

BENAVENTE, J. ; HIDALGO, M.C. y CASTILLO, A. (2005)

"Caracterización físico-química e hidrológica preliminar del proceso de deshielo en un sector de alta montaña mediterránea (cabecera del río Genil, Sierra Nevada, Granada)"

Publicaciones del IGME: serie Hidrogeología y Aguas Subterráneas, nº 14. ISBN: 84-7840-579-8. VI Simposio del Agua en Andalucía. I: 483-493

## **Caracterización físico-química e hidrológica preliminar del proceso de deshielo en un sector de alta montaña mediterránea (cabecera del río Genil, Sierra Nevada, Granada)**

Benavente Herrera, José <sup>1</sup>, Hidalgo Estévez, María del Carmen<sup>2</sup> y Castillo Martín, Antonio<sup>1,3</sup>

1: *Instituto del Agua, Universidad de Granada. Ramón y Cajal, 4. 18071 Granada. [jbenaven@ugr.es](mailto:jbenaven@ugr.es)*

2: *Departamento de Geología, Universidad de Jaén. [chidalgo@ujaen.es](mailto:chidalgo@ujaen.es)*

3: *C.S.I.C., Granada. [acastill@ugr.es](mailto:acastill@ugr.es)*

**Palabras clave:** Deshielo, conductividad y temperatura del agua, río Genil, Sierra Nevada

### **RESUMEN**

El proceso de deshielo en el macizo montañoso de Sierra Nevada induce un régimen hidrológico particular en los principales cursos que lo drenan, caracterizado por aportaciones máximas al final de la primavera y comienzo del verano. Se aborda aquí la caracterización físico-química (medidas de conductividad eléctrica y temperatura del agua "in situ" en más de un centenar de puntos) y foronómica en el sector de cabecera del río Genil (unos 80 km<sup>2</sup>, con cotas entre 1.150 m y 3.482 m), entre los meses de junio y septiembre de 2004. Los puntos considerados comprenden tanto secciones de los principales cursos fluviales como lagunas de alta montaña, surgencias, chorreras y agua de fusión nival. El conjunto de datos, como puede esperarse dado el ámbito hidro-meteorológico y la naturaleza mayoritariamente silíceo del macizo, indica aguas de salinidad y temperatura muy bajas en los sectores más elevados. El flujo superficial origina luego aguas con conductividad media de unos 40 µS/cm y temperaturas generalmente comprendidas entre 5 y 15 °C. Ambas variables incrementan sus valores a lo largo del periodo estival, alcanzándose máximos de aproximadamente 110 µS/cm y 25 °C al final de la cuenca. El flujo subsuperficial induce características algo diferentes.

### **INTRODUCCIÓN**

La altitud relativamente elevada del macizo de Sierra Nevada (provincias de Granada y Almería) condiciona, entre otros aspectos de interés geomorfológico y medioambiental, un régimen hidrológico característico dentro del contexto geográfico

andaluz. En efecto, los cursos de agua que drenan este macizo presentan sus aportaciones más elevadas al final de la primavera o a principios del verano, claramente desplazadas de los meses en que se registran los máximos pluviométricos típicos del clima mediterráneo (Castillo *et al.*, 1996a; Castillo, 2001).

La causa del citado régimen hidrológico está en el proceso de fusión nival o deshielo. Este proceso es tanto más importante cuanto mayor sea la proporción de sectores de “alta montaña” en las cuencas drenadas. Otros factores, como la latitud, situación o la orientación de las cuencas, tienen también influencia. La delimitación altitudinal de la alta montaña en el área es algo arbitraria, aunque si se toma como referencia la curva de nivel que abarca la superficie más frecuentemente cubierta de nieve a comienzos de la primavera, puede retenerse la cota de 2.500 m como límite inferior de dicha zona.

La caracterización hidrológica del proceso de deshielo se ha basado generalmente en los registros de una serie de estaciones de aforo controladas por los Organismos de Cuenca que se ubican en diferentes secciones fluviales alrededor del macizo. Es pertinente recordar aquí que la mayor parte de la vertiente norte corresponde a la cuenca atlántica (río Guadalquivir), mientras que el resto del macizo drena hacia distintos cursos de la vertiente mediterránea. Genil y Fardes son los dos afluentes del Guadalquivir que colectan el drenaje de la práctica totalidad de la vertiente septentrional de Sierra Nevada, mientras que los ríos Guadalfeo, Adra y Nacimiento son los ríos que drenan la vertiente meridional (Castillo *et al.*, 1996a).

Además de la fuente de información general citada, en algún curso existen o han existido registros foronómicos para estudios específicos. Es el caso de la cabecera del río Monachil, en la estación invernal de Pradollano (Gisbert, 1998), de la cuenca del Poqueira (Al-Alwani, 1997) o del Arroyo Salado, junto a Lanjarón. En el caso del río Poqueira se llegó a realizar incluso una modelización de los procesos de deshielo.

