

## **Primeros datos sobre el inventario y caracterización morfométrica de las lagunas glaciares “permanentes” del Parque Nacional de Sierra Nevada (Granada)**

Castillo Martín, Antonio<sup>(1)</sup>, Benavente Herrera, José<sup>(2)</sup> e Hidalgo Estévez, M<sup>a</sup> del Carmen<sup>(3)</sup>

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

**Palabras clave:** Sierra Nevada, lagunas glaciares, inventario, morfometría

### **RESUMEN**

El Parque Nacional de Sierra Nevada posee cerca de 40 lagunas de aguas prácticamente permanentes, catalogadas como zonas de reserva, sobre las que existe poca información de base. Los autores vienen desarrollando desde el año 2002 una investigación sobre ellas, cuya finalidad es instaurar una sistematización de medidas hidrológicas que puedan cuantificar el cambio climático a nivel local y regional. Este artículo presenta el inventario y caracterización morfométrica de las lagunas, a partir de trabajos de campo y de medidas sobre fotografías aéreas de alta resolución.

Las lagunas se hallan situadas en una franja altitudinal comprendida entre 2.690 y 3.100 m. La superficie total de lámina de agua ocupada por las lagunas consideradas es del orden de 15 ha, lo que equivale a una extensión media de 0,33 ha. La longitud total de orillas medida fue de 8,5 km. El coeficiente de circularidad medio obtenido fue de 0,64.

### **INTRODUCCION**

El macizo de Sierra Nevada (fig. 1), de 2.000 km<sup>2</sup> de extensión, es un espacio de alta montaña de enorme valor ambiental. En 1986 fue declarado Reserva de la Biosfera, en 1989 Parque Natural y en 1999 Parque Nacional (altas cumbres). La altitud, paisaje y morfología glacial del macizo son algunos de sus atractivos más apreciados; y entre los elementos paisajísticos y morfológicos destacan las lagunas glaciares, cuyo reconocimiento les ha valido la máxima protección, como zonas de reserva dentro del Parque Nacional.

