

# Condiciones de surgencia en una cuenca esquistosa de alta montaña (Sierra Nevada; Granada, España)

*Spring conditions in a schistous basin of high mountain (Sierra Nevada, Granada; Spain)*

B. Fedeli (\*) y A. Castillo (\*\*)

(\*) Dpto. Geodinámica. Univ. Granada. 18071-Granada

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

## ABSTRACT

We analyzed the main factors influencing springs in the upper part of the Dilar valley (more than 2.200 m above sea level), at the heart of the metamorphic domain of Sierra Nevada (internal zone of Betic Range). We studied the most significant springs and developed a system of classification based on the main factors influencing water flow (morphologic, depositional and tectonic).

Our results show the presence of ground water flow with a very high hydraulic conductivity through different clastic deposits and, to a lesser degree, through fractures or the superficial altered layer. Strong relation were detected between water flow and morphological matter, i.e. (primarily) glacial and periglacial forms, crioclastic action forms and snowmelt processes.

**Key words:** schists, groundwater flow, springs, high mountain, Sierra Nevada

Geogaceta 23 (1998), 47-50

ISSN: 0213683X

## Introducción

El área estudiada corresponde a la cuenca alta del río Dilar (> 2.200 m s.n.m.; 15 km<sup>2</sup>), situada en el macizo de Sierra Nevada, en la provincia de Granada (España) (Fig.1). Está integrada por materiales metapelíticos metamórficos (esquistos y micasquistos fundamentalmente) del Complejo Nevado-Filábride, perteneciente a las Zonas Internas de las Cordilleras Béticas. La morfología refleja una generalizada acción glacial cuaternaria, con la presencia de formas y depósitos típicos. En la actualidad todo el área está sometida a una acción predominantemente crioclastica y nival.

En ese contexto, se describen los diferentes tipos morfogenéticos de surgencias existentes. En la terminología local se las conoce como *borreguiles*, *chortales* y *chorreras*, según su tipología.

Por lo que respecta al funcionamiento del flujo subsuperficial existente en el área nival de Sierra Nevada (por encima de los 2.000 m s.n.m.), es muy poco lo que se conoce, no existiendo publicaciones específicas al respecto. Sobre la hidrología general del macizo se encuadrarían los trabajos de Castillo (1985, 1988 y 1993) y Castillo *et al.* (1996a), o los de Al-Alwani *et al.* (1996), Pulido-Bosch y Ben Sbih (1995) y Castillo *et al.* (1996b) sobre aspectos hidrológicos de mayor detalle. La

