

Artículo publicado en: Hidrogeología y Recursos Hidráulicos, XXVII: 301-310

ITINERARIO HIDROGEOLOGICO A TRAVES DE LA CARRETERA MÁS ALTA DE EUROPA: GRANADA-SIERRA NEVADA (VELETA)

CASTILLO MARTÍN, Antonio

CSIC y Universidad de Granada. Instituto del Agua. C/ Ramón y Cajal, 4. 18071
Granada. Email: acastill@ugr.es. Web: www/ugr.es/local/aguas

Palabras clave: turismo geológico, hidrogeología, Sierra Nevada (Granada)

RESUMEN

La carretera que atraviesa Sierra Nevada por el collado de La Carihuela (GR-420; junto al pico del Veleta) es considerada la más alta de Europa. A través de sus 46 km de recorrido desde Granada capital, se asciende desde la cota 700 a la 3.200, pasando de la llanura aluvial del río Genil, dentro de la Depresión postorogénica de Granada, a la divisoria del macizo de Sierra Nevada, en el núcleo de la Zona Interna de las Cordilleras Béticas. Este corte atesora un alto interés geológico, como fue puesto de manifiesto por los miembros de la Comisión del mapa geológico a principios del siglo XX y por el asentando turismo geológico, de entre más del millón de visitantes que acceden anualmente por dicha carretera a la estación de esquí de Solynieve y al Parque Nacional de Sierra Nevada.

Este artículo sintetiza la visión hidrogeológica variada que se puede obtener desde la citada carretera, para lo que se han seleccionado 6 paradas, las utilizadas en las enseñanzas impartidas desde hace ya una década a alumnos de doctorado de ciencias geológicas y ambientales de la Universidad de Granada.

ITINERARIO

El itinerario que se comenta, con algunas modificaciones, ha sido el utilizado en las diferentes ediciones de los cursos de doctorado "Hidrología de alta montaña: el caso del macizo de Sierra Nevada" e "Hidrología de Espacios Naturales Protegidos: alta montaña y zonas húmedas", impartidos por la Universidad de Granada. Se puede hacer en vehículo, aunque sólo es practicable en su totalidad en verano. El trayecto es de 46 km y asciende desde la cota 700 a la 3.200. Para las observaciones hidrogeológicas se han seleccionado 6 paradas (figura 1).

