

SOBRE LAS SURGENCIAS DEL DOMINIO GLACIAR RELICTO DE SIERRA NEVADA (DILAR; GRANADA)

A. Castillo¹

¹ CSIC e Instituto del Agua (Univ. Granada). C/ Ramón y Cajal, 4. Edificio Fray Luis de Granada. 18071 Granada. Email: acastill@ugr.es

Abstract

A study was made of the springs in the upper part of the Dílar valley (more than 2.200 m above sea level), at the heart of the metapelitics domain of the Sierra Nevada (south of Spain; Granada). The relief of the terrain at this altitude, as well as the alteration and deposit layers, reflect periglacial effects and the vestiges of glacial action. In such circumstances, meltwater normally infiltrates, producing springs of varying types and hydrodynamic behaviour patterns. Four basic genetic types are described. It is important to determine the behaviour of these springs, as they exercise a decisive influence on the natural regime (and, especially, on the recession) of the highest rivers of the Sierra Nevada, (National Park).

Discharge and water temperature records reveal that these are impulsive water sources with little memory effect and rapid depletion. We discuss the correlations obtained between discharge-temperature, temperature-altitude and depletion coefficient-altitude. Finally, we stress the benefits to be gained from a longer term follow up of discharge and water temperature records, to provide data for the correct interpretation of the climatic changes foreseen for this fragile alpine region in Andalusia.

Key words: Sierra Nevada, glacialism and periglacialism, subsurface flow, springs

Introducción

El área estudiada corresponde a la cuenca alta del río Dílar, por encima de los 2.200 m de cota, cuyo pico culminante es el conocido Veleta, con 3.398 m; este área se sitúa en pleno corazón del macizo de Sierra Nevada, en la vertiente noroccidental, dentro de los límites del Parque Nacional (fig. 1). Con una extensión próxima a los 15 km², está integrada por materiales metapelíticos metamórficos (micasquitos sobre todo) del Complejo Nevado-Filábride, pertenecientes a la Zona Interna de las Cordilleras Béticas (Díaz de Federico *et al.*, 1980). La morfología refleja una generalizada acción glaciaria cuaternaria, con la presencia de formas y depósitos típicos; en la actualidad, el área se halla ubicada dentro del dominio periglaciario, y sometida a una severa acción crioclástica y nival, con cubierta de nieve desde diciembre hasta marzo. La mayor parte de la superficie (cerca de un 80 %)

se halla recubierta por depósitos clásticos de diferente tipología, junto con franjas de meteorización y alteración. Todo ello tiende a regularizar las pendientes y laderas, dando, en muchos sectores, la sensación de formas redondeadas. La roca madre se localiza, fundamentalmente, en escarpes cimeros, de barrancos y de circos glaciares (también en superficies pulidas y aborregadas), dando lugar a impresionantes tajeras y macizos rocosos; en superficie, la roca presenta un alto grado de fracturación tectónica y meteórica (gelifracción).

Figura 1.- Localización de la cuenca estudiada, dentro del macizo de Sierra Nevada (Granada y Almería)

Cómo es conocido, la conductividad hidráulica de este tipo de rocas cristalinas, o “rocas duras”, es baja, muy diferente del comportamiento altamente permeable, y también transmisivo, de las capas de depósito y alteración generadas por la acción glacial y periglacial. Tradicionalmente, la hidrogeología ha prestado poca atención hacia este tipo de materiales, que la observación de campo ha demostrado que transportan y, en menor medida, almacenan cantidades muy significativas de agua, influyendo decisivamente en los comportamientos hidrológicos de las áreas en que se hallan localizados. En Sierra Nevada, este tipo de circulación subsuperficial o epidérmica representa un volumen de recursos muy respetable, del orden de 350 hm³/a, es decir casi el 50 % de los recursos totales del macizo (Castillo *et al.*, 1996); dicho porcentaje se incrementa con la altitud, hasta suponer alrededor del 75 % de los recursos en la cuenca estudiada (el 65 % en la vecina cuenca del río Monachil, hasta 2.100 m de cota; Gisbert, 1997). Una evidencia de la permeabilidad y buen drenaje de estos materiales es la baja densidad de red de drenaje existente, lo que contrasta, en principio, con el carácter prácticamente impermeable de los micasquistos nevado-filábrides aflorantes.