Frente a esta disponibilidad de datos que permiten la caracterización hidrológica del proceso de deshielo, existe una relativa escasez de datos físico-químicos de las aguas generadas en dicho proceso. En estudios previos, los autores de este trabajo se han concentrado en obtener ese tipo de datos en los enclaves lagunares que aparecen salpicados por los sectores más elevados de la alta montaña nevadense (Benavente *et al.*, 2004) o en la caracterización físico-química de la descarga por surgencias de diferente tipología hidrogeológica (Benavente y Castillo, 1989).

En el presente estudio, la atención se concentra en datos físico-químicos (conductividad eléctrica y temperatura de las aguas) medidos *in situ* sobre todo en cauces fluviales, aunque se mantiene la comparación con valores de esas variables obtenidos en otros enclaves hidrológicos de la alta montaña nevadense. El trabajo se circunscribe a una de las subcuencas que comprende mayor extensión de zonas de alta montaña, según han sido antes definidas, dentro del macizo de Sierra Nevada: la cabecera del río Genil. El periodo de estudio corresponde a los meses de verano del año 2004. Hay que indicar que ese año se caracterizó por presentar

importantes precipitaciones de nieve al final de la primavera. Ello motivó que el efecto principal del deshielo en el área de estudio se retrasara hasta casi finales del mes de julio, cuando lo usual son fechas más próximas al comienzo o mediados de junio.

## DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO. ACCESOS

La subcuenca seleccionada (ver figura 1) tiene una superficie ligeramente inferior a 80 km<sup>2</sup>. Se localiza unos 15 km al este de la ciudad de Granada, a escasa distancia de la localidad de Güéjar Sierra, aguas arriba del embalse de Canales. Comienza a una altitud algo por debajo de los 1.500 m, en el sector de confluencia del río Genil con el Barranco de San Juan, tributario por la margen izquierda.

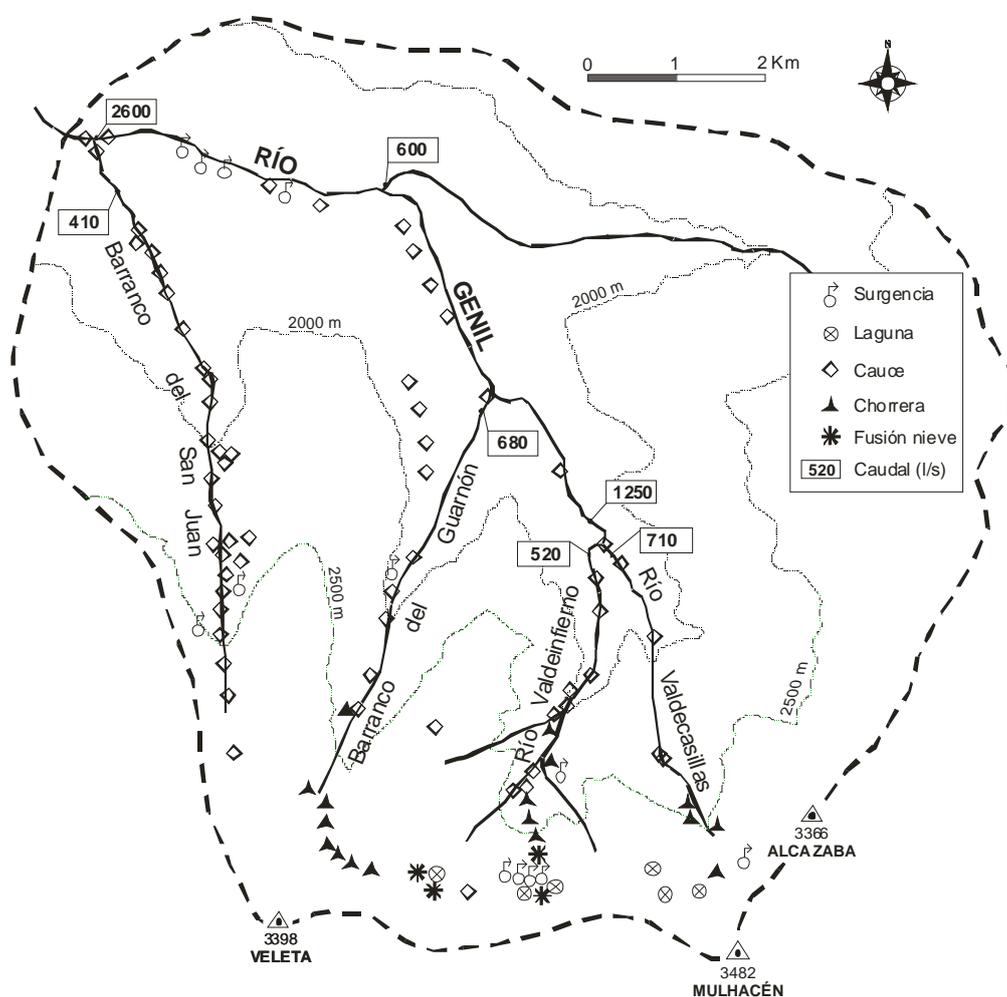


Figura 1. Esquema de la cuenca alta del río Genil con indicación de sus principales rasgos altimétricos. Se incluye la localización y naturaleza de los puntos de agua en que se han realizado medidas.