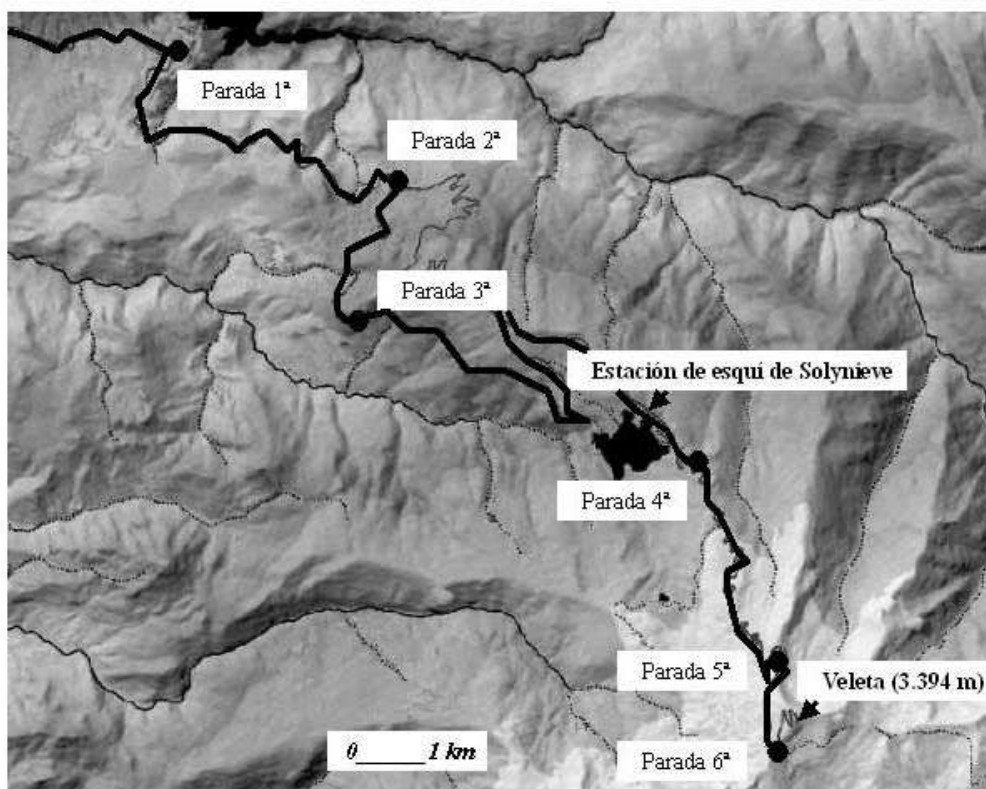


Figura 1.- Localización geográfica y situación de las paradas seleccionadas

Facultad de Ciencias, 700 m s.n.m. (salida)

El itinerario parte de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Granada (Campus de Fuente Nueva), situada en el centro de la ciudad. Asentada sobre el acuífero detrítico aluvial de la Vega de Granada (Castillo, 1986 y 1995), la primera observación va dirigida al piezómetro y sondeo de explotación localizado en sus jardines (Benavente *et al.*, 2004); en dicho emplazamiento cabe destacar el carácter multicapa del acuífero y la ligera contaminación fecal de las aguas por fugas de la red de abastecimiento de la ciudad. Este acuífero presenta una superficie de 200 km² y unos recursos del orden de 160 hm³/a, de los que cerca del 70 % proceden de infiltración de escorrentías de la fachada occidental del macizo de Sierra Nevada, el objetivo de gran parte de las observaciones del itinerario que se comenta en esta comunicación.

Balcón de Canales, 1.150 m s.n.m. (parada 1ª)

La primera parada propiamente dicha tiene lugar en el conocido como Balcón de Canales, a 14 km de la salida y a 1.150 m de altitud. Desde dicho enclave, y con tiempo medianamente claro, se divisan casi todas las unidades de las Cordilleras Béticas (foto 1) y, más nítidamente, el contacto entre la Depresión postorogénica de Granada y el Complejo Alpujarride (Zona Interna de las Cordilleras Béticas); con mayor dificultad puede adivinarse el contacto de este con el Complejo Nevado-

filábride (núcleo de la Zona Interna). Entre los materiales postorogénicos se observan de muro a techo, las calcarenitas bioclásticas (“maciños”; Tortoniense), la formación de conglomerados de Pinos Genil (Tortoniense Superior), los conglomerados de la formación Alhambra (Plioceno basal) y la formación cuaternaria aluvial de la Vega de Granada. A nuestros pies queda el embalse de Canales (70 hm³ de capacidad y 80 hm³/a de aportaciones), que regula las aguas del deshielo de Sierra Nevada procedentes del río Genil, y que es pieza clave en el suministro urbano al área metropolitana de Granada.