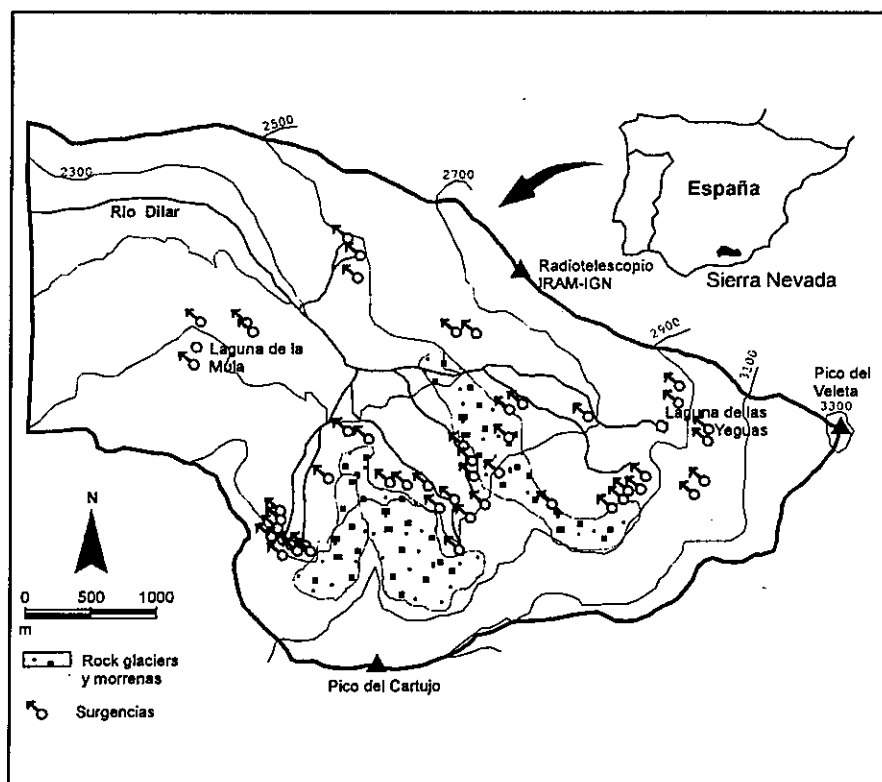


Fig. 1.- Area estudiada y ubicación de las surgencias

Fig. 1.- Studied area and springs location

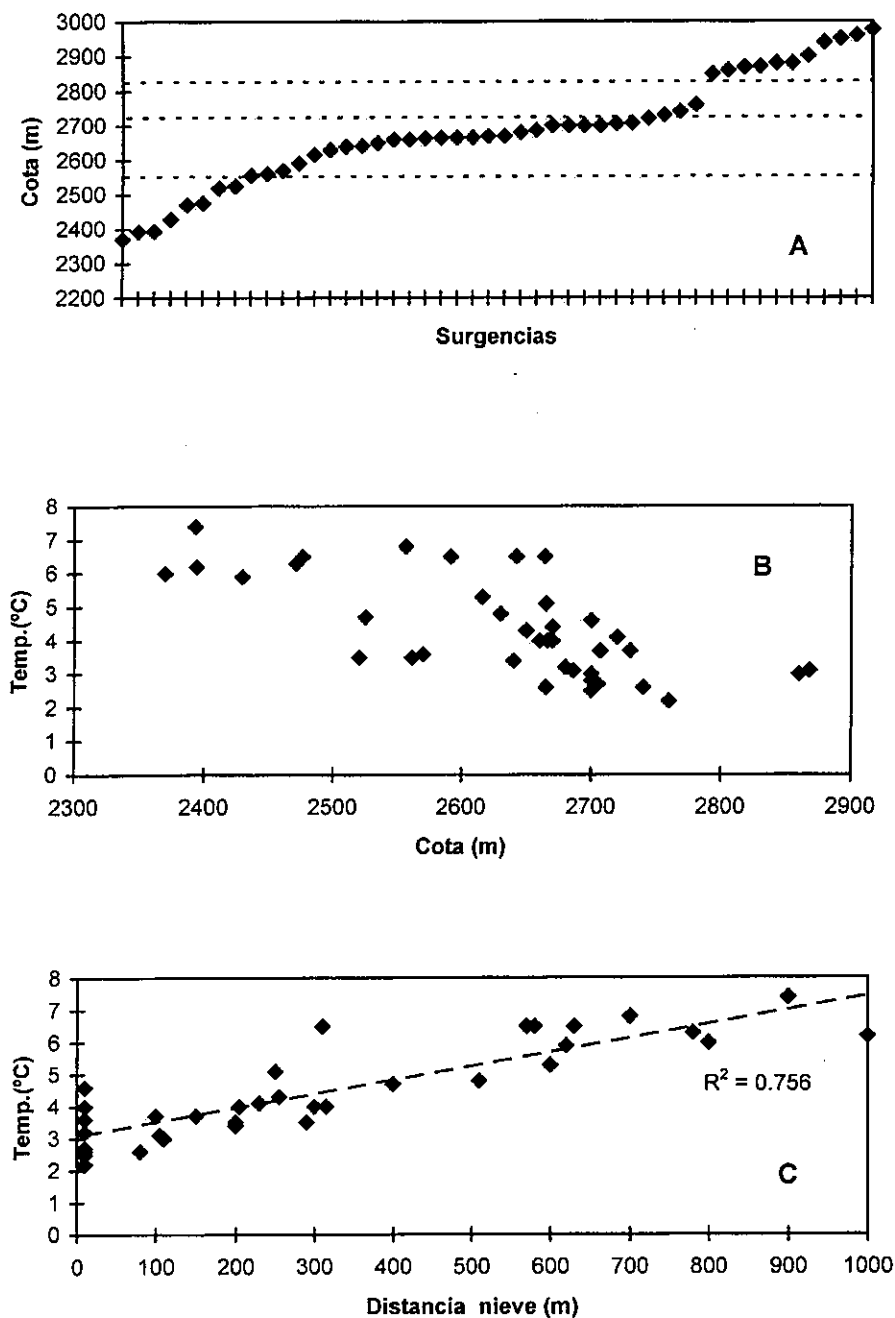


Fig. 2.- A: Distribución altitudinal de las surgencias. B: Temperatura del agua (Julio 1997). C: Relación temperatura-distancia de los neveros más próximos agua arriba.

Fig.2.- A: Altitudinal springs distribution. B: Temperature of springs water (July 1997). C: Relation between water temperature and distance from the springs to the nearest snowfield (July 1997).

guiente : croquis de surgencia, cota y localización precisa sobre mapa 1:10.000, temperatura del aire y agua, muestra de agua para su análisis, distancia al frente de nieve más próximo y aforo aproximado.

La Fig. 2 A evidencia el fuerte control altitudinal de las surgencias, tanto por su número, como por el caudal de descarga (aspecto no reflejado en el gráfico); es resaltable la escasez de surgencias significativas entre los 2.000 y 2.300 m, así como, sobre todo, por encima de los 3000 m (hasta la línea de cumbres, situada sobre los 3.400 m). Más del 60 % de las surgencias se encontrarían a lo largo de la franja de 2.600 a 2.800 m, en una superficie que supone el 30% de la extensión total de la cuenca.