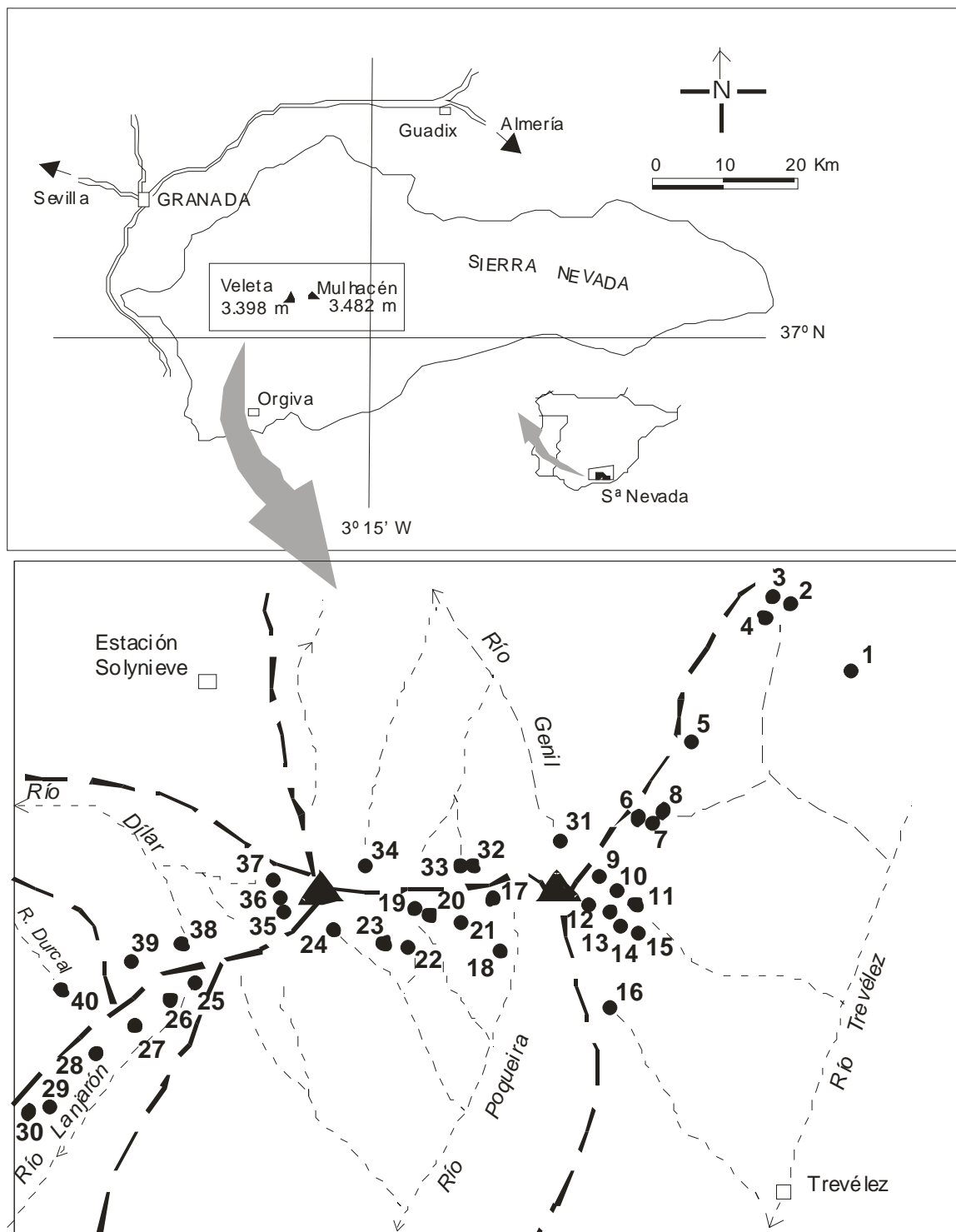


Figura 1.- Mapa de situación de las lagunas de aguas “permanentes” de Sierra Nevada. La relación de las lagunas puede consultarse en la tabla 1

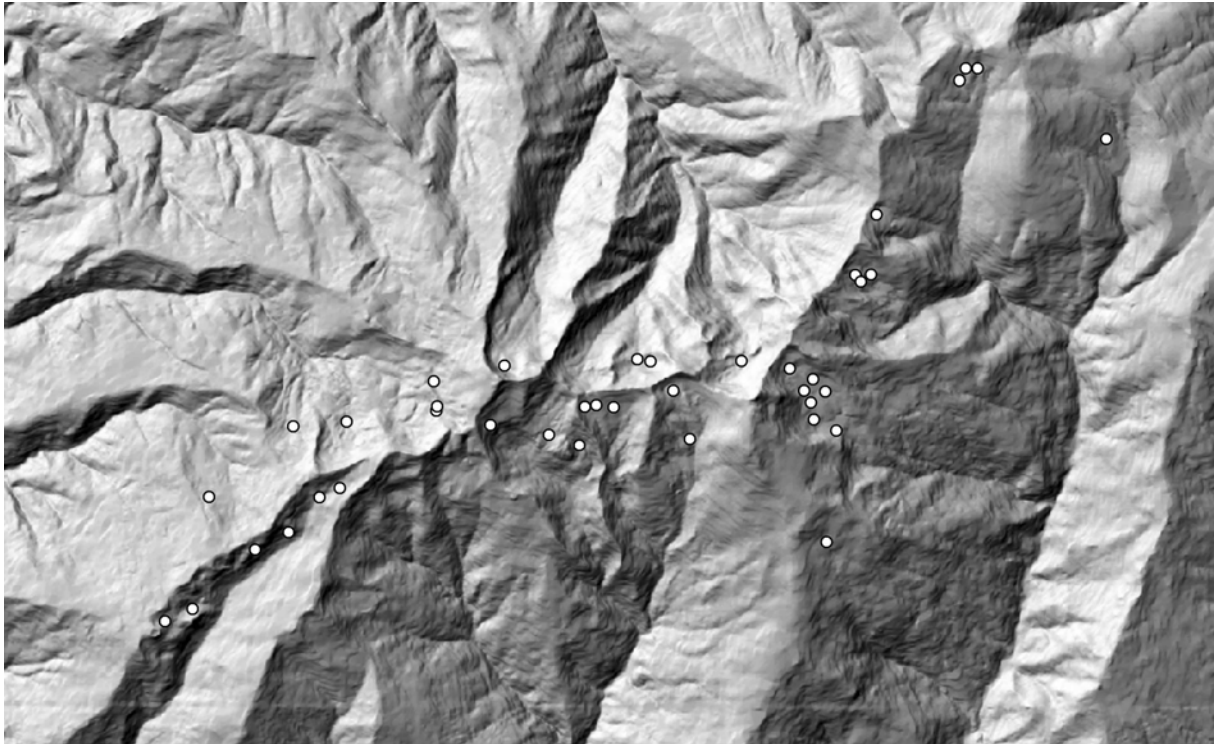
Son numerosísimas las lagunas, lagunillos y charcas, la mayor parte efímeras, que se originan al final del deshielo en los circos, depresiones y cubetas,