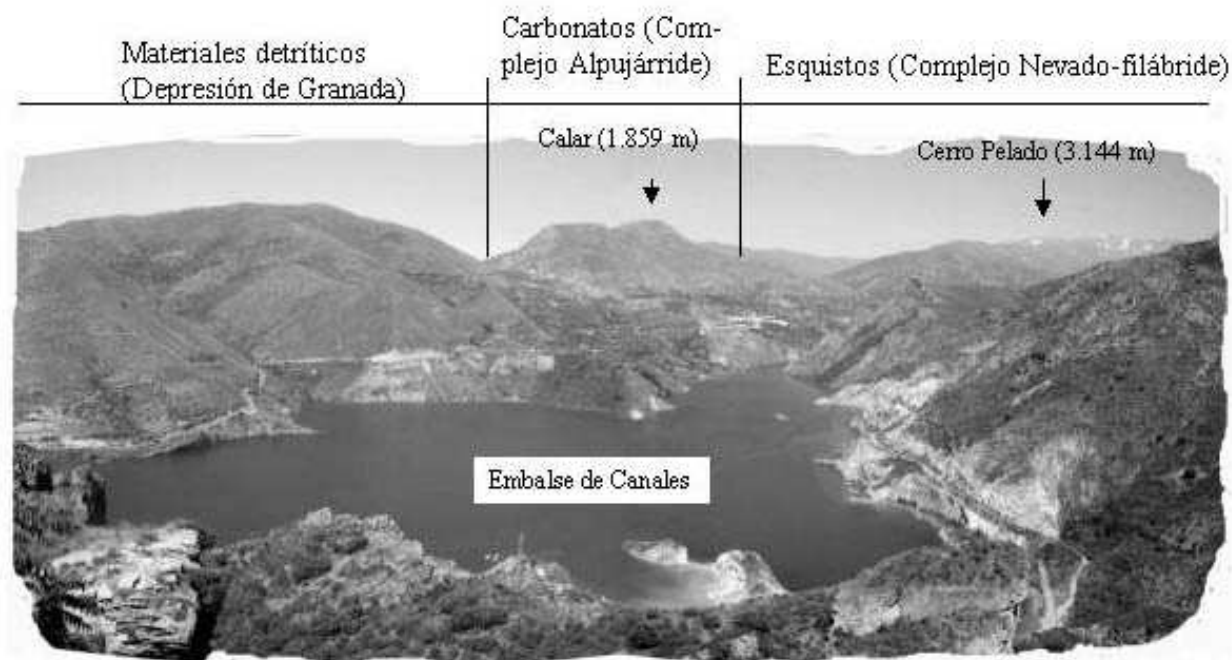


Foto 1.- Panorámica desde el Balcón de Canales, en dirección Noreste

Centro de recepción de visitantes de “El Dornajo”, 1.650 m s.n.m. (parada 2ª)

La siguiente parada tiene lugar en el centro de recepción de visitantes de los parques nacional y natural de Sierra Nevada de El Dornajo, en el p.k. 23, y a 1.650 m de altitud. La visita a las instalaciones es recomendable; en su interior existe una maqueta del macizo de Sierra Nevada y abundante información sobre la GEA, flora y fauna del mismo. Desde su terraza se tiene una magnífica visión, otra vez, del contacto entre los materiales postorogénicos de la Depresión de Granada y los pertenecientes al Complejo Alpujárride, a través del collado de la Tejilla. A la derecha del mismo se alza el Calar de Güéjar Sierra, en materiales carbonatados (calizas y dolomías) alpujárrides, caracterizados por una tectónica de apilamiento de mantos de corrimiento, deslizados sobre niveles plásticos de filitas y esquistos basales. Este hecho también es observable desde esta localización, desde la que se pueden distinguir dos escamas carbonatadas superpuestas, separadas por un tramo esquistoso, hecho que tiene gran trascendencia hidrogeológica, como más adelante se comentará, dando lugar a drenajes independientes a diferentes cotas.

El Dornajo, 1.850 m s.n.m. (parada 3ª)

La siguiente parada tiene lugar sobre materiales carbonatados alpujárrides, en el puntal de El Dornajo, en el p.k. 27 y a cota 1.850 m; desde el lugar se observa muy bien el contacto entre los complejos Alpujárride y Nevado-filábride, a través del barranco de La Dehesilla (foto 2). Por primera vez se divisa claramente la línea de crestería del macizo, y concretamente el pico del Veleta (3.396 m), normalmente cubierto o tachonado de nieve, salvo en verano. También se observa ya la estación de esquí de Solynieve (en la cuenca alta del río Monachil), y un buen muestrario de los diferentes tipos de vegetación del macizo, que poseen un marcado interés hidrológico. Así, a nuestra derecha se puede contemplar uno de los escasos enclaves de pino silvestre autóctono de Sierra Nevada, y en nuestra ladera pinos de repoblación, que llegan generalmente hasta la cota 2.000. En la umbría (margen izquierda del río Monachil) aún se conserva uno de los escasos bosques de robles del macizo; por encima de los 2.000 m, y hasta los 3.000 m aproximadamente, la vegetación es de tipo rastrero, con formaciones mayoritariamente de piornos (también sabinas y enebros). A cotas superiores la vegetación es extremadamente rala, tipo tundra, en un ambiente climático ya extremo.