Pese a ello, son pocos todavía los antecedentes existentes en Sierra Nevada sobre la hidrogeología de estos materiales cristalinos afectados por glaciario y periglaciario; entre ellos cabe destacar los de Castillo *et al.* (1996), Gisbert (1997), Fedeli y Castillo (1997 y 1998) y Adarve *et al.*, (1997 y 1998). Más abundantes, aunque no demasiado, son los trabajos referidos al glaciario y periglaciario de Sierra Nevada (Soria, 1985, Gómez Ortiz y Salvador i Franch, 1991, 1996; Esteban Amat, 1995...), en estrecha conexión con las manifestaciones actuales de agua y con su hidrodinámica, como se expone en este trabajo y en los citados anteriormente.

Metodología de trabajo

Para la realización de esta investigación se recurrió a trabajos de campo, llevados a cabo durante los veranos de 1997, 1998 y 1999, únicos periodos en los que el manto de nieve permitió la observación y el trabajo con cierta comodidad. Se realizó, en primer lugar, un inventario de las principales surgencias existentes, con toma de datos básicos; en una primera fase fueron 49 las surgencias reconocidas (fig.2). Al mismo tiempo, se realizó una cartografía de detalle sobre fotografía aérea a escala 1:18.000, de los depósitos crioclásticos, morrénicos y de glaciares rocosos, y de las formas erosivas glaciares. De forma complementaria, se hicieron las pertinentes observaciones de detalle sobre los principales factores condicionantes de los puntos de surgencia, así como de la naturaleza y evolución de los borreguiles (praderas hidrófilas) asociados. Una parte de los resultados recopilados se hallan todavía en estudio, estimándose muy necesaria la aportación de series de datos más largas y de investigaciones complementarias en los próximos años.

Figura 2.- Principales surgencias observadas (con identificación de las seis controladas) y grandes depósitos morrénicos y de glaciares rocosos de la cuenca alta del río Dílar

Tras una primera clasificación genética de los manantiales en cuatro tipos básicos, se seleccionaron 6 de ellos y dos secciones de arroyos como puntos de control periódico de caudal y temperatura (fig. 2). A tal efecto, se diseñaron y fabricaron unos vertederos móviles, y se adecuaron mínimamente los puntos de control. En el primer verano se incluyeron campañas de control continuo día-noche, con el fin de registrar posibles oscilaciones por deshielos diarios. También se realizó una campaña de aforos y conductividad diferencial a lo largo del río Dílar hasta el contacto con la orla carbonatada alpujárride (sobre 1.800 m.s.n.m.). Por último, se recopilaron y analizaron las series de caudal del río Dílar, y de su vecino el Monachil, con estaciones de aforos situadas a unos 1.000 y 1.300 m de cota, respectivamente.

Resultados obtenidos

El estudio de detalle de las surgencias observadas puso de manifiesto la existencia de, al menos, cuatro tipos genéticos diferentes. En la figura 3 se muestra un esquema tipo de flujo, con la ubicación de los tres principales tipos observados en el dominio estudiado (A, B y C). La práctica totalidad de las surgencias reconocidas aparecieron asociadas en detalle a cuerpos detríticos rocosos de distinto tipo (A) y a la morfología erosiva glacial (B). El flujo a través de fracturas ofreció pocas manifestaciones de drenaje, posiblemente por el escaso desarrollo en profundidad de sus aberturas (C); también se detectaron algunos tipos de surgencias, asociadas al tipo anterior, relacionadas con la circulación a través de niveles fracturados de cuarcitas (interestratificadas en los micasquistos nevado-filábrides). Más abajo del límite altitudinal reconocido, alrededor de los 2.100 m de cota, se detectaron otros grupos de surgencias, asociadas a la captura y denudación de franjas de depósitos y de alteración (en parte por erosión fluvio-nival remontante).