Se trata de un área sujeta a protección medio-ambiental, bajo las figuras de Parque Natural y Parque Nacional (cotas altas). Destaca por su gran belleza paisajística, pues desde ella se percibe la perspectiva más “alpina” del macizo de Sierra Nevada, que es la que imponen las dos abruptas laderas septentrionales de los picos Mulhacén (3.482 m, el más alto de la península ibérica) y Alcazaba (3.366 m) y, algo desplazado hacia el oeste, el Corral del Veleta, culminado por el picacho del mismo nombre y 3398 m de altitud. La impresión que causa esta panorámica de cumbres se magnifica durante el periodo en que las mismas aparecen cubiertas por nieve o ventisqueros helados, lo que generalmente ocurre desde finales de otoño a principios de verano. Este bello anfiteatro montañoso corresponde a las cabeceras de los ríos Guarnón, Valdeinfierno, Valdecasillas y Vacares. Los tres primeros cursos, junto al adyacente Barranco de San Juan, han sido los considerados en los muestreos del presente estudio. No se han realizado medidas en el río Vadillo, principal de los tributarios del Genil por su margen derecha en este área (figura 1).

La ocupación humana permanente en el área estudiada es mínima. El límite noroeste de la subcuenca es accesible a partir de la carretera que desde Granada conduce a las diferentes instalaciones de la estación invernal de Pradollano-SolyNieve. Esta ruta asfaltada se encuentra cortada al público a la altura del Albergue Universitario, a unos 2.500 m de cota. El acceso a cotas más altas a partir de ese punto debe hacerse a pie o bien, en los meses de verano, en que existe disponibilidad de ese servicio, mediante microbuses-lanzadera que aproximan a los excursionistas a las faldas del pico Veleta. Desde esta elevada posición se tiene la posibilidad de tomar una senda que discurre al pie del Corral del Veleta. La panorámica que desde allí se presenta, huelga decirlo, es espléndida, sobre todo desde el punto de vista geomorfológico.

El otro acceso reseñable de la zona de estudio corresponde a una carretera que parte de Güéjar Sierra y termina en el sector de confluencia del río Genil con el Barranco de San Juan. Esta ruta sigue en parte el trazado del pintoresco tranvía que antaño unía Granada con el sector de la mencionada unión fluvial. A partir de aquí comienza una de las joyas del senderismo andaluz, la denominada “vereda de La Estrella”, que discurre en ascensión suave, aunque progresiva, por la margen izquierda del Genil hasta conducir al pie del anfiteatro montañoso.

Aparte de estas dos vías de acceso a la zona de cumbres, que constituyen referencias imprescindibles dentro del montañismo nevadense, existe toda una red de pequeñas sendas que permiten acceder con más o menos dificultad a los diferentes puntos donde se han hecho las medidas, cuya ubicación aproximada aparece reflejada en la figura 1.

Desde el punto de vista litológico, aunque existen variaciones locales de pequeña entidad, es de destacar la homogeneidad del área estudiada. Micasquistos y cuarcitas son las rocas claramente predominantes. Se trata, pues, de un macizo básicamente silíceo.

## **METODOLOGÍA. DESCRIPCIÓN DE LOS PUNTOS DE MEDIDA**

Las medidas se han efectuado durante once jornadas distribuidas homogéneamente entre finales de junio y finales de septiembre. Se ha tratado de que los puntos de medida estén repartidos regularmente por las subcuencas estudiadas. En algunos puntos seleccionados se han llevado a cabo medidas en diferentes fechas, con objeto de tener idea de eventuales variaciones temporales de las variables físico-químicas a lo largo del periodo de estudio. El total de puntos con medidas ha sido de 113. Para cada punto se han establecido las coordenadas geográficas mediante un sistema de GPS.

Se ha asignado cada punto de medida a una de las siguientes categorías, de acuerdo con su naturaleza hidrológica: fusión directa de nieve (A), cauces (B), "chorreras" (C), lagunas (D) y surgencias (E). De ellas, la que plantea mayores problemas es la tercera. Esta categoría, cuyo nombre se toma de un término muy usual en la toponimia nevadense, se refiere, en general, tanto a flujos difusos superficiales, como a flujos subsuperficiales de agua en las cabeceras de las cuencas. En muchos casos, sobre todo en taludes rocosos, representa un estado intermedio entre las categorías A y B. Así, si se sigue el discurrir del caudal de una chorrera a lo largo de una cierta distancia, se encontrará que pasa a formar parte de un cauce bien individualizado. En otros casos, sin embargo, las chorreras son el cauce colector de surgencias, denominadas en la alta montaña de Sierra Nevada "borreguiles" (Castillo, 2000), que son enclaves con suelo turboso bien desarrollado sobre los que se asientan pastos, cuya humedad relativamente elevada está en muchos casos favorecida por ciertas actuaciones humanas.