En la Fig.2 B se relacionan cota y temperatura del agua. Todas las aguas poseían (en Julio de 1997) temperaturas comprendidas entre 2 y 8 °C, estando el 70 % de los valores en el intervalo de 2,5 a 4,5 °C (para cotas entre 2.600 y 2.800 m s.n.m.). La pérdida de correlación vendría determinada por la existencia de otros factores condicionantes, tales como la diferente orientación de laderas y cuencas vertientes a las surgencias, y, consecuentemente, la distinta perdurabilidad de la nieve en las mismas. De este modo, se obtiene una aceptable correlación lineal y positiva ( $R^2=0,75$ ) entre las variables temperatura del agua y distancia al frente de nieve más próximo aguas arriba (Fig.2 C).

El muestreo a lo largo de la temporada del estiaje de 1997 ha evidenciado un agotamiento relativamente rápido de las surgencias, reflejo del flujo a través de materiales altamente permeables. El aumento de temperatura en los manantiales pequeños demuestra que el flujo se encuentra dentro de la franja de heterotermia anual, confirmando, en esos casos, la hipótesis de flujo hipodérmico a través de la capa detritica y de alteración (Fig.3 B). Sin embargo, no se han detectado importantes variaciones de los parámetros durante el control día-noche, lo que excluye un significativo aporte por deshielo subterráneo y subsuperficial y la circulación en la franja de heterotermia diaria. Estos últimos resultados son objeto de una investigación en curso.

