

## **AGUAS DE SIERRA NEVADA; AGUAS DE LANJARON**

**A. Castillo Martín\*, J.J. Cruz Sanjulián\*\* y J. Benavente Herrera\*\***

\* CSIC e Instituto del Agua de la Universidad de Granada

\*\* Instituto del Agua de la Universidad de Granada

### **1. INTRODUCCION**

Este trabajo trata, en primer lugar, de las características generales de las aguas de Sierra Nevada. A esta descripción sigue una síntesis de mayor detalle para el caso particular de las aguas de Lanjarón, caracterizadas por su abundancia, variedad y cualidades minero-medicinales.

La forma del macizo montañoso de Sierra Nevada es alargada: aproximadamente 80 km de longitud en sentido Este-Oeste, y anchura variable, desde unos 35 km en su mitad occidental, a la altura del pico de El Caballo (3.015 m), hasta unos 20 km en la oriental, en la transversal del vértice El Chullo (2.609 m), en las proximidades del puerto de La Ragua. La extensión del macizo de Sierra Nevada, desde el punto de vista hidrológico (Castillo, 1985 y 1988), es de unos 2.000 km<sup>2</sup>, y en él estarían incluidos los parques Nacional y Natural del mismo nombre, con superficies aproximadas de 850 y 1.700 km<sup>2</sup>, respectivamente.

Sistema montañoso de fuertes y variados contrastes, tanto climáticos como ecológicos y geomorfológicos, Sierra Nevada genera también aguas -superficiales y subterráneas- de muy distinto tipo, como respuesta a diferentes condicionamientos hidrológicos. De este modo, coexisten aguas heladas y termales, ácidas y básicas, blandas y duras, oligometálicas e hipermetálicas, oxidantes y reductoras, equilibradas y gaseosas, etc. También son variados los regímenes hidrológicos presentes: nivales, pluviales y torrenciales, para las aguas de superficie, o sistemas de flujo someros o profundos, rápidos o lentos, a través de medios porosos o fisurados y en el seno de distintos tipos de materiales geológicos, para las aguas subterráneas.

Desde el punto de vista litológico, sin embargo, Sierra Nevada ofrece, a grandes rasgos, una notable uniformidad, en tanto que los materiales silíceos de naturaleza esquistosa son predominantes. Hacia los bordes aparecen materiales geológicos más recientes que los anteriores: carbonatos triásicos y depósitos neógenos y cuaternarios. Salvo estos últimos materiales, el resto se trata de rocas relativamente resistentes a la erosión. Esta circunstancia, junto con el efecto de una elevación tectónica geológicamente reciente, motiva que el conjunto del macizo destaque topográficamente de manera neta respecto a su entorno fisiográfico. El aspecto general alomado del conjunto, ligeramente asimétrico en sus vertientes (mayor pendiente en la septentrional), sólo se interrumpe por la huella dejada por la excavación de numerosos e importantes barrancos.

Como corresponde al contexto climático mediterráneo en que se localiza, los aportes pluviométricos presentan una gran irregularidad temporal. A ello hay que añadir la

variabilidad espacial inducida por la altitud del macizo y por el efecto general de incremento de la aridez hacia el extremo oriental. La consecuencia es encontrar sectores con precipitaciones propias de zonas húmedas (más de 1.000 mm/año) hasta enclaves sensiblemente secos (350 mm/año).

Este contraste pluviométrico, unido a la variabilidad térmica asociada a su gradiente altitudinal, es la causa principal de la diversidad ecológica antes aludida, razón que justifica, entre otros aspectos, su catalogación como Espacio Natural Protegido. Es de destacar, a este respecto, los valores botánicos y geomorfológicos asociados al ecosistema de alta montaña mediterránea, en los que el agua, en sus diferentes manifestaciones, representa un elemento esencial.

