,}7 \times 10^{-2}$ y 8×10^{-2} días^{-1} (Fedeli y Castillo, 1997). Otra cuestión interesante a destacar es la relación existente entre las aportaciones anuales y los coeficientes de agotamiento y caudales de inicio del agotamiento, lo que sería consecuente con la hipótesis de la existencia de un gradiente altitudinal de la conductividad hidráulica de las manifestaciones de drenaje existentes. En concordancia con lo indicado, la relación entre el caudal de inicio del agotamiento y el coeficiente de agotamiento daría lugar a una relativa correlación positiva. Sin embargo, las cuantía de dichas aportaciones no tienen gran influencia en la fecha de inicio del agotamiento, que viene a producirse mayoritariamente en el mes de julio.

Agradecimientos

Se agradece a la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir la cesión de los datos de aforo utilizados. Esta investigación se ha beneficiado de trabajos anteriores, en virtud de diferentes convenios y contratos del CSIC y la Universidad de Granada.

Referencias

Adarve, A., Castillo, A., Gisbert, J. y Al-Alwani, G. (1997): *Hydrogeology of hard rocks*. 115-124. Ed. Yelamos y Villarroya. Madrid

Al-Alwani, G., Gisbert, J. y Pulido-Bosch, A. (1996): *1ª Conf. Int. Sierra Nevada. I:* 469-481

Castillo, A. (1993): *Aguas de Sierra Nevada*. 185-251. Ed. EMASAGRA. Granada

Castillo, A., del Valle, M., Rubio, J.C. y Fernández-Rubio, R. (1996a): *1ª Conf. Intern. Sierra Nevada*, I: 389-417

Castillo, A., Gisbert, J. y Al-Alwani, G. (1996b): *Geogaceta*, 20: 1.255-1.257

Fedeli, B. y Castillo A. (1997): *Hydrogeology of hard rocks*. 159-167. Ed. Yelamos y Villarroya. Madrid

Gisbert, J. (1997): *Tesis de Licenciatura* (ined.). Univ. Granada

Pulido-Bosch, A. y Ben Sbith, Y. (1995): *Env. Geology*, 26: 57-63