Cuando las circunstancias lo han permitido, se han efectuado aforos con micromolinetete en los principales cauces y en las chorreras más caudalosas.

## **RESULTADOS**

En la tabla 1 se presentan los descriptores estadísticos básicos de las medidas de altitud, temperatura y conductividad eléctrica para el conjunto de puntos de agua considerados, diferenciados según las cinco categorías hidrológicas que se acaban de citar. En la figura 1 se han incluido los caudales medidos a finales de julio de 2004 en una serie de secciones fluviales. Estos datos corresponden a la campaña de aforos más completa de las realizadas en el marco del estudio.

De acuerdo con la tabla 1, los puntos muestreados aparecen a cotas aproximadas comprendidas entre los 1.150 m, correspondiente a la sección fluvial de menor altitud del área, y los casi 3.000 m de una de las lagunas. Las temperaturas varían entre 1 y 25 °C. El primer valor medido, lógicamente, en un agua de fusión directa y el segundo en un cauce de poco caudal en la parte baja de la cuenca. El valor más bajo de conductividad (5  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) se asocia, igualmente, a un agua de fusión nival, mientras que el más alto (413  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) corresponde a una surgencia.

<b>FUSIÓN NIEVE (N = 4)</b>	Media	Máximo	Mínimo	SD	CV (%)
Cota (m s.n.m.)	2769	2790	2748	23	1
C.E. ( $\mu\text{S/cm}$ )	9	23	5	10	101
T <sup>a</sup> ( $^{\circ}\text{C}$ )	4.9	11.0	1.0	5	98
<b>CAUCES (N = 68)</b>	Media	Máximo	Mínimo	SD	CV (%)
Cota (m s.n.m.)	1997	2861	1155	479	24
C.E. ( $\mu\text{S/cm}$ )	38	112	9	24	63
T <sup>a</sup> ( $^{\circ}\text{C}$ )	10.9	25.0	2.5	4	35
<b>CHORRERAS (N = 16)</b>	Media	Máximo	Mínimo	SD	CV (%)
Cota (m s.n.m.)	2415	2788	2005	184	8
C.E. ( $\mu\text{S/cm}$ )	35	78	12	17	50
T <sup>a</sup> ( $^{\circ}\text{C}$ )	7.8	15.8	3.2	3	41
<b>LAGUNAS (N = 10)</b>	Media	Máximo	Mínimo	SD	CV (%)
Cota (m s.n.m.)	2860	2958	2787	65	2
C.E. ( $\mu\text{S/cm}$ )	18	26	3	9	52
T <sup>a</sup> ( $^{\circ}\text{C}$ )	7.2	16.0	1.5	5	74
<b>SURGENCIAS (N = 15)</b>	Media	Máximo	Mínimo	SD	CV (%)
Cota (m s.n.m.)	2167	2840	1281	702	32
C.E. ( $\mu\text{S/cm}$ )	133	413	14	140	105
T <sup>a</sup> ( $^{\circ}\text{C}$ )	6.4	15.6	2.1	5	76

*Tabla 1. Resumen estadístico de los resultados de las medidas efectuadas, agrupados según las cinco categorías de puntos de agua distinguidas en este trabajo.*

Lagunas y fusión nival son las categorías que se localizan a mayor altitud media: alrededor de 2.800 m. También son las que muestran menor dispersión altitudinal. De hecho, todos los puntos de estas categorías aparecen dentro de un rango de cotas bastante restringido: entre 2.750 m y 3.000 m. La menor cota media corresponde a las muestras en cauces (unos 2.000 m), mientras que la mayor variabilidad altitudinal reside en la citada categoría y en las surgencias.

Las aguas menos salinas (en promedio) son las de fusión nival: algo menos de 10  $\mu\text{S/cm}$ . Las más salinas son las de las surgencias: 133  $\mu\text{S/cm}$  como media. Ambas categorías registran la mayor dispersión de valores, tanto de conductividad como de temperatura, con coeficientes de variación superiores al 100 %. La figura 2 representa la relación entre los valores de temperatura y la altitud de los puntos. En general, es patente una relación inversa, aunque con notable dispersión respecto de un modelo lineal.

