

LAS LAGUNAS GLACIARES DEL PARQUE NACIONAL DE SIERRA NEVADA (Granada)

THE GLACIAL LAKES OF THE SIERRA NEVADA NATIONAL PARK (GRANADA)

A. Castillo⁽¹⁾, J. Benavente⁽²⁾ y M^a C. Hidalgo⁽³⁾

- (1) CSIC e Instituto del Agua (Univ. Granada). C/ Ramón y Cajal, 4. 18071 Granada. Correo electrónico: acastill@ugr.es
- (2) Instituto del Agua (Univ. Granada). C/ Ramón y Cajal, 4. 18071 Granada. Correo electrónico: jbenaven@ugr.es
- (3) Departamento de Geología. Universidad de Jaén. Escuela Universitaria Politécnica de Linares. C/ Alfonso X El Sabio, 28. Linares (Jaén) Correo electrónico: chidalgo@ujaen.es

RESUMEN

El glaciario cuaternario ha dejado su huella en el modelado del paisaje de las altas cumbres del Parque Nacional de Sierra Nevada. Uno de los vestigios glaciares más evidentes es el de sus lagunas, catalogadas como zonas de reserva.

Las lagunas de Sierra Nevada se hallan muy cerca de la línea de cumbres (entre 2.690 y 3.100 m de altitud), y, en general, son de modesta extensión (superficie media de 0,33 ha), someras y muchas de ellas temporales o efímeras. A pesar de su alto valor ambiental y ecológico, su nivel de conocimiento es todavía bajo. Este artículo hace un rápido repaso de las principales características y problemática de las lagunas más significativas de Sierra Nevada (39 en total).

Palabras clave: Sierra Nevada, lagunas glaciares, inventario, morfometría, características físico-químicas, Granada

ABSTRACT

The Quaternary glacial activity has left its fingerprint in the landforms of the highest sectors of the Sierra Nevada National Park. One of the most conspicuous consequences of such activity is the presence of many lakes, which are at present protected as Reserve Zones.

The lakes are located in the vicinity of the summit crests (between 2690 and 3100 m of altitude). They are, in general, of small dimensions- with an average surface of 0.33 ha- shallow, and most of them have an ephemeral hidrological regime. In spite of their high ecological and environmental value, they are yet not well known. This article briefly presents the main characteristics (morphometry, water physical-chemical data) of the Sierra Nevada high mountain lakes.

Key words: Sierra Nevada, glacial lakes, inventory, morphometry, physical-chemical characteristics, Granada

INTRODUCCIÓN

El macizo de Sierra Nevada (figura 1), de aproximadamente 2.000 km² de extensión, es un espacio de alta montaña de gran valor ambiental. En 1986 fue declarado Reserva de la Biosfera, en 1989 Parque Natural y en 1999 Parque Nacional (altas cumbres). La elevada altitud, junto con el paisaje y la morfología glaciares son unos de sus atractivos más apreciados, a los que se suman sus valiosos endemismos faunísticos y botánicos. Entre los elementos paisajísticos y morfológicos más característicos destacan las lagunas glaciares, cuyo reconocimiento les ha valido la máxima protección, como zonas de reserva dentro del Parque Nacional.

Figura 1.- Mapa de situación de las lagunas y lagunillos más significativos de Sierra Nevada. La relación puede consultarse en la tabla 1

Figure 1. Map showing the situation of the most significant small lakes and ponds in Sierra Nevada, which are listed in table 1.

Desde el punto de vista geológico, Sierra Nevada se localiza en la Zona Interna de la Cordillera Bética. Los materiales aflorantes en el núcleo central del macizo (sector de altas cumbres) son predominantemente esquistos y cuarcitas del Complejo Nevado-filábride de edad paleozoica, mientras que en la periferia, a modo de orla, destacan los afloramientos de carbonatos del Complejo Alpujárride, de edad triásica.

Desde el punto de vista hidrológico, Sierra Nevada vierte sus aguas a la cuenca mediterránea (vertiente Sur) y, en menor medida, a la atlántica (vertiente Norte). Las aportaciones pluviométricas son predominantemente sólidas por encima de los 2.200 m s.n.m., siendo máximas en la línea de cumbres, en la que el módulo pluviométrico se ha estimado próximo a 1.200 mm. La escorrentía superficial y subterránea está fuertemente condicionada por los procesos nivales (innivación y

deshielo). Los recursos hídricos se han estimado en unos 750 hm³/año (Castillo *et al.*, 1996).