de diferentes tamaños y formas, que conformó la acción glaciaria y periglaciaria en Sierra Nevada; estas depresiones se sitúan preferentemente en las cuencas altas, entre 2.700 y 3.100 m de altitud. En esas formas tipo "cuchara", más o menos cerradas, quedan atrapadas aguas de deshielo y de surgencias ("borreguiles" en el argot local), que generalmente desbordan por emisarios, aunque también existen algunas lagunas cerradas. Una treintena mantienen lámina de agua de forma permanente.

Pese al interés de las lagunas, y del agua en general, en el Parque Nacional de Sierra Nevada, la hidrología del macizo se conoce a un nivel muy desigual (Castillo, 1985, 1993 y 2001; Castillo *et al.*, 1996 y 1999; Pulido *et al.*, 1996). A escala de detalle, la información que se posee es aún pobre; las lagunas son un ejemplo paradigmático de este déficit de conocimiento; baste decir que no se conocen sus dimensiones precisas, ni existen mediciones de niveles o caudales, e, incluso, que algunas de ellas carecen de nombre o, lo que es peor, estos son múltiples y confusos. Al respecto, se está realizando un estudio toponímico, a través de fuentes documentales y de tradición oral, que verá la luz próximamente.

En este artículo se intentan cubrir parte de esas carencias, sentando las bases de un primer catálogo detallado de las lagunas más notables de Sierra Nevada. En él se incluyen únicamente las de aguas prácticamente permanentes, así como las de superficie superior a 0,04 ha a principios de verano (fig. 1 y foto 1); no obstante, algunas, las más pequeñas, llegan a secarse al final del estiaje de años excepcionalmente secos. Desgraciadamente, tenemos la impresión de que existe un retroceso de niveles y caudales, y que algunas lagunas mayores podrían llegar a agotarse también en años próximos, constituyendo un evento histórico en la hidrología reciente de Sierra Nevada.

Entre los datos que se exponen figuran: nombre, cuenca, coordenadas UTM, altitud, superficie, longitud (máxima), anchura (promedio), profundidad (máxima), perímetro, coeficiente de circularidad y tipo. Todas las medidas morfométricas están tomadas en aguas altas (Julio de 2000); esa precisión es importante, porque la forma y dimensiones varían sensiblemente conforme avanza el estiaje, si bien algunas lagunas abiertas mantienen su forma permanentemente (lagunas del tipo A en la tabla 1). Las medidas asignadas a las lagunas cerradas (sin emisario; tipo C) deben considerarse sólo a efectos aproximados, porque sus dimensiones, aún en aguas altas, varían con la pluviometría anual y a lo largo del estiaje.