**Discusión**

A continuación se exponen los tipos de control que condicionan el flujo hipodérmico para el área estudiada, tales como el deposicional, morfológico y tectónico, entre otros (Fedeli y Castillo 1997). No obstante, en la mayoría de las surgencias observadas, las condiciones de flujo y/o emergencia

información obtenida hasta el momento, indica que este flujo está directamente condicionado por los procesos del modelado y depósitos glaciares y periglaciares cuaternarios, así como por la acción crioclástica y los procesos de innivación-deshielo actuales. Los estudios sobre el glaciario de Sierra Nevada (Soria *et al.*, 1985, Esteban Amat, 1995, Gómez Ortiz, y Salvador i Franch, 1991 y 1996, etc) han supuesto una valiosa ayuda para comprender la génesis de muchas de las manifesta-

ciones de agua existentes.

**Resultados obtenidos**

Durante el año hidrológico 1996-97, y en especial en el estiaje de 1997, se procedió a inventariar las principales manifestaciones de drenaje subterráneo existentes en la cuenca alta del río Dílar (Fig.1). En total se seleccionaron e inventariaron 49 surgencias, de las que se tomó (en Julio de 1997) la información si-

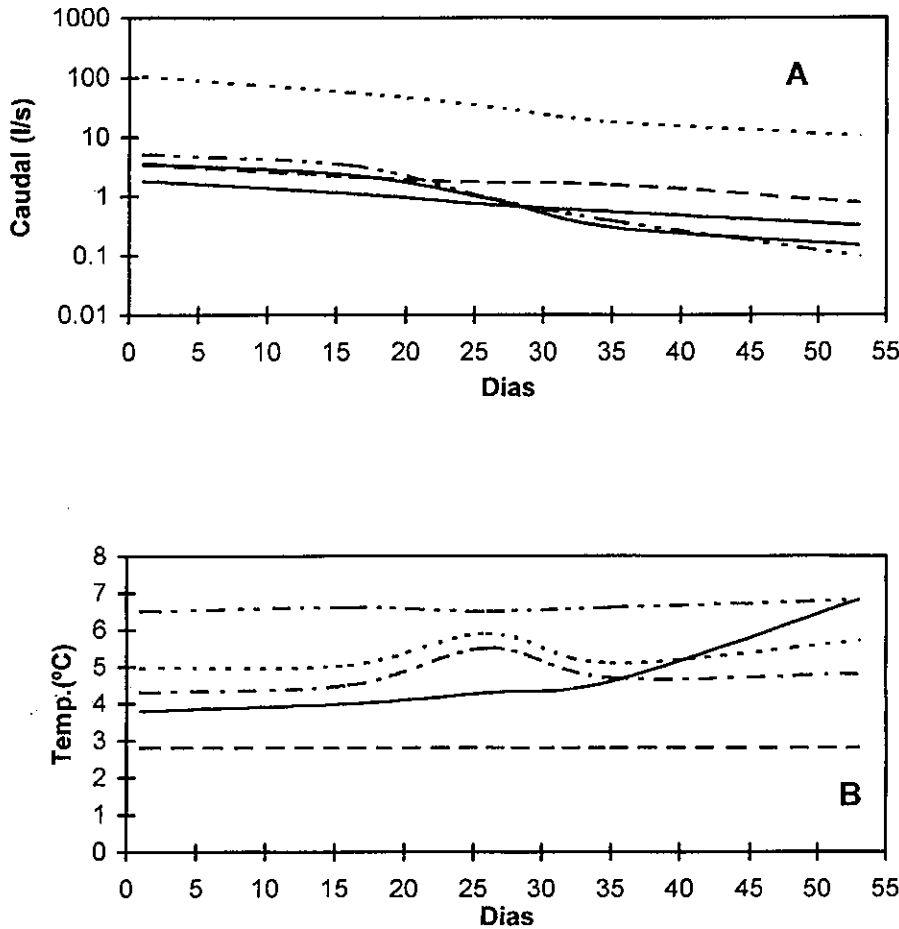


Fig.3.- A: Curvas de agotamiento de algunos manantiales representativos (estiaje 1997). El coeficiente de agotamiento está en todos los casos comprendido entre los valores  $2,7 \times 10^{-2}$  y  $8 \times 10^{-2}$  días<sup>-1</sup>. B: Evolución de la temperatura en cinco manantiales representativos (estiaje 1997)

Fig.3.- A: Depletion curves of some representative springs (summer 1997). The depletion coefficient varies between  $2,7 \times 10^{-2}$  and  $8 \times 10^{-2}$  days<sup>-1</sup>. B: Temperature evolution in five representative springs (summer 1997).

han estado controladas por varios de los tipos citados anteriormente (características mixtas).