Pese al carácter poco permeable de las metapelitas aflorantes, la escorrentía subsuperficial es mayoritaria en la zona de altas cumbres (por encima de los 2.500 m de altitud), debido fundamentalmente a la lenta liberación del agua de deshielo, unida a la existencia de extensos (y a veces también potentes) depósitos clásticos permeables originados a partir de procesos glaciares y periglaciares. Este flujo subsuperficial da lugar a multitud de surgencias (Adarve *et al.*, 1997; Castillo y Fedeli, 2002), localizadas generalmente en las terminaciones de los citados cuerpos clásticos. Estas surgencias son conocidas localmente como "borreguiles", en alusión a las praderas turbosas instaladas alrededor, muy apetecibles por los herbívoros domésticos y salvajes del Parque Nacional, en especial debido a ser los únicos pastizales dentro de un territorio casi exclusivamente esquistoso. Estas pequeñas surgencias constituyen el origen de casi todos los cauces fluviales de Sierra Nevada, algunos de los cuales tienen su nacimiento en las lagunas asentadas en antiguos circos glaciares. En consecuencia, los regímenes de flujo –y, en particular, de agotamiento- de estos ríos, así como de los niveles de las lagunas están estrechamente ligados al de sus surgencias de alimentación (Adarve *et al.*, 1998).

Durante el deshielo primaveral y hasta la entrada del invierno, algunas aguas fluyentes son retenidas y almacenadas en gran número de depresiones de diferentes tamaños y formas, generadas por la morfogénesis glacial. En esas formas de tipo cuchara, más o menos cerradas, se localizan una serie de lagunas, lagunillos y charcas, la mayor parte de ellas (cerca de 60) de poca entidad superficial, someras y efímeras. No obstante, en las cabeceras de los circos glaciares de mayor entidad se localizan de 30 a 40 lagunas y lagunillos de carácter permanente, aunque ello siempre está supeditado a la climatología del año en cuestión.

Aunque existen una serie de estudios previos (Castillo, 1985, 1993 y 2001; Castillo *et al.*, 1996 y 1999; Pulido *et al.*, 1996), la hidrología del macizo se conoce a un nivel todavía básico y desigual. Las lagunas son un ejemplo de esta circunstancia. Baste decir que no existen medidas de niveles o de caudales entrantes o salientes. Tampoco se conoce la delimitación precisa de algunas de sus cuencas vertientes o sus batimetrías. Algunas de ellas, incluso, carecen de denominación o existen varios nombres diferentes para designarlas, lo que puede generar confusión en ciertos casos. Seguramente ha influido en todo ello la dificultad de las investigaciones experimentales en Sierra Nevada, donde las distancias y desniveles a cubrir exigen jornadas de varios días a pie, con el trabajo adicional derivado del transporte de instrumental y muestras.

En este artículo se intentan cubrir parte de esas carencias, presentándose un primer catálogo de las lagunas consideradas más significativas de Sierra Nevada (39 en total, sin contar a la laguna-embalse de las Yeguas). En él se incluyen prioritariamente las de aguas “permanentes” y superficie superior a 400 m² a principios de verano (figura 1). No obstante, algunas de las más pequeñas y someras llegan a secarse al final del estiaje.

LAS LAGUNAS DE SIERRA NEVADA. MORFOMETRÍA

A la baja intensidad que alcanzó el glaciario en Sierra Nevada cabe imputar la localización de las lagunas a cotas elevadas, entre los 3.100 y 2.690 m de altitud, muy cerca de la línea de cumbres, así como la escasa entidad de estas acumulaciones de agua, tanto en lo que se refiere a superficie como a profundidad. La mayor parte de las lagunas se relacionan con cubetas y nichos de innivación. En menor proporción, existen lagunas en depresiones cerradas por morrenas frontales, a cotas más bajas, y en el fondo de valles.

Foto 1.- Una típica laguna abierta, Lagunillo Misterioso (arriba) y otra cerrada, Laguna de La Caldera (abajo).

Photo 1.- View of a typical small lake which is open, “lagunillo Misterioso” (above), and other which is closed, “La Caldera” (below).

Foto 2.- Una típica laguna de circo, Laguna de la Mosca, (arriba) y una de valle, Laguna Hondera (abajo).

Photo 2.- View of a typical glacial cirque small lake, “La Mosca” (above), and a valley one, “Hondera” (below).

