

# Caudales específicos característicos de Sierra Nevada (Granada y Almería); metodología de estimación de recursos hídricos

*Specific discharge characteristic of the Sierra Nevada (Granada and Almería); methodology to water resources assessment*

A. Castillo (\*), J. Gisbert (\*\*) y G. Al-Alwani (\*\*)

(\*) C.S.I.C. e Instituto del Agua (Univ. Granada). Grupo de Investigación Recursos Hídricos y Geología Ambiental. 18071 Granada

(\*\*) Grupo de Investigación Recursos Hídricos y Geología Ambiental (Univ. Granada). 18071 Granada

## ABSTRACT

A regression analysis of specific discharge is used to water resources assessment of the Sierra Nevada. The specific discharges measured were wide-ranging and correlated well with precipitation. The maximum and minimum values obtained were of 15 l/s/km<sup>2</sup> for the Genil basin (western third of the mountain range) and of 1.5 l/s/km<sup>2</sup> for the Andarax area (at the eastern end). The mean resources measured were of 550 hm<sup>3</sup>/yr, not including anthropic consumption within the limits of the Sierra Nevada or groundwater runoff.

**Key words:** Specific discharge, runoff coefficients, water resources assessment, Sierra Nevada

Geogaceta, 20 (6) (1996), 1255-1257  
ISSN:0213683X

## Introducción

Sierra Nevada es, desde el punto de vista hidrológico (Castillo *et al.*, 1996), un macizo montañoso de 2.000 km<sup>2</sup> de extensión (Fig. 1), que forma parte de las cuencas mediterránea (1.300 km<sup>2</sup>; C.H. del Sur de España-CHSE) y atlántica (700 km<sup>2</sup>; C.H. del Guadalquivir-CHG). Sus recursos hídricos totales se han estimado en 700-750 hm<sup>3</sup>/año, de los que aproximadamente 600 hm<sup>3</sup>/año corresponden a drenajes superficiales (Bravo y Velasco, 1985; Castillo, 1985; 1993). No obstante, aún persiste gran incertidumbre acerca de estos valores y de la cuantía de otras partidas del balance. Ello se debe a la dificultad de caracterizar adecuadamente las variables hidrológicas, de por sí muy irregulares a escala espacio-temporal, junto a la escasez y heterogeneidad de los registros disponibles, y en particular de las precipitaciones.

En el presente artículo se estiman, con las series foronómicas disponibles, los caudales específicos (Qe), correlacionándolos con altitud y precipitación. Los resultados obtenidos evalúan los recursos drenados superficialmente en cerca de 550 hm<sup>3</sup>/año. De forma complementaria, el trabajo realizado supone una aproximación a la cuantificación de los coeficientes de escorrentía (CE) y de las pérdidas por evapotranspiración, aspectos del máximo interés, que son motivo de otras investigaciones.

## Datos de partida

En la figura 1 se expone la situación de las estaciones de aforo consideradas en este trabajo, junto a sus correspondientes cuencas vertientes. Las estaciones utilizadas (ocho) fueron las dotadas de limnógrafo y con series fiables de, como

mínimo, 10 años de duración. Los listados disponibles se sometieron a un chequeo previo. Los datos fueron suministrados por la CHG (para la vertiente atlántica) y por la CHSE (para la mediterránea). En la vertiente atlántica se dispuso de las estaciones de Pinos Genil (1976-77 a 1987-88; 12 años),