Foto 2.- Panorámica de la loma de Dílar, desde el puntal de El Dornajo, en dirección Sur

Albergue militar, 2.500 m s.n.m. (parada 4ª)

Esta parada tiene lugar en el p.k. 36 (a cota 2.500) el punto más alto de la carretera accesible a vehículos particulares; a partir de aquí sólo circulan microbuses del Parque Nacional durante el verano (no todos los días de la semana), aunque mucha gente prefiere continuar a pie hasta la línea de cumbres (unas 3 horas). La panorámica es buena desde un mirador, que da vista al paraje conocido como Hoya de la Mora, en la cuenca alta del río San Juan (tributario del río Genil). Dentro ya del núcleo esquistoso de Sierra Nevada (Complejo Nevado-filábride), se ven por primera

vez manifestaciones morfológicas del glaciario y periglaciario cuaternario, que serán mucho más evidentes en las dos paradas siguientes.

Las Posiciones-Corral del Veleta, 3.100 m s.n.m. (parada 5ª)

Esta parada, que corresponde con el p.k. 44, a cota 3.100, coincide con el final del trayecto del microbús, que se queda a unos 100 m de desnivel con respecto a la línea de cumbre de la carretera (collado de La Carihuela, 3.205 m). Muy próxima sale una senda, conocida como El Veredón, que da vista y desciende a uno de los circos glaciares más espectaculares de Sierra Nevada, el del Guarnón o del Corral del Veleta (foto 3); se trata de un lugar emblemático en la glaciología de Sierra Nevada, por haber sido considerado como el último reducto glaciario y de nieves perpetuas del macizo; actualmente solo permanecen unos cuantos ventisqueros en verano, aunque se ha comprobado que bajo la superficie se conserva aún hielo fósil. Desde este punto se observan muchos tipos de depósitos glaciares y periglaciares, como morrenas, glaciares rocosos, cascajares, conos de derrubios, etc, aparte de abundantes manifestaciones de drenaje subsuperficial y varios reductos lagunares de escasa entidad. Es necesario continuar a pie para alcanzar la parada 6ª (unos 30 minutos).



Foto 3.- Corral del Veleta

Collado de La Carihuela, 3.205 m s.n.m. (parada 6ª)

Es el punto más alto de la carretera (p.k. 46), y el final de nuestro itinerario, a cota 3.205. Coincide con la divisoria del macizo, entre la Cuenca Hidrográfica del Guadalquivir (atlántica) y la cuenca del Sur de España (mediterránea). Desde este lugar se observa bien la asimetría del macizo, con una vertiente Sur relativamente aplanada y una Norte muy abrupta. A nuestros pies, en la vertiente Sur, se puede contemplar una bella laguna glaciaria, la de Aguas Verdes, de aguas permanentes y con emisario. Se trata de una de las cerca de 40 lagunas de aguas permanentes con que cuenta Sierra Nevada, todas ellas de origen glaciario y situadas por encima de los 2.800 m. Desde aquí pueden adoptarse varias alternativas, retornar, hacerlo ascendiendo antes al pico del Veleta, que hemos dejado a nuestra izquierda al subir, o continuar a pie por la carretera (convertida ya en una senda, imposibilitada al tránsito de vehículos), para acceder a muchas y variadas excursiones del sector central de Sierra Nevada, entre las que destacan la de las lagunas de Río Seco, La Caldera, La Mosca y Laguna Larga, la subida al Mulhacén (el pico más alto de la Península Ibérica) o la visita al valle de Siete Lagunas. También es posible continuar la carretera hasta alcanzar el pueblo de Capileira (en La Alpujarra) y retornar a Granada en transporte público, si bien son necesarias del orden de 7 horas para hacer el recorrido, aunque puede tomarse el microbús del Parque que asciende desde Capileira hasta el Alto del Chorrillo, a 3,5 horas de camino.