Una vez realizado el inventario de las lagunas más significativas de Sierra Nevada (figura 1, tabla 1), se obtuvo la información morfométrica básica, excluida la batimetría (Castillo *et al.*, 2005). Las medidas fueron tomadas en aguas altas (Julio de 2001). Esa circunstancia es importante, porque la forma y dimensiones varían sensiblemente de unos años a otros y también a lo largo del estiaje, si bien algunas lagunas abiertas mantienen su nivel de manera bastante estable (lagunas del tipo A en la tabla 1).

La situación (coordenadas UTM) y dimensiones (superficie, longitud, anchura y perímetro) fueron medidas a partir de ortoimágenes digitales en blanco y negro a escala 1:2.000 (Junta de Andalucía, 2004). La altitud fue obtenida del modelo digital del terreno de Andalucía con resolución de 10x10 m (Junta de Andalucía, 2005).

Pese a que el procedimiento auguraba buena precisión, sobre el terreno se detectaron algunos errores significativos de cota. Así pues, queda pendiente de realización un levantamiento preciso de las cotas de todas las lagunas con métodos que proporcionen mayor precisión.

La profundidad máxima de las lagunas es una medida desconocida para muchas de ellas, y ha sido tomada de los trabajos de Fernández Durán (1993) y Morales *et al.* (1999). La batimetría y la superficie de las cuencas vertientes son aspectos aún pendientes de medida, si bien son conocidos para las lagunas más importantes.

Tabla 1.- *Relación de lagunas y lagunillos significativos de Sierra Nevada. A.- Altitud aproximada; S.- Superficie (julio 2001). Tipo: A.- laguna abierta; At.- abierta temporalmente; C.- cerrada.*

Table 1.- *List of the most significant small lakes and ponds of Sierra Nevada. A: Altitude; S: Surface extension (July 2001). Type: open (A); temporarily open (At); closed (C).*

Con la información altitudinal disponible (que debe tomarse con reservas por lo anteriormente expuesto), puede decirse que la laguna más alta es la del Corral, con 3.100 m, mientras que las más bajas son las del Puerto, Molinillo y Lagunillo Misterioso, con cotas de 2.690 a 2.700 m. La altitud media de las 39 lagunas consideradas (excluida siempre la laguna-embalse de las Yeguas, que haría la número 40 de la relación) es de 2.910 m (de 2.933 m para las de la vertiente Sur y de 2.839 m para las de la Norte). En la figura 2 se expone una distribución jerarquizada de las principales lagunas por altitudes.

Figura 2.- *Distribución de las lagunas más significativas de Sierra Nevada por altitud*

Figure 2.- *Altitudinal distribution of the most significant mountain lakes of Sierra Nevada*

Todas las lagunas de Sierra Nevada presentan una superficie inferior a 1 ha, con la excepción de La Caldera, con 2,34 ha y Laguna Larga, con 2,13 ha (igualmente sin considerar a la laguna-embalse de las Yeguas, con 3,20 ha). La superficie media de las 39 lagunas consideradas fue de 0,33 ha (0,32 ha para las de la vertiente Sur y 0,35 ha para las de la Norte). En la figura 3 se expone una distribución jerarquizada de las lagunas por superficie.

Cabe concluir, pues, que las lagunas de Sierra Nevada son de pequeña extensión en comparación con las de otros sistemas de alta montaña de España, y, especialmente, de los Pirineos.

Figura 3.- Distribución de las principales lagunas de Sierra Nevada por superficie

Figure 3.- Distribution of the most significant Sierra Nevada mountain lakes based on their surface extension.

Otros datos morfométricos, como longitud o anchura máximas, son sólo aproximados. No obstante, orientan sobre las dimensiones y forma de las lagunas, aunque a ese respecto es también ilustrativo el coeficiente de circularidad (relación A/A_c , en donde A es la superficie de la laguna, y A_c la superficie del círculo de igual perímetro al medido para la laguna en cuestión). En general, las lagunas son relativamente circulares, como corresponde a depósitos de agua asentados en el fondo de antiguos circos, cubetas o nichos glaciares. El coeficiente de circularidad medio obtenido fue de 0,64 (de 0,65 para la vertiente Sur y de 0,60 para la Norte).

La laguna más larga es la del mismo nombre, con 270 m, seguida por La Caldera (202 m) y Laguna Hondera (160 m). La longitud y anchura medias obtenidas para las lagunas consideradas fueron de 80 y 37 m, respectivamente.