**Control deposicional**

El flujo subsuperficial existente está estrechamente relacionado a cuerpos detríticos de alta permeabilidad. En coexistencia (infrayacente) con estos depósitos, y, generalmente, en un dominio altitudinal algo más bajo, existen depósitos morrénicos (morrenas laterales, frontales y basales) con poca fracción fina, debido al escaso recorrido de los glaciares.

Todos estos cuerpos detríticos (junto a otros de diferente génesis y menor entidad, como abanicos y mantos de derrubio), localizados en la cuenca del Dílar por encima de los 2.600 m, son los responsables de la existencia de un flujo de alta conductividad hidráulica, que deja sin manifestaciones de agua de deshielo a la franja altitudinal situada por encima

de los 3000 m (hasta los 3.400 m aproximadamente),

En los diferentes límites (tanto frontales como laterales) de estos cuerpos detríticos (en muchas ocasiones coincidentes con cambios de pendiente o con la aparición de umbrales rocosos, etc) se localizan un gran número de surgencias. (Fig. 4, surgencia A).

**Control morfológico**

La acción glacial que afectó a Sierra Nevada en el Cuaternario, aparte de dejar morrenas, modeló diferentes circos, cubetas y hombreras; estas formas aparecen actualmente «colgadas» topográficamente con respecto a la red fluvial. En la cuenca del río Dílar, y especialmente en su vertiente izquierda, orientada al Norte, la mayor inflexión de la pendiente tiene lugar entre los 2.500 y 2.800 m s.n.m. Pues bien, esta atenuación de pendientes, cuando no de concavidad de las mismas (cubetas de sobreexcavación) tiene, en sí mismo, un importante papel en la emergencia (y retención superficial en algunos casos; lagunas glaciares) del flujo subsuperficial.

La disminución de pendiente, aparte de originar importantes cambios granulométricos, disminuye la transmisividad hidráulica por pérdida de velocidad del flujo, lo que favorece procesos de emergencia. Muchas de las surgencias inventariadas jalonan este cambio de pendiente, dentro de la vertiente izquierda del río Dílar. (Fig. 4, surgencia B)

Otro tipo diferente de surgencias de control morfológico serían las ocasionadas por incisiones de la red fluvial en ni-

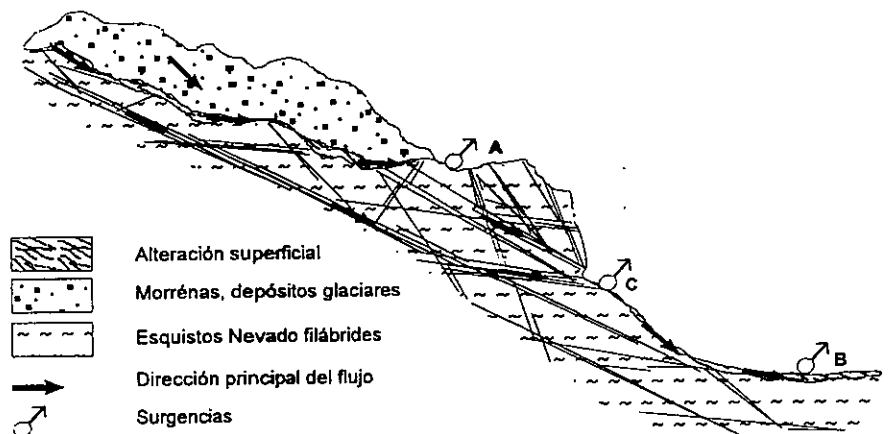


Fig.4.- Representación esquemática de los modelos de surgencias propuestos. A: Control deposicional (flujo a través de cuerpos detríticos). B: Control morfológico (principalmente reducción de la pendiente de las laderas. C: Control tectónico (flujo en fracturas).