Figura 3.- Representación esquemática de los modelos de surgencias propuestos; A.- surgencias de control deposicional; B.- surgencias de control morfológico erosivo glacial; C.- surgencias de control tectónico

La distribución de las surgencias por altitud puso en evidencia la existencia de, al menos, cuatro niveles, situados aproximadamente a 2.100 (por debajo de la zona estudiada), 2.400, 2.690 y 2.870 m.s.n.m. El más bajo se relacionó con procesos de denudación de capas de alteración y depósito en las proximidades de barrancos. Por el contrario, el nivel de surgencias más alto, sobre los 2.870 m, marcó el límite inferior de los glaciares rocosos situados por debajo del Cascajar Negro, posiblemente asociados al periodo Tardiglacial. Por encima de los 3.000 m no se observaron manifestaciones de agua, debido a la altísima meteorización de la roca, con fuertes pendientes ligadas a las paredes de circos glaciares y de las aristas cimerales. Por fin, los niveles de agua intermedios se localizaron a 2.400 y 2.690 m, respondiendo, seguramente, al límite inferior de otros dos episodios glaciares. No obstante, el nivel localizado alrededor de los 2.690 m de altitud fue el que mayor número de surgencias asociadas presentó, respondiendo al límite inferior de los depósitos de morrénicos más extensos y mejor conservados de la cuenca estudiada. Estos niveles coinciden, a grandes rasgos, con los establecidos por especialistas en glaciología para los episodios del Riss (2.100 m), Wurm (2.300 m) y Tardiglacial (2.850 m) en la vertiente norte de Sierra Nevada (Messerli in Gómez Ortiz y Salvador i Franch, 1996). Un análisis exhaustivo de todas las surgencias (aún no realizado) quizás permita precisar con mayor detalle los niveles inferiores de los diferentes episodios glaciares acaecidos en la cuenca.

Complementariamente a las observaciones genéticas realizadas, los controles foronómicos y termométricos realizados durante los estiajes de 1997, 1998 y 1999 aportaron información de sumo

interés sobre el funcionamiento hidrodinámico. En julio de 1997, en un año nivométricamente bueno, las temperaturas de emergencia estuvieron comprendidas entre 2 y 8 °C, con un 70 % de los valores comprendidos entre 2,5 y 4,5 °C. La correlación de la temperatura con la altitud fue menor de lo que se esperaba, comprobándose que estaba modificada por el factor orientación (umbría-solana) de los depósitos clásticos de las áreas de recepción, así como, en menor proporción, por el espesor (morfología) de estos. Realmente, el mejor criterio de correlación fue el de la distancia proyectada a los frentes de neveros más próximos (ya en época avanzada de deshielo), relacionados con la altitud, pero también con la orientación de las laderas. La correlación de la temperatura con el caudal fue aceptable, y se relacionó con la velocidad del flujo. No se detectaron variaciones de caudal ni de temperatura a nivel intradiario, lo que apoyaría la existencia de un flujo por debajo de la zona de heterotermia diaria, sin aportes significativos de deshielos por debajo de la superficie del terreno.

Los caudales fluctuaron mucho, en relación directa con el tiempo transcurrido desde el inicio del deshielo, y oscilaron entre 100 y menos de 1 l/s, con caudales frecuentes en torno a los 10-30 l/s. Los agotamientos para los 6 manantiales controlados dieron un comportamiento similar, con la excepción del manantial nº 2, representativo de flujo fractural; los coeficientes de agotamiento obtenidos estuvieron comprendidos entre 2,7 y 8 x 10⁻² días⁻¹ (estiaje de 1997), indicativos del tránsito por materiales altamente conductivos, en los que el flujo, de alta velocidad, tendría un fuerte componente gravitacional, ligado a la pendiente del fondo del substrato de los depósitos clásticos glaciares. El análisis de las curvas de recesión de los ríos Dílar y Monachil, a 1.000 y 1.300 m de cota, respectivamente demostró, como era de esperar, que los coeficientes de agotamiento eran inferiores, del orden de 1,2 x 10⁻² y 1,5 x 10⁻² días⁻¹, respectivamente (Adarve *et al.*, 1997), en respuesta a flujos de menor conductividad hidráulica.