El resultado de la estimación del perímetro depende de la escala escogida (1:2.000, según se ha dicho). Los valores más altos corresponden a las lagunas Larga (671 m), Caldera (600 m) y Hondera (472 m). La longitud total de orillas de las lagunas consideradas fue 8,5 km, equivalente a un perímetro promedio de 224 m.

Respecto a la morfología en planta de las lagunas, puede apuntarse que algunas deben su denominación a sus formas o dimensiones características (Larga, Cuadrada...). Todas tienen una forma característica, que varía conforme avanza el estiaje, algunas veces radicalmente en las lagunas que no mantienen un nivel constante, y especialmente en las cerradas.

ALGUNAS CONSIDERACIONES FÍSICO-QUÍMICAS ACERCA DEL AGUA DE LAS LAGUNAS

De forma intermitente, y durante varios veranos (especialmente en los años 2002 y 2004) se llevaron a cabo campañas de toma de datos físico-químicos in situ, seguidas de analítica de constituyentes mayoritarios y de isótopos ambientales

(oxígeno 18 y deuterio). Los resultados preliminares de las medidas en lagunas de diferentes sectores del macizo montañoso se presentan en Benavente *et al.* (2004). En otro trabajo, centrado en el sector de cabecera del río Genil, se hace una comparación entre las características físico-químicas de las aguas de las lagunas y las de otras manifestaciones hídricas: fusión nival, chorreras, cauces y surgencias (Benavente *et al.*, 2005).

En investigaciones anteriores (Fedeli y Castillo, 1997) se comprobó que la temperatura del agua de las surgencias de Sierra Nevada constituía un indicador del funcionamiento hidrológico de las mismas, razón por la cual se realizaron varias campañas de medida de este trazador físico. Sin embargo, la temperatura del agua de las lagunas (medida en varios puntos y en el emisario) está afectada también por variables como la temperatura ambiente y la profundidad del agua. No obstante, siguiendo la pauta marcada por el comportamiento de las surgencias (que alimentan a muchas de ellas), las de aguas más frías y estables se correlacionaron con las de mayores aportes y tasas de renovación, y, en definitiva, con las de nivel permanente.

La correlación lineal de la temperatura del agua de las lagunas con su altitud es baja, hecho que ya había sido puesto de manifiesto en investigaciones anteriores para las surgencias (Fedeli y Castillo, 1997). Ello se debe, según lo dicho, a que la temperatura está influenciada por otras variables externas, entre las que cabría citar la orientación de las cuencas de recepción (con influencia decisiva en el inicio e intensidad de los deshielos) y las características del cuerpo clástico bajo el que se producen los flujos subsuperficiales de alimentación. En ese sentido, las lagunas orientadas al sur y al poniente con flujos y láminas someras de agua fueron las más influenciadas por la temperatura ambiente. En el caso opuesto, las orientadas al levante y al norte con flujos a partir de glaciares rocosos y cascajares de mayor espesor son las que favorecen la conservación de aguas más frías y estables, al circular éstas, tras su fusión, a velocidad relativamente elevada a través de zonas de homotermia.

El control físico-químico más completo de los realizados se llevó a cabo en septiembre de 2004, en donde se muestrearon cuarenta lagunas, repartidas aproximadamente por igual entre las vertientes septentrional y meridional del macizo. La temperatura media general que se obtuvo fue de unos 10 °C.

En las cuencas del Genil y del Dílar, ambas en la vertiente norte del macizo, la temperatura del agua de las lagunas presentaba valores medios entre 7 y 10 °C. En las cuencas de los ríos Lanjarón y Trevélez, en la vertiente sur del macizo, la temperatura del agua de las lagunas oscilaba entre 13 y 15 °C.

Por lo que respecta a la mineralización total del agua de las lagunas, expresada como conductividad eléctrica, se comprueba que tampoco mantiene una correlación significativa ni con la temperatura de las aguas ni con la altitud. Para este parámetro, los datos obtenidos indican que la mejor correlación se obtiene con la superficie de las diferentes cuencas de alimentación (a mayor superficie, mayor conductividad), si bien esta relación se halla alterada a su vez por otras variables, entre ellas el grado de clasticidad de las cuencas y las velocidades de flujo, mayores a través de glaciares rocosos y cascajares potentes.