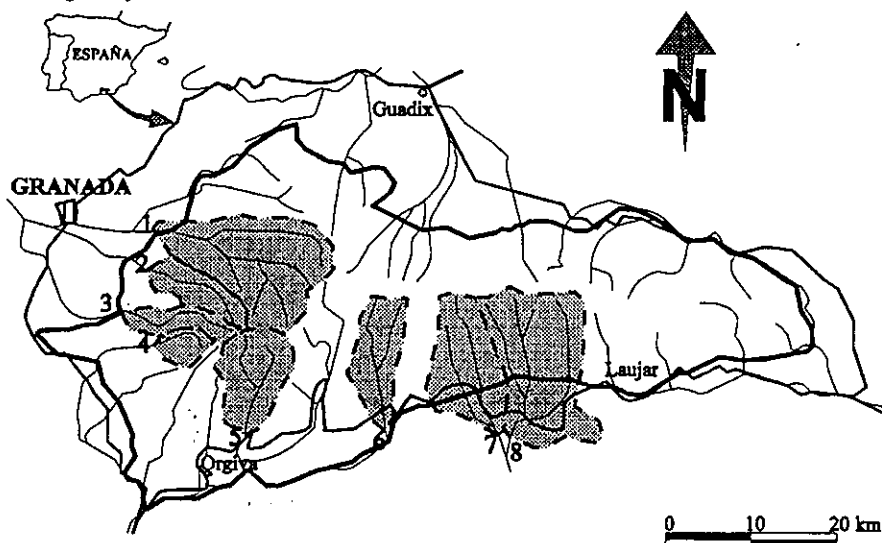


Fig. 1.- Situación geográfica de Sierra Nevada, con localización de las estaciones de aforo consideradas y de sus cuencas vertientes (1.- río Genil en Pinos Genil; 2.- río Monachil en Diéchar; 3.- río Dílar en La Espartera; 4.- río Dúrcal en los Sauces; 5.- río Poqueira en Pampaneira; 6.- río Cádiar en Narila; 7.- río Ugíjar en Las Tosquillas; 8.- río Alcolea en El Esparragal)

Fig. 1.- Geographical location of Sierra Nevada, showing gauging sites and catchment areas (1.-river Genil at Pinos Genil; 2.-river Monachil at Diéchar; 3.-river Dílar at La Espartera; 4.-river Dúrcal at Los Sauces; 5.-river Poqueira at Pampaneira; 6.-river Cádiar at Narila; 7.-river Ugíjar at Las Tosquillas; 8.-river Alcolea at El Esparragal)

Diéchar-río Monachil (1961-62 a 1992-93; 22 años) y La Espartera-río Dílar (1970-71 a 1992-93; 18 años). En la vertiente mediterránea se utilizaron las estaciones de Los Sauces-río Dúrcal (1940-41 a 1987-88; 48 años), Pampaneira-río Poqueira (1969-70 a 1993-94; 25 años), Narila-río Cádiar (1940-41 a 1952-53 y 1969-70 a 1993-94; 37 años), Las Tosquillas-río Ugíjar (1940-41 a 1977-78; 38 años) y del Esparragal-río Alcolea (1940-41 a 1953-54 y 1968-69 a 1977-78; 24 años).

Los módulos pluviométricos medios anuales fueron asignados por planimetración de mapas de isoyetas y/o por aplicación de rectas de regresión con la altitud. En todos los casos se utilizaron períodos superiores a 20 años, lo que ha minimizado los posibles desajustes con los períodos de escorrentía empleados. Para la cuenca del Genil (Genil, Monachil y Dílar) se recurrió a los trabajos de Pulido Bosch (1980), Castillo (1985) y Delgado Calvo-Flores *et al.* (1988); para la cuenca del Guadalfeo (estaciones de Dúrcal, Poqueira y Cádiar) se consideró el trabajo de Al-Alwani (1992); y, finalmente, para la cuenca del Adra (Ugíjar y Alcolea) se utilizó el mapa de isoyetas de Pulido Bosch *et al.* (1986). Los valores de altitud media se obtuvieron de las correspondientes curvas hipsométricas. Para las superficies vertientes a las estaciones de aforo se respetaron las asignadas por las

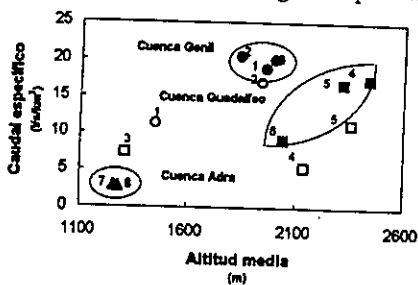


Fig. 2.- Caudal específico (Qe) - altitud media para las ocho subcuencas consideradas (en Fig. 1), así como para otras subcuencas con datos menos representativos y/o fiables (símbolos sin rellenar; 1.- río Aguas Blancas en embalse de Quéntar; 2.- río Genil en embalse de Canales; 3.- río Salado en Lanjarón; 4.- río Lanjarón en Lanjarón; 5.- río Trevélez en los Llanos)

Fig. 2.- Specific discharge (Qe) - average altitude for the eight subbasins considered (in Fig. 1), together with less representative and/or reliable data for other catchment areas (unshaded symbols; 1.- river Aguas Blancas at the Quéntar dam; 2.- river Genil at the Canales dam; 3.- river Salado at Lanjarón; 4.- river Lanjarón at Lanjarón; 5.- river Trevélez at Los Llanos)

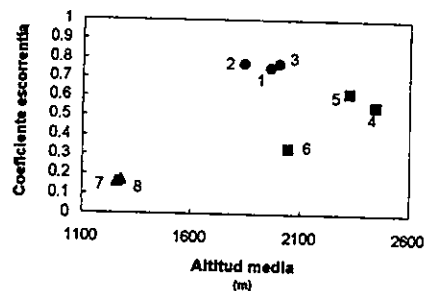


Fig. 3.- Coeficiente de escorrentía (CE) - altitud media para las ocho subcuencas consideradas

Fig. 3.- Runoff coefficient (CE) - average altitude for the eight subbasins considered

respectivas Confederaciones Hidrográficas.