*Foto 1.- Modelo digital de las altas cumbres de Sierra Nevada con la situación de las 40 lagunas consideradas (ver figura 1 y tabla 1)*

## **MORFOMETRIA DE LAS LAGUNAS DE SIERRA NEVADA**

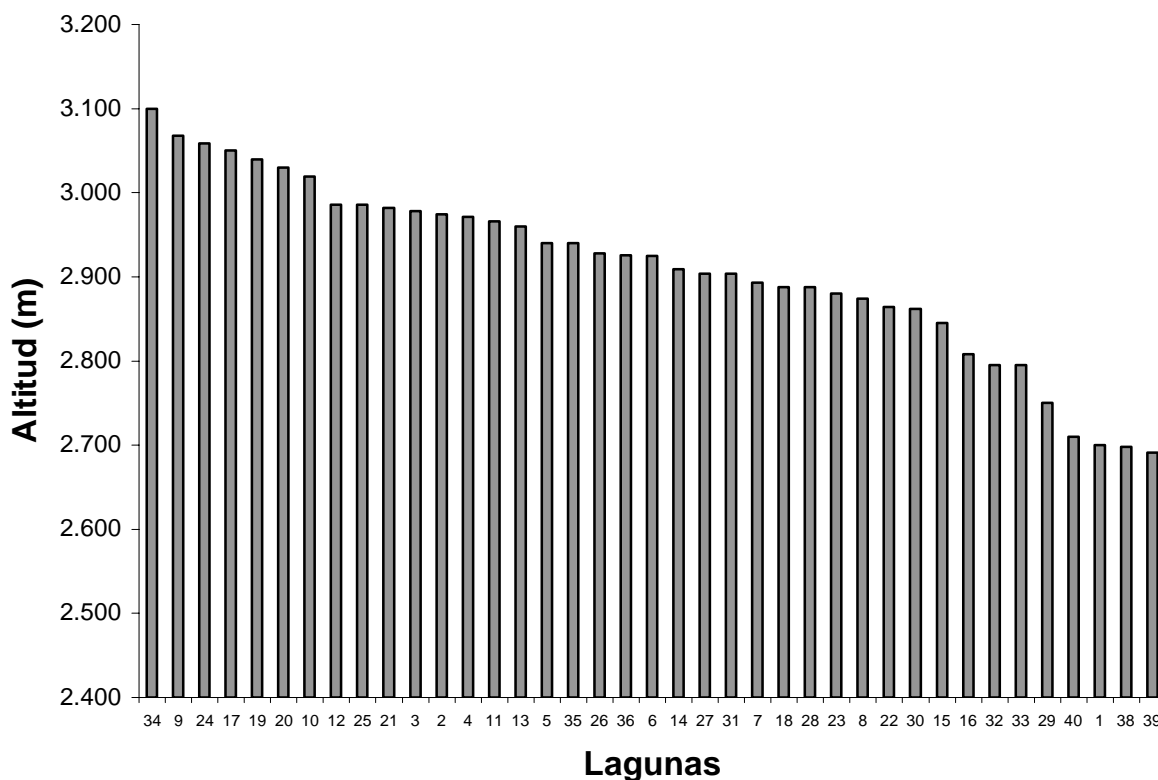
En la tabla 1 se exponen los principales parámetros morfométricos obtenidos para las lagunas de aguas “permanentes” y superficie superior a 0,04 ha de Sierra Nevada. Aunque se exponen los datos de la laguna de las Yeguas, estos no han sido tenidos en cuenta para el presente artículo, al tratarse de una laguna modificada por una pantalla de cierre.