En las figuras 3 y 4 se vincula gráficamente la conductividad con la altitud, aunque se discrimina según categorías. Para el grupo de puntos más numeroso, los cauces, la figura 3 pone de manifiesto la relación general inversa entre ambas variables. Dentro de la notable dispersión de puntos, en dicha gráfica se ha señalado una serie de ellos que corresponden a muestras obtenidas en el sector denominado Circo del Guarnón o Corral del Veleta. La figura 4 incluye sólo muestras clasificadas

como de chorreras y surgencias. Para este último grupo, la relación lineal inversa entre conductividad y altitud es clara. También se ajustan a dicha relación las muestras de chorreras situadas a mayor altitud. En esta categoría, sin embargo, existen algunas muestras de muy baja salinidad que aparecen a una altitud inferior a la que les correspondería de acuerdo con la mencionada relación lineal.

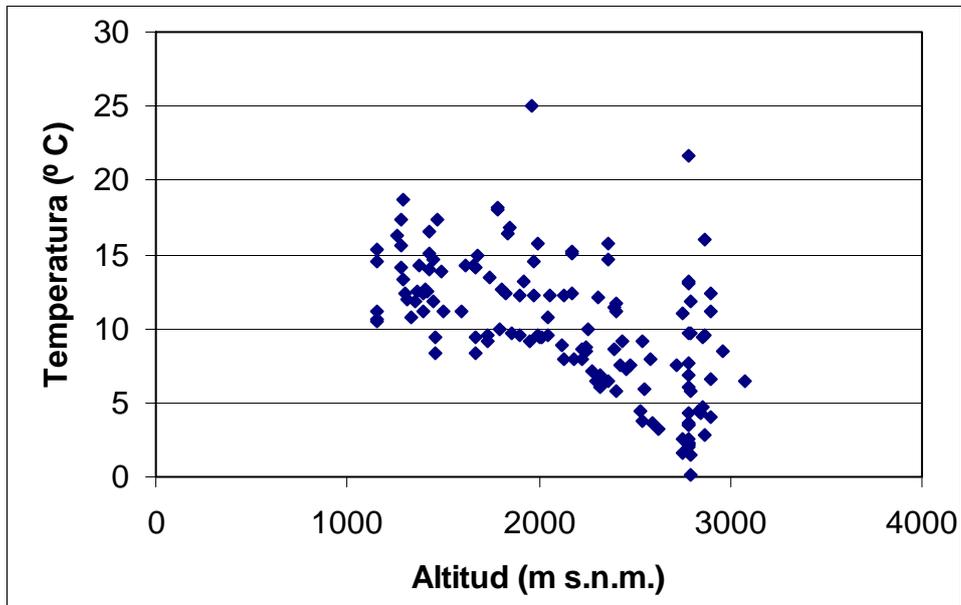


Figura 2. Relación gráfica entre temperatura del agua y altitud de los puntos para el total de medidas efectuadas.

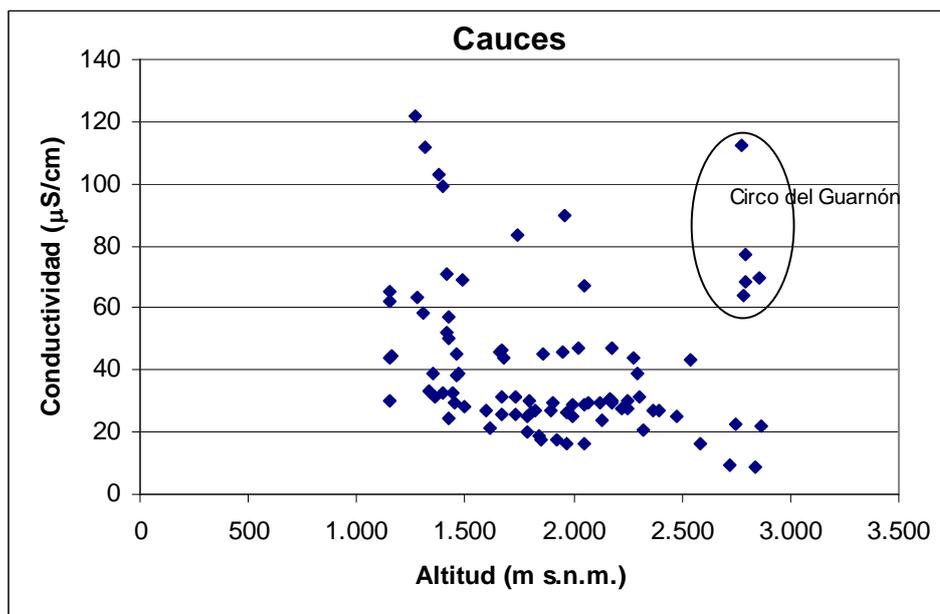


Figura 3. Relación gráfica entre conductividad eléctrica del agua y altitud de los puntos para las muestras correspondientes a cauces.