De forma complementaria, se utilizaron otros valores de Qe considerados menos representativos (cuencas de pequeña extensión) o de dudosa fiabilidad (estaciones con cortos períodos de registro y/o sin limnógrafo). Ese fue el caso de las estaciones de los ríos Salado, Lanjarón y Trevélez, y de los embalses de Canales (río Genil) y Quéntar (río Aguas Blancas).

Resultados

Los principales resultados obtenidos se exponen en la Tabla 1. Dichos resultados, representan, de forma directa, la escorrentía generada en 750 km², lo que equivale al 38 % de la superficie total del sistema hídrico de Sierra Nevada (2.000 km²). Pese a constituir un buen porcentaje de control con respecto al total, la exis-

Cuenca	Est. n° CH	Años	S (km²)	Alt. (m)	Prec. (mm)	A (hm³/a)	C.E.	Qe (l/s/km²)
Genil	20	12	178	1.960	900	106	0,66	18,9
Monachil	39	22	48	1.860	850	31	0,76	20,5
Dílar	86	18	41	2.050	900	26	0,70	20,1
Dúrcal	42	48	20	2.440	950	11	0,58	17,4
Poqueira	55	25	81	2.320	860	43	0,61	16,8
Cádiar	10	37	67	2.040	800	19	0,35	9,0
Ugíjar	5	38	120	1.260	575	11	0,16	2,9
Alcolea	6	24	195	1.280	525	17	0,17	2,8
Genil	Canales		173	1.940		93		17,0
A. Blancas	Quéntar		101	1.450		36		11,3
Salado	Lanjarón		5	1.310	570	1	0,35	7,3
Lanjarón			35	2.140		6		5,4
Trevélez			108	2.360	850	38	0,41	11,2

Tabla 1.- Estaciones de aforo utilizadas y principales datos obtenidos

Table 1.- Gauging sites and main data obtained

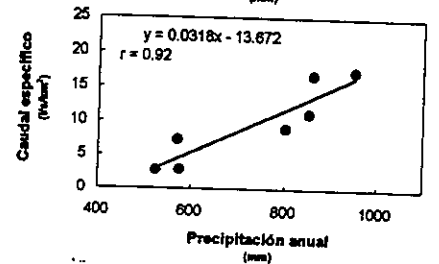
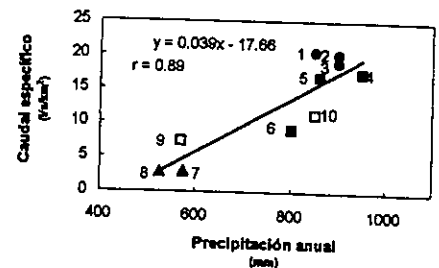


Fig. 4.- Caudal específico (Qe) - precipitación media anual estimada; arriba (A) para las ocho subcuencas consideradas y las de los ríos Salado (9) y Trevélez (10); abajo (B) para la vertiente meridional de Sierra Nevada (Dúrcal, Salado, Poqueira, Trevélez, Cádiar, Ugíjar y Alcolea)

Fig. 4.- Specific discharge (Qe) - estimated mean annual precipitation; at the top (A) for the catchment areas considered; below (B) for the south slope of Sierra Nevada (Dúrcal, Salado, Poqueira, Trevélez, Cádiar, Ugíjar and Alcolea)

tencia de, al menos, dos dominios hidrológicos diferenciados, correspondientes a las vertientes mediterránea y atlántica, dificultó la extrapolación de los Qe y CE al 62 % de superficie restante.

Las correlaciones de Qe - altitud (Fig. 2) y CE - altitud (Fig. 3) fueron similares, y ambas deficientes, poniendo de mani-

fiesto la intervención de dominios termoplúviométricos y de prácticas de derivación diferentes. Los resultados obtenidos fueron mejores en la correlación Qe - precipitación (Fig. 4A,B;  $r = 0,89$  a  $0,92$ ), sobre todo utilizando datos de una misma vertiente hidrográfica (Fig. 4B, vertiente mediterránea). Los resultados obtenidos a nivel de cuenca fueron, como es lógico, más homogéneos aún (ver Tabla 1).

Los Qe promedio de las cuencas se calcularon por correlación con las respectivas precipitaciones medias estimadas, utilizando la ecuación de regresión de la figura 4A para las cuencas del Genil y Fardes, y la de la figura 4B para las cuencas del Guadalfeo, Adra y Andarax. Los valores obtenidos fueron de  $15 \text{ l/s/km}^2$  para Genil,  $12 \text{ l/s/km}^2$  para Guadalfeo,  $6 \text{ l/s/km}^2$  para Fardes,  $3 \text{ l/s/km}^2$  para Adra y  $1,5 \text{ l/s/km}^2$  para la cuenca del Andarax.