Los datos referentes a coordenadas, superficie, longitud, anchura y perímetro fueron obtenidos de ortofotos aéreas (Junta de Andalucía, 2004), trabajando a escala 1:2.000. La altitud fue obtenida a partir de un modelo digital del terreno (con resolución de 20x20 m), una vez trasplantadas al mismo las lagunas a través de sus coordenadas; pese a que el procedimiento auguraba una buena precisión, en la práctica se detectaron irregularidades en las cotas (pe. La Gabata aparecía 10 m más alta que la Larga); a pesar de ello, hemos mantenido las cotas obtenidas, con ligeros retoques en algún caso; el establecimiento de cotas a través de los mapas topográficos tampoco resultó ser un método preciso. Así pues, queda pendiente para próximos trabajos obtener las cotas de todas las lagunas con un GPS de precisión. La profundidad máxima de las lagunas es una medida poco conocida y fue tomada

de los trabajos de Fernández Durán (1993) y Morales *et al.* (1999); la batimetría de las lagunas es también un tema pendiente, que permitiría la estimación de los volúmenes almacenados en cada momento. El coeficiente de circularidad se obtuvo de la 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. Por fin, el tipo de laguna responde a su funcionamiento hidrológico, comprobado en los reconocimientos de campo realizados a lo largo de los últimos años.

*Tabla 1.- Datos morfométricos de las lagunas de aguas “permanentes” de Sierra Nevada tomados en aguas altas (Julio de 2000; A.- Altitud; S.- Superficie; L.- longitud máxima; A.- anchura promedio; P.- perímetro; Cc.- Coeficiente de circularidad; p.- profundidad máxima; tipos: A.- Laguna abierta; At.- abierta temporalmente; C.- cerrada)*

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; 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 es de 2.910 m, de 2.933 m para las 30 lagunas de la vertiente Sur y de 2.839 m para las 9 de la vertiente Norte. En la figura 2 se expone una distribución jerarquizada de las lagunas por altitudes.



*Figura 2.- Distribución de lagunas por altitud*

La superficie de las lagunas tampoco era un dato bien conocido; en el trabajo de Morales *et al.* (1999) se establecieron valores para 28 lagunas medidos sobre fotografía aérea convencional. El método ahora empleado (su medición sobre ortofotografía aérea a 1:2.000) debe tener mayor precisión. La inmensa mayoría de las lagunas de Sierra Nevada, el 95%, presentan una superficie inferior a 1 ha; sólo 2 superan esa medida: La Caldera, con 2,34 ha y la Larga, con 2,13 ha (sin considerar a las Yeguas, con 3,20 ha, por los motivos ya citados). Así pues, cabe concluir, que las lagunas de Sierra Nevada son de pequeña extensión, realmente lagunillos, nada comparables en extensión a las ofrecidas por las lagunas glaciares (más bien lagos) de otros sistemas de alta montaña de España, y, especialmente, de los Pirineos.

La superficie media de las 39 lagunas consideradas es de 0,33 ha; la media para las lagunas de la vertiente Sur fue de 0,32 ha, y de 0,35 ha para las de la vertiente Norte. En la figura 3 se expone una distribución jerarquizada de las lagunas por superficie.