RASGOS DE LA HIDROGEOLOGÍA REGIONAL

Materiales postorogénicos neógeno-cuaternarios de la Depresión de Granada

Los materiales de relleno de la Depresión de Granada se observan y atraviesan desde la Facultad de Ciencias hasta aproximadamente el p.k. 16, a cota 1.300, una vez pasada la parada 1ª. La serie atravesada, a grandes rasgos, ya fue expuesta en la parada 1ª. Los materiales poseen una baja permeabilidad general, con la excepción del acuífero aluvial de la Vega de Granada y del tramo de calcarenitas de base, de edad Tortonense (Castillo, 1986; DG-ITGE, 1990). No obstante, existen ciertos tramos arenosos intercalados en las series de las formaciones de Pinos Genil y Alhambra, que pueden aportar pequeños caudales (de hecho, existen algunas fuentes muy singulares en estos materiales, entre las que cabría mencionar las famosas de La Bicha y El Avellano; Castillo, 2002). A efectos hidráulicos, estos materiales postorogénicos constituyen una barrera al flujo desde las unidades preorogénicas alpujárrides (en este itinerario), con las que limitan por fallas normales, que pueden observarse cerca del p.k. 16, a cota 1.300.

En los puntos más bajos de este contacto tectónico se suelen hallar manantiales de drenaje regional de los afloramientos de carbonatos alpujárrides, a cota 1.000 a la salida del valle del río Monachil (que corresponde a la cuenca que queda a la derecha en el sentido de la marcha, y a la que se da vista en la parada 4ª). En otras localizaciones, las calcarenitas basales mantienen continuidad hidráulica con los materiales carbonatados alpujárrides, permitiendo salidas ocultas bajo el relleno de la Depresión de Granada, que han sido puestas de manifiesto por

drenajes y explotación de sondeos. Las calcarenitas del Balcón de Canales no parecen mantener una clara conexión hidráulica con los carbonatos alpujárrides; los trabajos hidrogeológicos realizados para la construcción de la presa de Canales, y los posteriores reconocimientos de campo no han evidenciado pérdidas importantes desde el embalse a la cerrada de las calcarenitas, situada en el cierre y aguas abajo de la presa.

Materiales permo-triásicos del Complejo Alpujárride (Zona Interna de las Cordilleras Béticas)

Los materiales alpujárrides se atraviesan y pueden observarse con detalle desde el p.k. 16 hasta el 28 (entre las cotas 1.300 y 1.950); las paradas 2ª y 3ª están situadas sobre los mismos. Estos materiales, cuya relación con los postorogénicos de la Depresión de Granada ya ha sido expuesta, se disponen a modo de orla, y en superposición de mantos de corrimiento, sobre el núcleo esquistoso de Sierra Nevada, perteneciente al Complejo Nevado-filábride. Esa disposición está especialmente desarrollada en la ladera por donde discurre este itinerario (fachada occidental de Sierra Nevada). Los materiales del Complejo Alpujárride son mayoritariamente carbonatados (dolomíticos y calizos en el área que nos ocupa), si bien la base está integrada por materiales filíticos y esquistosos, de baja permeabilidad, que actúan como barrera hidráulica, aunque estos no son continuos por cepillamientos tectónicos; la plasticidad de estos materiales ha favorecido el despegue de los diferentes mantos de corrimiento superpuestos que caracterizan a este Complejo. Estos materiales dan coloraciones violáceas (filitas) o pardas (esquistos) y son más abundantes en la ladera Sur de Sierra Nevada (La Alpujarra), donde las filitas son aprovechadas como impermeabilizantes de techados en la construcción rural (“launas” en la terminología local)

Asociados a sus afloramientos suelen existir numerosos manantiales de ladera; un claro exponente de este contexto hidrogeológico es el famoso manantial de las Víboras (Castillo, 2002), situado a un kilómetro de distancia de la 2ª parada, en la pista forestal que lleva al cortijo de San Jerónimo, donde se observan las típicas coloraciones violáceas de estos materiales filíticos. Estos materiales también son observables en la misma parada del centro de recepción de visitantes (2ª), origen de otros nacimientos situados en las inmediaciones. Del mismo modo, el contacto entre los Complejos Alpujárride y Nevado-filábride suele producirse a favor de estos materiales más plásticos, lo que da lugar a un contexto hidrogeológico muy abundante en surgencias de muy diferente tipo, que presenta uno de sus mejores ejemplos en la localidad de Lanjarón (Castillo *et al.*, 1999), famosa por sus aguas de bebida envasadas, y situada en la vertiente Sur de Sierra Nevada.