Como resultado de aplicar estos Qe promedio se obtuvieron los siguientes recursos anuales medios de drenaje superficial: cuenca del Genil,  $190 \text{ hm}^3$ ; Guadalfeo,  $250 \text{ hm}^3$ ; Adra,  $30 \text{ hm}^3$ ; Fardes  $60 \text{ hm}^3$ ; y cuenca del Andarax  $20 \text{ hm}^3$ . En conjunto, los recursos drenados superficialmente por Sierra Nevada se estimaron en cerca de  $550 \text{ hm}^3/\text{año}$ , valor equivalente a un Qe promedio de  $9 \text{ l/s/km}^2$ .

#### Discusión

El estudio realizado pone de manifiesto la relativa imprecisión de efectuar extrapolaciones de variables hidrológicas a nivel del macizo, en el que están involucrados dominios termoplúviométricos y de usos del agua muy diferentes. La red de estaciones foronómicas y los registros actualmente disponibles ofrecen resultados bastante fiables acerca de la caracteri-

zación y evaluación de recursos de las cuencas del Genil y Adra. Los usos y derivaciones del agua dentro de la cuenca del Guadalfeo han distorsionado los valores de Qe y de CE obtenidos, por lo que todavía asignamos un cierto margen de incertidumbre a la evaluación realizada. La información foronómica que suministrará en un futuro el embalse de Rules sobre el río Guadalfeo, así como las estaciones de los ríos Lanjarón y Trevélez, permitirán finalmente ajustar el correspondiente valor de descarga.

Sin información foronómica fiable por el momento se encuentran las cuencas de los ríos Fardes y Andarax, esta última de menor importancia por la modesta cuantía de los recursos drenados. Sin embargo, es notoria la falta de control foronómico del Marquesado, en la cuenca del Fardes, en vías de resolución con la reciente construcción de las estaciones de aforo de los ríos Alhorí y del Barrio (MOPT, 1992). Los recursos asignados a esta cuenca tienen la probable imprecisión de haberse tenido que estimar por extrapolación, con la dificultad añadida de no haber podido contar con medidas de precipitación a cotas medias y altas.

De forma semejante, los CE obtenidos presentan fiabilidades diversas, dependientes del grado de control de las diferentes cuencas de Sierra Nevada. Los valores extremos de pérdidas por ETR fueron los obtenidos para las cuencas del Genil y del Andarax, con valores del 40 % y 90 % (CE del 0,60 y 0,10), respectivamente. En la cuenca del Guadalfeo, el valor medio de ETR, fuertemente condicionado por las derivaciones y riegos, al igual que en toda la vertiente mediterránea, se supone comprendido entre el 50-60 % (CE 0,50-0,40).

#### Agradecimientos

A las Confederaciones Hidrográficas del Guadalquivir y del Sur de España por la cesión de los datos de aforo utilizados. Este trabajo forma parte de las investigaciones que realiza en Sierra Nevada el Grupo de Investigación de "Recursos Hídricos y Geología Ambiental" de la Junta de Andalucía.

#### Referencias

- Al-Alwani, G.K. (1992): *Tesis Licenc.* Univ. Granada. 212 pp
- Bravo, G. y Velasco, D. (1985): *Obras civiles de regulación. En Sierra Nevada y La Alpujarra.* 2: 593-609
- Castillo, A. (1985): *Aguas superficiales y subterráneas en Sierra Nevada. En Sierra Nevada y La Alpujarra.* 1: 145-169
- Castillo, A. (1993): *Aguas de Sierra Nevada. En Aguas de Sierra Nevada.* 185-251
- Castillo, A.; del Valle, M.; Rubio, J.C. y Fernández-Rubio, R. (1996): *1ª Conf. Intern. Sierra Nevada.* I: 389-417
- Delgado Calvo-Flores, R.; Delgado Calvo-Flores, G.; Párraga, J.; Gámiz, E.; Sánchez Marañón, M. y Tenorio, M.A. (1988): *Mapa de suelos a 1:100.000 de Guéjar Sierra.* ICONA-Univ. Granada
- MOPT (1992): *La nieve en las cordilleras españolas.* Serv. Pub. MOPT. 227 pp
- Pulido Bosch, A. (1980): *Fund. J. March; serie Univ. n° 123,* 51 pp
- Pulido Bosch, A.; Benavente, J.; Castillo, A. y Padilla, A. (1986): *Proyecto LUC-DEME.* ICONA, 66 pp