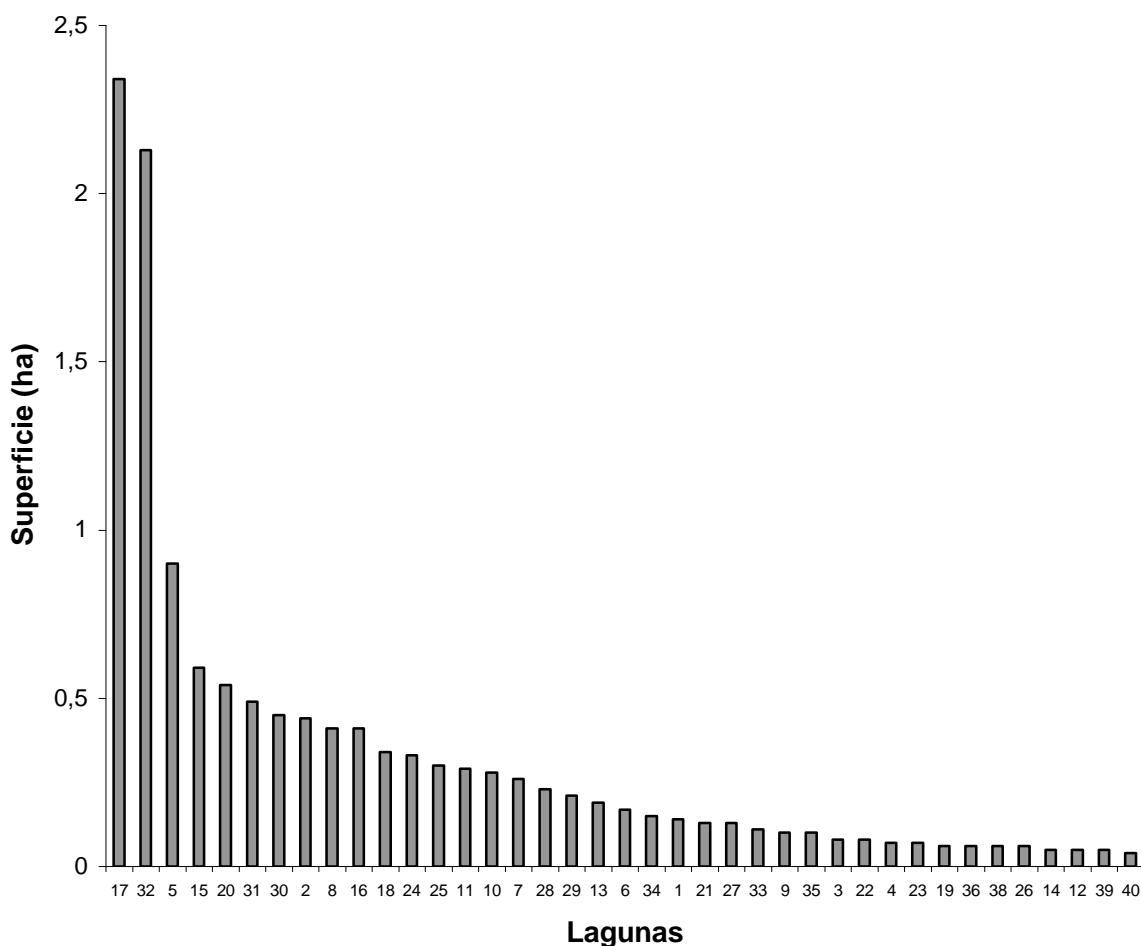


Figura 3.- Distribución de lagunas por superficie

Otros datos morfoméricos como longitud o anchura son sólo aproximados, en el caso de la longitud máxima por las irregularidades de las orillas, y en la anchura por la dificultad, además, de establecer la transversal media; no obstante, orientan sobre las dimensiones y forma, más o menos alargada o circular de las lagunas, aunque a ese respecto es mucho más ilustrativo el coeficiente de circularidad, sobre el que se discute más adelante. La laguna más larga es la del mismo nombre, con 270 m, seguida por La Caldera (202 m) y La Hondera (160 m). La longitud y anchura medias obtenidas fueron de 80 y 37 m, respectivamente.

El perímetro fue medido a escala 1:2.000 (como se sabe, el perímetro depende de la escala escogida). Las longitudes de orilla más grandes fueron aportadas por las lagunas Larga (671 m), Caldera (600 m) y Hondera (472 m). Como dato curioso cabe mencionar que la longitud total de orillas de las lagunas consideradas fue 8,5 km, equivalente a un perímetro medio de 224 m. En la figura 4 se expone una distribución jerarquizada de las lagunas por perímetros o longitud de orillas