Los materiales carbonatados constituyen un aceptable acuífero (Pulido, 1980), siendo la denominación del sistema atravesado Unidad de Padul-La Peza (DG-IGME, 1990; Castillo *et al.*, 1996); presentan litologías y texturas diferentes según los mantos de corrimiento. En este itinerario se atraviesan calizas tableadas pertenecientes al manto de las Víboras y dolomías del manto del Trevenque; estos materiales, y especialmente las dolomías, poseen una textura interna muy característica, que responde a una intensa fracturación y fisuración de la roca; en el

argot geológico regional se conoce como kakiritización y kakiritas a los materiales afectados por dicho proceso. A pesar de ese aspecto extremadamente fracturado de la roca, la permeabilidad no es alta, y en algunos trabajos, basándose en respuestas hidrodinámicas de surgencias, se ha llegado a comparar con la ofrecida por medios de porosidad intergranular; como se ha señalado anteriormente, llama la atención al respecto que el embalse de Canales (foto 1), cuyo vaso está asentado en gran parte en estos materiales, no tenga pérdidas importantes (al menos conocidas). Otra peculiaridad de la descomposición interna de la roca es su elevada erosividad, caracterizada por redes de drenaje muy densas (foto 2), no acordes con materiales carbonatados típicos.

Materiales paleozoicos del Complejo Nevado-Filábride (Zona Interna de las Cordilleras Béticas)

Los materiales de este Complejo están constituidos, fundamentalmente, por micasquitos oscuros (grafitosos), si bien existe un amplio muestrario de rocas metamórficas diversas (gneises, serpentinas, anfibolitas, cuarcitas, mármoles, epidotitas, etc), motivo de atracción de numerosos petrólogos nacionales y extranjeros. Se atraviesan, y pueden observar con detalle, desde el p.k. 28 hasta el 46 (a partir de la cota 1.950), si bien desde el 28 hasta el p.k. 34 se atraviesa la mayor diversidad petrológica (Puga, 1971).

Desde el punto de vista hidrogeológico, este Complejo ha sido considerado siempre como acuitardo e incluso acuífugo. El avance de la hidrogeología de rocas duras de los últimos decenios, ha permitido matizar estas calificaciones y obtener importantes conocimientos sobre la hidrogeología del núcleo central de Sierra Nevada (Castillo, 1993 y 2000; Castillo y Fedeli, 2002; Fedeli y Castillo, 1997 y 1998). A grandes rasgos, existe una diferenciación hidrogeológica muy evidente en virtud de los procesos geomorfológicos, en este dominio liderados por los fenómenos glaciares y periglaciares; en definitiva, la circulación subterránea (aunque sobre todo es de tipo subsuperficial) está ligada a las capas y cuerpos detríticos de alteración de la roca madre. En la ladera Norte de Sierra Nevada (la de este itinerario) el dominio de los procesos glaciares y periglaciares desciende hasta los 2.500 m; en esa faja (todo la zona alta de Sierra Nevada) la escorrentía se produce a partir del deshielo, y es, mayoritariamente, de tipo subsuperficial; de hecho, no existe apenas red de drenaje, que no sea la que se inicia en los diferentes puntos de surgencia; estos son muy visibles porque han generado alrededor de sí unas extensas praderías ("borreguiles" en el argot local), en gran parte manejadas por el hombre para favorecer la ganadería de montaña. En las partes más altas de las diferentes cuencas, al repie de la línea de crestería del macizo las cubetas de sobreexcavación de los circos glaciares son asiento de numerosas lagunas, todas ellas situadas por encima de los 2.800 m de altitud (Castillo *et al.*, 2003).