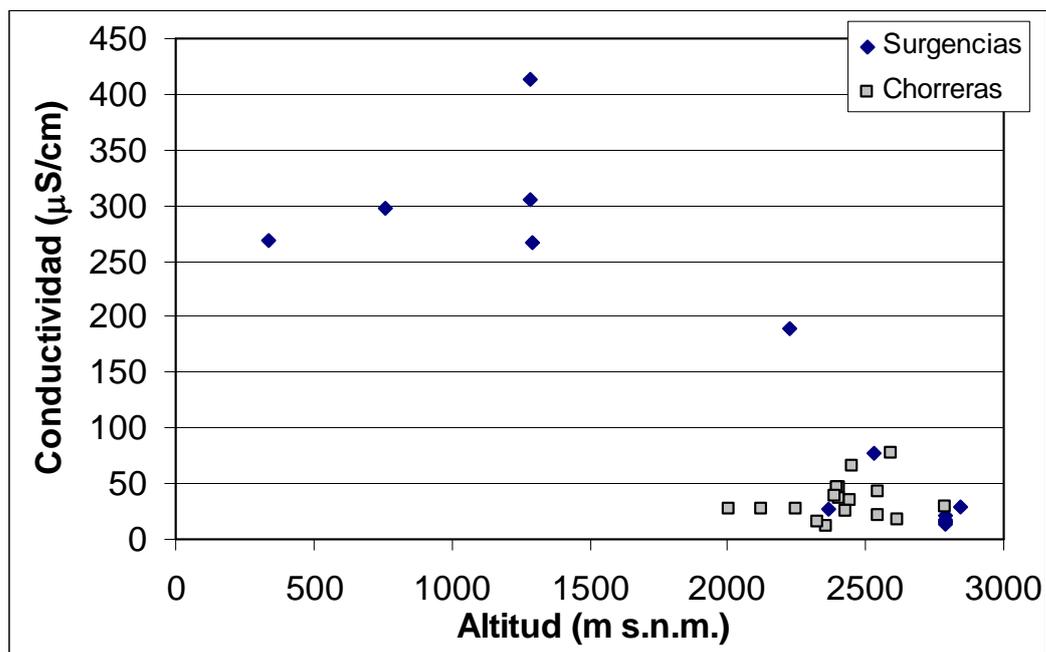


Figura 4. Relación gráfica entre conductividad eléctrica del agua y altitud de los puntos para dos grupos de muestras: surgencias y chorreras.

En la figura 5 se ha representado la variación espacio-temporal de la conductividad eléctrica. Los puntos incluidos integran una sección longitudinal a lo largo del eje fluvial Valdecasillas-Genil, desde cotas ligeramente inferiores a los 3.000 m hasta el punto más bajo de la cuenca estudiada, a 1.150 m. Las muestras corresponden a lagunas, en las cotas altas, y luego a secciones fluviales. Se incluyen en la figura citada valores de conductividad medidos a finales de cada uno de los tres meses del verano de 2004.

Se observa, en primer lugar, una tendencia general de incremento de la salinidad del agua hacia cotas más bajas para las tres fechas consideradas. En junio y julio existen disminuciones relativas aguas abajo de la confluencia del río Guarnón y del río San Juan. En septiembre, sin embargo, este último efecto de dilución no se identifica, sino que aparece en su lugar una concentración relativamente importante. En segundo lugar, es patente que los valores de conductividad en todos los puntos representados aumentan a lo largo del verano.

En cuanto a los datos de caudal obtenidos, se constata que existe una relación directa entre aportaciones y superficie drenada para cada sección. Para el conjunto de la cuenca estudiada resulta un caudal específico de deshielo (julio de 2004) de aproximadamente 30 l/s km<sup>2</sup>.