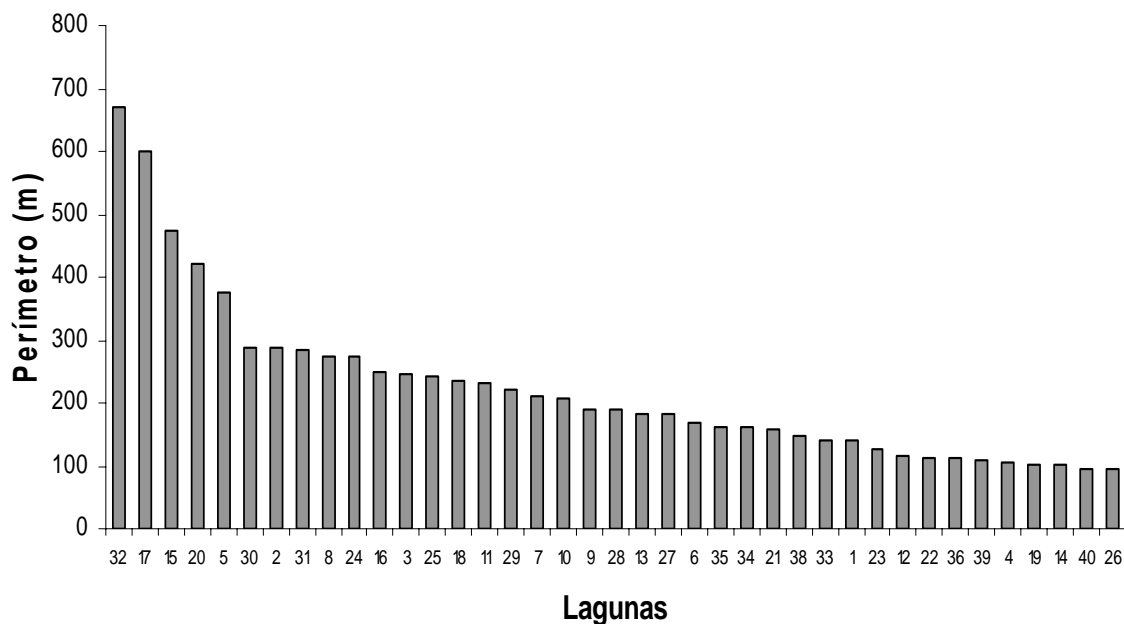


Figura 4.- Distribución de lagunas por longitudes de orillas

La forma de las lagunas es tema que suscita siempre opiniones y comentarios diversos; algunas han tomado el nombre de sus formas o dimensiones características (Larga, Cuadrada...), y todas tienen una forma singular y característica, que varía, algunas veces radicalmente, en las lagunas que no mantienen un nivel constante, y especialmente en las cerradas. A efectos

morfológicos, es muy indicativo el coeficiente de circularidad (relación entre el área real y el área que tendría un círculo de igual perímetro al medido). En general, las lagunas de la sierra son relativamente circulares, como corresponde a depósitos de agua asentados en el fondo de antiguos circos o cubetas glaciares; entre las de relación superior a 0,80 estarían la del Puerto (0,93) Peñón Negro, La Caldera, Cuadrada y la Siete Lagunas I. Por el contrario, las más alargadas corresponderían a los lagunillos de Juntillas y de La Virgen. El coeficiente medio para las lagunas de Sierra Nevada es de 0,64, de 0,65 para la vertiente Sur y de 0,60 para la vertiente Norte. En la figura 5 se muestra la distribución jerarquizada de las lagunas por coeficientes de circularidad.