Fig.4.- Schematic sections of the proposed spring models. A: depositional control (waterflow through detrital bodies). B: morphologic control (mainly slope inclination decrease). C: tectonic control (waterflow through fractures).

veles de alteración o depósito, si bien no son muy frecuentes en la zona estudiada (más frecuentes a cotas más bajas).

#### Control tectónico

La intensa fracturación de los esquistos de Sierra Nevada da lugar a una cierta circulación, que, en cualquier caso, no es mayoritaria en la alta cuenca del río Dílar. Ello se debe, sobre todo, a la baja extensión de los macizos rocosos (sin capas de alteración o de depósitos detríticos) y a la escasa penetratividad de fracturas transmisivas. No obstante, la infiltración en superficie es importante, si bien los flujos se ceden lateralmente hacia cuerpos detríticos de contacto, del tipo conos y mantos de derrubios. Algunas surgencias observadas se producen a través de fracturas, y en ellas es frecuente ver asociados algunos depósitos de óxidos de hierro. En la figura 4 se muestra el esquema de una surgencia-tipo (surgencia C).

#### Otros tipos de control

En cotas más bajas del macizo (por debajo de los 2.000 m s.n.m.), pero también en sectores altitudinales similares al estu-

diado, se dan otros tipos de control del flujo no comentados anteriormente. El flujo a través de niveles de alteración y edáficos, a través de discontinuidades estructurales (superficies tectónicas, grandes accidentes, etc) o a través de niveles-dren más intensamente fracturados (e incluso karstificados; mármoles), da lugar a otros tipos de surgencias no comentadas.

#### Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado merced a una beca de investigación de la Universidad de Bolonia, dentro del C.S.I.C y el Dpto. de Geodinámica de la Universidad de Granada, en el marco de los estudios de Doctorado de B. Fedeli.

#### Referencias

- Al-Alwani, G., Gisbert, J. y Pulido-Bosch, A. (1996): *1ª Conf. Intern. Sierra Nevada*. I: 469-481
- Castillo, A. (1985): *Aguas superficiales y subterráneas en Sierra Nevada*. En *Sierra Nevada y La Alpujarra*, 1: 145-169. Ed. Andalucía. Granada
- Castillo, A. (1988): *II Cong. Geol. España*. 2: 359-362
- Castillo, A. (1993): *Aguas de Sierra Nevada*, 185-251. Ed. EMASAGRA. Granada
- Castillo, A., del Valle, M., Rubio-Campos, J.C. y Fernández-Rubio, R. (1996a): *1ª Conf. Intern. Sierra Nevada*. I: 389-413
- Castillo, A., Gisbert, J. y Al-Alwani, G. (1996b): *Geogaceta*, 20 (6): 1.255-1.257
- Esteban Amat, A. (1995): *Tesis Doct.* (inéd). Univ. Barcelona
- Fedeli, B. y Castillo, A. (1997): *Hydrogeology of hard rocks*. 159-167. Ed. Yelamos y Villarroya. Madrid.
- Gómez Ortiz, A. y Salvador i Franch, F. (1991): *Notes de Geografía Física*, 20-21: 89-101
- Gómez Ortiz, A. y Salvador i Franch, F. (1996): *1ª Conf. Intern. Sierra Nevada*. I: 233-260
- Pulido-Bosch, A. y Ben Sbih, Y. (1995): *Env. Geology*, 26: 57-63
- Soria Mingorance, J., Soria Rodríguez, F.J. y Ruiz López, J.L. (1985): *Sierra Nevada y La Alpujarra*, II: 571-577. Ed. Andalucía. Granada