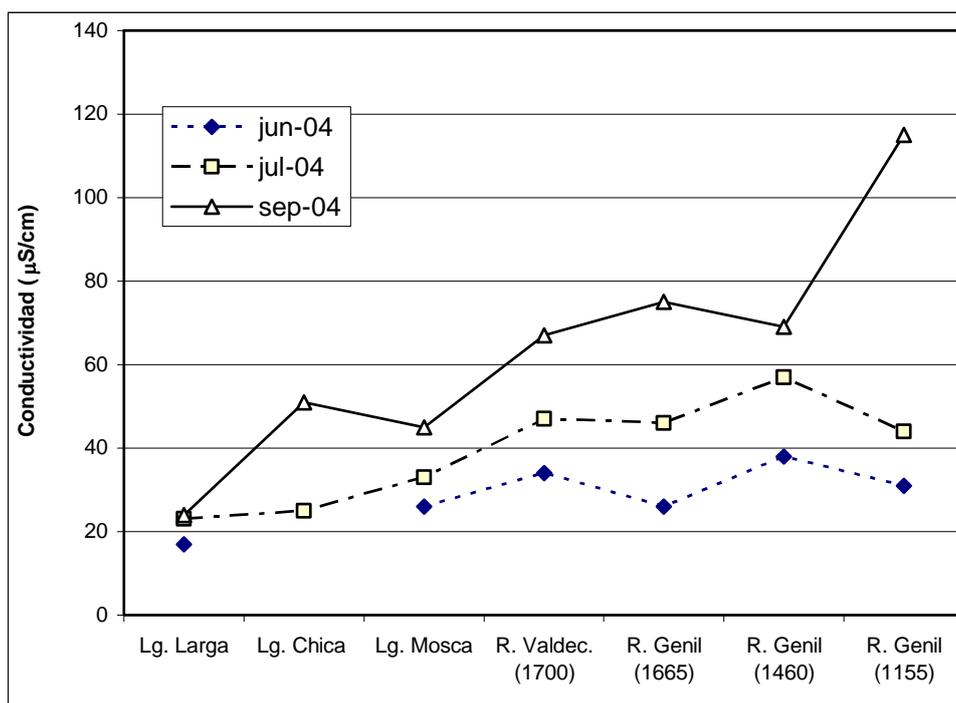


Figura 5. Valores de conductividad eléctrica en diferentes puntos de agua (lagunas y cauces) a lo largo del eje fluvial Valdecasillas-Genil en tres fechas distintas.

## DISCUSIÓN

El esquema hidrológico que cabe imaginar para el área estudiada es relativamente simple: el agua de fusión en las cumbres, muy fría y de muy escasa mineralización, es el punto de partida. A partir de ahí, el incremento de salinidad se vincula con la interacción agua-terreno, mayor en el caso de flujos subsuperficiales, y la concentración evaporativa, especialmente en los enclaves lagunares. La insolación es la principal responsable del incremento de temperatura. Los cauces principales constituyen el colector de todas las manifestaciones hídricas distinguidas e integran, en la medida de su contribución relativa al caudal total, los valores de las dos variables físico-químicas consideradas.

De acuerdo con el esquema anterior, es lógico esperar una relación directa entre conductividad y temperatura y relaciones inversas entre ambas variables y la altitud. Estas relaciones se han comprobado en el presente estudio (figuras 2, 3 y 4), así como el efecto general de concentración a medida que progresa la estación estival (figura 5).

Las mencionadas relaciones inversas se obtienen a partir de gráficos en los que se percibe una notable dispersión. Ello ya ha sido puesto de manifiesto en trabajos previos centrados en enclaves lagunares (Benavente *et al.*, 2004) y en surgencias (Fedeli y Castillo, 1997 y 1998) en sectores más extensos del macizo de Sierra Nevada. Aparte del efecto que supone la inclusión en tales gráficos de

diferentes medidas en los mismos puntos, lo cual, lógicamente, introduce variaciones físico-químicas para una misma altitud, como ocurre particularmente con las muestras de las lagunas, está el efecto derivado de que a una misma cota pueden presentarse manifestaciones hídricas con diferente tiempo de contacto agua-terreno y, por tanto, con distintos valores de conductividad y temperatura. Así sucede frecuentemente con el grupo clasificado como chorreras en este trabajo, cuyo origen puede ser diverso.

El régimen hidrológico es acorde con el carácter poco permeable de los materiales que integran el área de estudio, de manera que el caudal de los cauces principales es directamente proporcional a la superficie de las cuencas drenadas (figura 1). El caudal específico obtenido en el río Genil dentro del periodo de deshielo al final de la cuenca estudiada duplica al valor medio que ofrecen Castillo *et al.* (1996a) para ese río en una estación de aforos situada pocos kilómetros aguas abajo, lo que da idea de la importancia del deshielo en el cómputo de las aportaciones drenadas.

Entre julio y agosto (según los años) cesa completamente el proceso de deshielo y es básicamente el flujo subsuperficial a través de la capa de alteración glacial y periglacial de las cumbres de Sierra Nevada el que mantiene el caudal de los cauces (Adarve *et al.*, 1998; Castillo y Fedeli, 2002). El incremento de conductividad a lo largo del alto Genil es más patente entonces (figura 5). Es probable que el mayor ascenso de salinidad en la parte final refleje incluso influencias antrópicas a través del río San Juan, donde existe mayor grado de alteración humana.

## CONCLUSIONES

La cuenca del alto Genil (incluida la cuenca del río San Juan), en la provincia de Granada –de unos 80 km<sup>2</sup> de extensión- presenta condiciones muy favorables para la caracterización hidrológica del proceso de deshielo estival en la alta montaña mediterránea, al presentar una superficie significativa con altitudes superiores a los 2.500 m. Sus cotas extremas comprenden el intervalo entre aproximadamente los 1.150 m y los 3.482 m del Mulhacén, principal cumbre peninsular.