En el muestreo extensivo antes aludido, una mayoría de lagunas (25) registraron conductividad inferior a 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En varios casos se midieron valores anómalamente altos, de más de 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Lagunillos de La Virgen y Laguna del Corral entre otras).

En esta variable también aparecen diferencias entre los valores registrados según la vertiente del macizo que se considere, de manera que los valores medios que se obtienen para las cuencas que vierten al norte son mayores que los de las que vierten al sur. Así, en los ríos Genil y Dílar se obtienen promedios de 23 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 61 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente, que serían más altos si se incluyesen los casos anómalos antes citados. Para los ríos Lanjarón y Trevélez se obtienen promedios de 18 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 15 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente. En la primera de tales cuencas son varias las lagunas (la Cuadrada, particularmente) donde raramente se supera el valor de 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

La interpretación de estas diferencias requiere de datos representativos del agua de precipitación, líquida y sólida, y de la deposición seca, así como de su eventual variación espacial. Este tipo de datos son, por el momento, muy escasos. Lógicamente, para la interpretación de las características hidroquímicas de las lagunas también hay que establecer diferencias litológicas e hidrogeológicas entre los distintos sistemas de flujo- superficial y subsuperficial- vertientes a las mismas. Esta labor está por ahora en un estado incipiente. Por el contrario, el contenido en isótopos estables permite, por un lado, establecer semejanzas entre el agua de las lagunas, la de precipitación (nieve) y la de fusión nival y comprobar los ajustes con las rectas meteóricas establecidas a diferentes niveles (figura 4). También se observan procesos de evaporación en las muestras de las lagunas. Por otro lado, los datos isotópicos han permitido dilucidar la procedencia de la recarga mayoritaria de acuíferos situados entre el macizo de Sierra Nevada y la Vega de Granada (Kohfahl *et al.*, en prensa).

Figura 4.- Gráfico de contenidos de δ^2H versus $\delta^{18}O$ para muestras de lagunas, fusión nival y nieve entre febrero de 2004 y marzo de 2005. También se incluyen las líneas meteóricas: global (GMWL), Mediterráneo Occidental (WMMWL) y local (LMWL) (Kohfahl et al., en prensa).

Figure 4.- Plot of δ^2H versus $\delta^{18}O$ data of mountain lakes ("lagunas"), snow and snowmelt samples collected between Feb. 2004 and March 2005. Meteoric lines are also drawn: global (GMWL), Western Mediterranean (WMMWL) and local (LMWL). (Kohfahl et al., en prensa).

CONCLUSIONES

En el presente artículo se expone un primer inventario de las lagunas y lagunillos de aguas prácticamente permanentes de Sierra Nevada con más de 400 m² de superficie al final del deshielo. En total son 39 las lagunas consideradas, para las que se ofrecen sus nombres toponímicos más aceptados, cuenca, coordenadas, altitud y tipología hídrica. La toponimia es un tema esencial, sobre el que, sorprendentemente, aún existen dudas y controversias. Del mismo modo, la batimetría, superficies vertientes y tasas de renovación sólo se conocen de forma muy parcial.

Los datos obtenidos muestran que las lagunas se hallan situadas en una estrecha franja altitudinal, comprendida entre 3.100 y 2.690 m. La superficie total de lámina de agua ocupada por las lagunas consideradas es de sólo 15 ha, lo que equivale a una extensión media de 0,33 ha, mientras que la longitud total de orillas fue de 8,5 km.

El coeficiente de circularidad medio fue de 0,64, indicativo de formas relativamente redondeadas, como corresponde a la ubicación de la mayoría de ellas en el fondo de circos y cubetas glaciares. Son minoritarias las lagunas de morrena o de valle. Una fácil e ilustrativa clasificación hidrológica es la de abiertas y cerradas: entendiéndose por ello las que poseen aliviadero (y generalmente también entradas visibles) o carecen de él (y generalmente también de entradas visibles). Esta casuística relativa al drenaje tiene, lógicamente, mucha influencia en el régimen hídrico, y también debe condicionar las características físico-químicas de las aguas e influir en la estructura y dinámica ecológica de las mismas.

En cuanto a las características físico-químicas, los datos obtenidos en el control más completo realizado (final del verano de 2004) indican unos valores medios de temperatura de unos 10 °C y de conductividad eléctrica de 30 μ S/cm. También se identifican diferencias a este respecto entre las lagunas situadas en la

vertiente meridional (menor mineralización y mayor temperatura) y las de la vertiente septentrional (más mineralización y menos temperatura).