Realmente, lo que se evidenció fue la existencia de un gradiente altitudinal en el comportamiento de los agotamientos, en el sentido de un retraso de estos y un aumento de los coeficientes con la altitud. La suma de manantiales de diferente tipo y comportamiento en los caudales de base de los dos ríos de Sierra Nevada analizados (Dílar y Monachil) favorece la capacidad de regulación y el efecto memoria, especialmente en comparación con el de los manantiales situados a las mayores cotas. En dicho sentido, el efecto memoria obtenido para el río Dílar fue de 25-39 días, indicativo de materiales con una cierta capacidad de regulación (para el río Monachil, el efecto memoria obtenido fue de 18-54 días).

Agradecimientos

Esta investigación se benefició de los trabajos de campo realizados por B. Fedeli, en el marco de una beca de investigación de la Universidad de Bolonia; también se contó con la colaboración de alumnos de doctorado de la Universidad de Granada, pertenecientes al curso “*Hidrología superficial y subterránea en áreas de alta montaña; el caso del macizo de Sierra Nevada*”.

Referencias

- Adarve, A.; Castillo, A.; Gisbert, J. y Al-alwani, G. (1997). Characterization of subsurface flow in schists in Sierra Nevada (Granada, Spain) by depletion curves. *Hydrogeology of hard rocks*. Pub. International Association of Hydrogeologist. Ed. Yelamos & Villarroya. 115-124.
- Adarve, A.; Castillo, A. y Fedeli, B. (1998). Análisis de curvas de agotamiento en dos ríos de Sierra Nevada (Granada; España). *Geogaceta*, 23: 3-6

Castillo, A.; del Valle, M.; Rubio, J.C. y Fernández Rubio, R. (1996). Síntesis hidrológica del macizo de Sierra Nevada (Granada y Almería). *10 Conf. Int. Sierra Nevada*, I: 389-413

Díaz de Federico, A.; Puga, E.; Gallegos, J.A.; González, J.M.; Sanz de Galdeano, C.; Burgos, J. y Fontboté, J.M. (1980). *Mapa Geológico de España a escala 1:50.000 de Güejar Sierra (1027) y memoria explicativa*. Serie MAGNA. IGME. 53 p. Madrid

Esteban Amat, A. (1995). *Evolución del paisaje postglaciar en la montaña mediterránea occidental. Ejemplos del Pirineo Oriental y Sierra Nevada*. Tesis Doct. (Inéd.). Univ. Barcelona

Fedeli, B. y Castillo, A. (1997). Different kinds of morphogenetic springs in the upper Dilar valley (Sierra Nevada, Granada, Spain). *Hydrogeology of hard rocks*. Pub. International Association of Hydrogeologist. Ed. Yelamos & Villarroya. 159-167.

Fedeli, B. y Castillo, A. (1998). Condiciones de surgencia en una cuenca esquistosa de alta montaña (Sierra Nevada; Granada, España). *Geogaceta*, 23: 47-50

Gisbert, J. (1997). *Caracterización de procesos erosivos en la cabecera del río Monachil (Granada)*. Tesis Licenc. (Inéd.) Univ. Granada

Gómez Ortíz, A. y Salvador i Franch, F. (1991). Aportaciones significativas al conocimiento del glaciario y periglaciario de Sierra Nevada. *Notas de Geografía Física*, 20-21: 89-101

Gómez Ortíz, A. y Salvador i Franch, F. (1996). Acerca de la génesis y morfodinámica del glaciario de Sierra Nevada. *10 Conf. Intern. Sierra Nevada*, I: 233-260

Soria, J.; Soria, F.J. y Ruiz, J.L. (1985). El Glaciario. *En Sierra Nevada y la Alpujarra* (ed. Andalucía): II: 571-577