El trabajo se ha centrado en la caracterización físico-química de las aguas de la cuenca a lo largo del verano de 2004, un periodo en el que el deshielo se ha retrasado respecto de las fechas más usuales. Se han medido más de 100 puntos, en su mayoría en cauces, aunque también se han reconocido lagunas y surgencias.

El modelo general de interpretación de los datos físico-químicos en el proceso de deshielo estudiado parte de aguas de fusión de baja temperatura (inferiores a 5 °C) y escasamente mineralizadas (menos de 10 µS/cm). Estas circunstancias se observan igualmente en las lagunas de alta montaña, aunque con ligeros incrementos en ambas variables debido a la insolación y a la ligera concentración evaporativa a lo largo del verano.

El flujo superficial se manifiesta en chorreras y cauces e implica una cierta interacción entre el agua de fusión y el terreno, escasamente reactivo debido a su naturaleza silíceo predominante. Se generan así aguas con conductividad media de unos 40  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . El efecto de la insolación hace que las temperaturas estén generalmente entre 5 y 15  $^{\circ}\text{C}$ . Ambas variables incrementan sus valores a lo largo del periodo estival, alcanzándose máximos de aproximadamente 110  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y temperaturas de hasta 25  $^{\circ}\text{C}$  en cauces de poco caudal altamente insolados.

El flujo subsuperficial, más o menos profundo a través tanto de materiales de alteración como, en menor medida, de fracturas en las rocas, origina -debido al mayor tiempo de contacto entre el agua y el terreno- una aportación más elevada de solutos al agua, obteniéndose así valores de conductividad en las surgencias que, como media, superan los 130  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (hasta 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en algún punto). La temperatura media de este tipo de aguas es relativamente baja (media ligeramente superior a 5  $^{\circ}\text{C}$ ) debido, entre otros aspectos, a su preservación respecto del aporte energético que supone la insolación.

Las manifestaciones hídricas clasificadas como chorreras son, por su naturaleza, un grupo hídrico relativamente heterogéneo, vinculable en algunos casos a flujos subsuperficiales (incluida la descarga de lagunas), mientras que en otros casos se trata de circulación típicamente superficial -aunque difusa- a cierta distancia de donde se produce la fusión nival.

## **AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo no hubiera sido posible sin la entusiasta colaboración de Luis O'Dogherty, Esperanza Jiménez y Miguel Navarro, a los que se debe la labor de inventario y muestreo en que se ha basado el presente estudio. Al Parque Nacional de Sierra Nevada por los permisos y facilidades concedidas para realizar esta investigación.

## **BIBLIOGRAFÍA**

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

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. In: *Hydrogeology of hard rocks*. Pub. International Association of Hydrogeologist. Ed. Yelamos&Villarroya. 115-124

Al-Alwani, G. 1997. *Hidrología e hidrogeología de la cuenca del río Guadalfeo; aplicación del modelo HSPF para la simulación de la fusión de nieve y del balance hídrico*. Tesis Doct. Univ. Granada. inédita

Benavente, J. y Castillo, A. 1989. Estudio hidrogeoquímico de la cuenca del río Adra. *Est. Geol.*, 45: 81-90

Benavente, J.; Castillo, A.; Hidalgo, M<sup>a</sup> C. y El Mabrouki, K. 2004. Caracterización físico-química de lagunas de alta montaña en clima mediterráneo: Parque Nacional de Sierra Nevada (Granada). *Col. Hidrogeología y Recursos Hidráulicos*. XXVII: 261-270.

Castillo, A., 2000. Sobre las surgencias del dominio glaciar relictivo de Sierra Nevada (Dílar; Granada). *Geotemas* (1): 59-62

Castillo, A., 2001. Climatología e hidrología del Parque Nacional de Sierra Nevada. En: *Parque Nacional de Sierra Nevada*. Ed. Esfagnos. 300 p

Castillo, A.; del Valle, M.; Rubio, J.C. y Fernández Rubio, R. 1996a. Síntesis hidrológica del macizo de Sierra Nevada (Granada y Almería). *1<sup>a</sup> Conferencia Internacional sobre Sierra Nevada*, I: 389-417

Castillo, A.; Gisbert, J. y Al-Alwani, G., 1996b. Caudales específicos característicos de Sierra Nevada (Granada y Almería); metodología de estimación de recursos hídricos. *Geogaceta*, 20 (6): 1.255-1.257

Castillo, A. y Fedeli, B., 2002. Algunas pautas del comportamiento hidrogeológico de rocas duras afectadas por glaciario y periglaciario en Sierra Nevada (España). *Geogaceta*, 32: 189-191

Fedeli, B. y Castillo, A., 1997. Different kinds of morphogenetic springs in the upper Dilar valley (Sierra Nevada, Spain). In: *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., 1999. *Caracterización de procesos erosivos en la cabecera del río Monachil (Granada)*. Tesis Licenc. Univ. Granada. Inédita