Todos estos fenómenos geomorfológicos y manifestaciones hídricas son de una belleza muy singular, y pueden verse en todo su esplendor en las paradas 5ª y 6ª, pero especialmente en la 5ª, donde la geomorfología glaciar que atesora el Corral del Veleta es digna de una contemplación sosegada (foto 3). El descenso al mismo, por El Veredón permite acceder a los cuerpos morrénicos y glaciares rocosos de su

interior, y contemplar el drenaje de las diferentes formaciones detríticas por sus puntos más bajos (otro lugar muy representativo al respecto es la cuenca alta del río Dílar; Fedeli y Castillo, 1997 y 1998).

A partir de la cota 2.500, la alteración de la roca es relativamente superficial, y los procesos de infiltración se ven muy disminuidos, generándose una mayor densidad de red de drenaje, que no llega a ser nunca alta por la elevada protección del piornal y la lentitud de la liberación del agua por el deshielo. De este modo, las manifestaciones de drenaje son más escasas, y tanto más cuanto descendemos en altitud. La parada 4ª se sitúa en el límite entre ambos dominios, el glaciar y periglaciar hacia arriba y el que estamos comentando hacia abajo.

AGRADECIMIENTOS

Este itinerario, con algunas modificaciones, ha sido el utilizado en las diferentes ediciones de los cursos de doctorado "Hidrología de alta montaña: el caso del macizo de Sierra Nevada" e "Hidrología de Espacios Naturales Protegidos: alta montaña y zonas húmedas", ambos impartidos por la Universidad de Granada.

BIBLIOGRAFÍA

Benavente, J., Sánchez, L. y Castillo, A. (2004). Observaciones hidrogeológicas en el área urbana de Granada. *Geogaceta*

Castillo, A. (1986). Estudio hidroquímico del acuífero de la Vega de Granada. *Tesis Doctoral*. Eds Univ. Granada e IGME. 658 p

Castillo, A. (1993). Aguas de Sierra Nevada. En "Aguas de Sierra Nevada". *Ed. EMASAGRA*. ISBN: 84-604-8103-4, 185-252

Castillo, A. (1995). El embalse subterráneo de la Vega de Granada, uno de los más importantes de Andalucía. *Tierra y Tecnología*, 9: 37-42

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

Castillo, A. (2002). Manantiales. *Ed. Diputación de Granada, col. Los Libros de la Estrella, nº 12, 168 p*

Castillo, A.; del Valle, M.; Rubio-Campos, J.C. y Fernández-Rubio, R. (1996). Síntesis hidrogeológica del macizo de Sierra Nevada (Granada y Almería). *1ª Conf. Intern. Sierra Nevada*. 389-417

Castillo, A.; Cruz Sanjulian, J.J. y Benavente, J. (1999). Aguas de Sierra Nevada; aguas de Lanjarón. En *Lanjarón: paisajes del agua*. Ed. Balneario de Lanjarón, S.A.,

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

Castillo, A.; Benavente, J.; Hidalgo, M.C.; Miranda, J.D. y Jiménez, M. (2003). Las lagunas del Parque Nacional de Sierra Nevada (Granada) como indicadores de cambio climático. Propuesta de una investigación hidrológica. *Agua y Globalización en el Mediterráneo*

DIPUTACION PROVINCIAL DE GRANADA E INSTITUTO TECNOLOGICO GEOMINERO DE ESPAÑA (DG-ITGE) (1990). Atlas hidrogeológico de la provincia de Granada. *Ed. Diputación de Granada e ITGE*. 107 p,

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 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

Puga, E. (1971). Investigaciones petrológicas en Sierra Nevada occidental (Cordilleras Béticas, España). *Tesis Doctoral*, Univ. Granada. 269 p

Pulido, A. (1980). Datos hidrogeológicos sobre el borde occidental de Sierra Nevada. *Serie Univ. Fund. March*, 123. 51 p