A lo largo del estiaje se observan evoluciones dispares de las láminas de agua de las lagunas, ilustrativas de su diferente régimen de alimentación y, eventualmente, sobre la impermeabilización de los vasos lagunares. Algunas lagunas cerradas presentan aparentemente una buena impermeabilización del vaso, lo que las convierte en depósitos de recepción y evaporación que hay que considerar como potenciales indicadores del comportamiento climático de las cumbres de Sierra Nevada. El control periódico de sus niveles, complementado con el de otros registros, como la temperatura del agua y su composición química e isotópica, permitirá obtener resultados muy clarificadores sobre la climatología e hidrología del macizo y sus previsibles cambios en el futuro.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren expresar su agradecimiento a Bruno Fedeli, Luis O'Dogherty, Manuel Jiménez Castillo y Juan de Dios Miranda por sus trabajos de campo. Al Parque Nacional de Sierra Nevada por los permisos, información y facilidades concedidas para realizar esta investigación. Al guía del Parque Nacional Antonio Muñoz por la información de campo suministrada.

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. In: *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

Benavente, J., Castillo, A., Hidalgo, M^a 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.

Benavente, J., Hidalgo, M^a. 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, España). En: J.A. López-Geta, J.C. Rubio y M. Martín Machuca (Eds.). *VI Simposio del Agua en Andalucía*, IGME: 483-493.

Castillo, A. 1985. Las aguas superficiales y subterráneas en Sierra Nevada (Granada y Almería). En: *Sierra Nevada*. Ed. Andalucía, 145-169.

Castillo, A. (1993). Aguas de Sierra Nevada. En: *Aguas de Sierra Nevada*. Ed. EMASAGRA, 185-252.

Castillo, A. 2000. Sobre las surgencias del dominio glaciar relictivo de Sierra Nevada (Dílar; Granada). *Geotemas*, 1 (2): 59-62.

Castillo, A. (2001). *Climatología e hidrología del Parque Nacional de Sierra Nevada*. Ed. Esfagnos.

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

Castillo, A., Cruz Sanjulián, J. y Benavente, J. 1999. Aguas de Sierra Nevada; aguas de Lanjarón. En: *Lanjarón, paisajes del agua*. Ed. Balneario de Lanjarón, S.A., 35-64.

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.

Celle-Jeanton, H. and Travi, Y. 2001. Isotopic typology of the precipitation in the Western Mediterranean region at three different scales. *Geophysical Research Letters*, 28: 1215-1218.

Craig, H. 1961. Isotopic variations in meteoric waters. *Science*, 133: 1702-1703.

Fedeli, B. y Castillo, A. 1997. Different kinds of morphogenetic springs in the upper Dilar valley (Sierra Nevada, Granada, Spain). In: *Hydrogeology of hard rocks*. Pub. International Association of Hydrogeologists. 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.

Fernández-Durán, E. 1993. Lagunas de Sierra Nevada. En: *Aguas de Sierra Nevada*. Ed. EMASAGRA.

Junta de Andalucía, 2004. *Ortofotografía digital de Andalucía (blanco y negro): provincia de Granada*. Ed. Junta de Andalucía.

Junta de Andalucía, 2005. *Modelo digital del terreno de Andalucía. Relieve y orografía*. Ed. Junta de Andalucía.

Kohfahl, C., Sprenger, C. benavente, J., Meyer, H. Y Fernández-Chacón, F. En prensa. Characterisation of groundwater recharge in a semiarid karstic environment by means of stable isotopes and hydro-geochemical data. *Applied Geochemistry*.

Morales, R., Carrillo, P.; Reche, I. & Sánchez-Castillo, P. 1999. Nitrogen-phosphorus relationship in high mountain lakes: effects of the size of catchment basins. *Can. J. Fish. Aquat. Sci*, 56: 1809-1817.

Pulido-Bosch, A., Castillo, A., Al-Alwani, G., Vallejos, A., Martín-Rosales, W., Gisbert, J. y Calvache, M^a. L. 1996. Sierra Nevada, un macroembalse hidrológico desigualmente conocido. IV Simposio sobre el Agua en Andalucía, I: 167-179.

Raya Garrido, J., 2003. Composición isotópica del vapor de agua atmosférico en el sureste de la Península Ibérica, Tesis Doctoral Universidad de Granada, Granada, 418 pp.