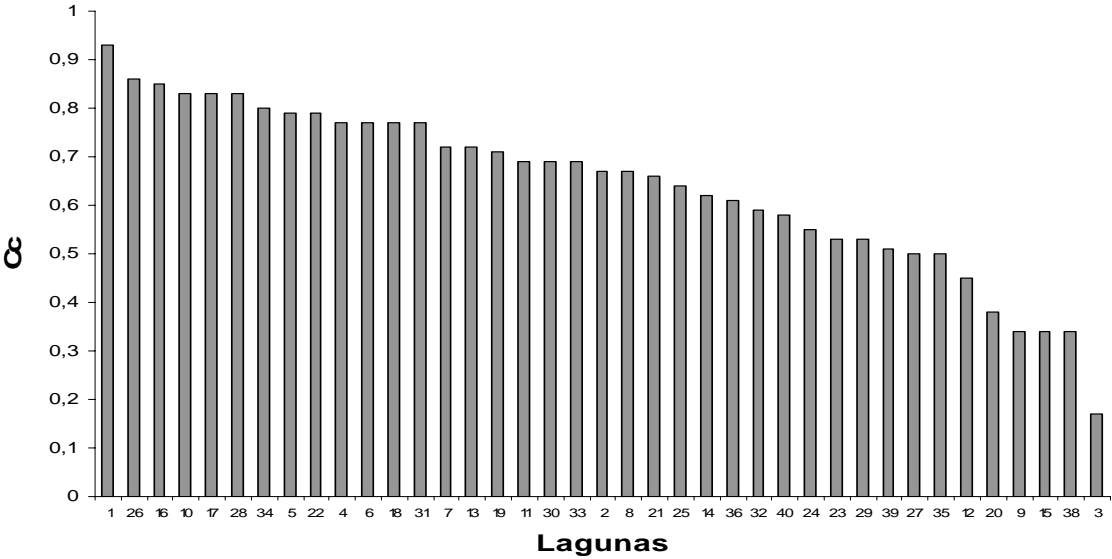


Figura 5.- Distribución de las lagunas por coeficientes de circularidad





*Foto 2.- Una típica laguna abierta, con emisario permanente, la laguna del Mulhacén, más conocida como La Mosca*



*Foto 3.- Una típica laguna cerrada, sin emisario (se descarga a través de una laguna vecina, La Gabata), la Laguna Larga*

## CONCLUSIONES

El presente artículo establece un inventario de las lagunas de aguas prácticamente permanentes de Sierra Nevada con más de 0,04 ha de superficie de lámina de laguna al final del deshielo. En total son 40 las lagunas consideradas, para las que se citan sus nombres toponímicos (cuando se ha podido), datos de localización, tipología hídrica y las principales medidas morfométricas. La toponimia es un tema esencial, sobre el que, sorprendentemente, aún quedan aspectos que trabajar; algunas lagunas carecen de nombre conocido, o los que tienen son improcedentes o confusos. Del mismo modo, la cota y batimetría de las lagunas sólo se conocen de forma aproximada.

Los datos obtenidos muestran que las lagunas se hallan situadas en una estrecha franja altitudinal, comprendida entre 2.700 y 3.100 m. La superficie total de lámina de agua ocupada por las lagunas consideradas es del orden de 15 ha, lo que equivale a una extensión media de 0,33 ha, mientras que la longitud total de orillas medida fue de 8,5 km. El coeficiente de circularidad medio obtenido fue de 0,64, indicativo de formas relativamente redondeadas, como corresponde a la ubicación de la mayoría de las lagunas en el fondo de circos y cubetas glaciares.

En definitiva, las lagunas de Sierra Nevada son de pequeña extensión, realmente lagunillos, nada comparables en extensión a las ofrecidas por las lagunas glaciares (más bien lagos) de otros sistemas de alta montaña de España, y, especialmente, de los Pirineos. Además, la estabilidad de sus niveles de agua es muy frágil; son pocas las que mantienen permanentemente la cota de la lámina de agua, y la tendencia que parece intuirse va en la dirección de un progresivo descenso de niveles. Para confirmar esta hipótesis, se trabaja en el control periódico de niveles y aforo de caudales.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren expresar su agradecimiento a Luis O'Dogherty, Manuel Jiménez Castillo, Juan de Dios Miranda, Esperanza Jiménez y Miguel Navarro, 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 valiosa información de campo suministrada.

## BIBLIOGRAFIA

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. 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. (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

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

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<sup>a</sup>. L. 1996. Sierra Nevada, un macroembalse hidrológico desigualmente conocido. IV Simposio sobre el Agua en Andalucía, I: 167-179