En relación con el papel que el agua, como agente geodinámico, ha jugado en el modelado del paisaje de Sierra Nevada, hay que distinguir entre su actividad presente y la que debió producirse en tiempos geológicos recientes (Cuaternario). En la actualidad, el flujo superficial es un importante agente erosivo, sobre todo en relación con los materiales blandos que suelen aparecer en los bordes del macizo. Consecuencia de ello son los típicos paisajes de cárcavas (*bad lands*) en ciertos sectores de La Alpujarra. El material arrastrado es depositado en los tramos fluviales (ramblas) situados aguas abajo o alcanza el mar. El clima mediterráneo, junto a una a veces incorrecta ordenación del territorio, motiva que este proceso pueda tener en ocasiones efectos devastadores. En las zonas de cumbres, el principal papel geomorfológico del agua se basa en los procesos de rotura de rocas por el efecto de los ciclos de hielo-deshielo del agua introducida en las fisuras, generándose canchales. También la saturación permanente del terreno, especialmente en las surgencias de la alta montaña, ha contribuido a la generación de suelos orgánicos (turberas). En cuanto a su actividad pasada, hay que destacar la importante morfogénesis glacial desarrollada en Sierra Nevada durante los periodos fríos del Cuaternario, generándose formas tales como circos, aristas, cubetas, morrenas, etc., muchas de las cuales están relativamente bien conservadas hoy día y constituyen un patrimonio paisajístico que ha merecido el máximo nivel de protección.

Presentado este enriquecedor y atractivo mosaico en relación con el agua en Sierra Nevada, se describirán brevemente, a continuación, las principales características de las aguas de precipitación, superficiales y subterráneas. La calidad de todas ellas es tratada conjuntamente más adelante. La última parte se dedica a exponer brevemente el comportamiento de las aguas de los manantiales de Lanjarón, en el municipio de igual nombre, famoso por sus aguas y sede de la exposición sobre *Los paisajes del agua* que ha dado lugar a esta publicación.

## **2. EL CICLO DEL AGUA: AGUAS DE PRECIPITACIÓN, SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS**

El agua es solo una, en continuo e ininterrumpido ciclo de evaporación, condensación, precipitación y flujo superficial y subterráneo (frecuentemente interconectados). Debe quedar claro que las diferencias entre unos y otros tipos de aguas se basan fundamentalmente en la forma en que se presentan, y, consecuentemente, en su

diferente comportamiento y métodos de estudio.

Sierra Nevada se alimenta exclusivamente del agua que recibe del cielo. No existen, desgraciadamente, caudalosos ríos que la atraviesen provenientes de otras tierras, ni misteriosos túneles que la comuniquen con el mar, como aún conjeturan algunos lugareños. No obstante, las aguas de precipitación pueden ser de distinto tipo y naturaleza; la mayor parte corresponden a las precipitaciones sólidas (nieve, granizo) y líquidas (lluvia), aunque otros aportes menores, pero muy importantes para la vegetación, tienen su origen en procesos de intercepción (nieblas y nubes bajas) y condensación (rocío y escarcha).

Estas aguas de precipitación se descomponen en Sierra Nevada, y en la Naturaleza en general, en tres partidas. En un primer lugar están las que vuelven nuevamente a la atmósfera, a través de procesos de evapotranspiración e incluso de sublimación (paso de agua sólida a vapor). Se trata de una partida cuantitativamente importante, del orden del 35 al 40% de media. Otra parte se infiltra, circulando a mayor o menor profundidad según impongan las circunstancias hidrogeológicas, hasta salir por los manantiales o surgencias, que en Sierra Nevada presentan manifestaciones abundantes, especialmente en la alta montaña y en los alrededores de las zonas habitadas (en realidad habría que decir que los núcleos habitados se han desarrollado en la proximidad de los manantiales); estas aguas representan aproximadamente otro 35 % de las precipitadas. Por fin, la última tercera parte del agua precipitada escurre superficialmente desde un principio, primero en lámina e inmediatamente después a través de incipientes canales, para alimentar finalmente a arroyos y ríos.

En cualquier caso, la interacción entre las aguas superficiales y subterráneas en Sierra Nevada es intensa, y especialmente en La Alpujarra, debido, aparte de a las condiciones naturales del terreno, a la intensa derivación por acequias y a las prácticas de careo y regadío. Lo habitual es que las aguas de infiltración pasen a la red superficial, una vez emergidas, y después de trayectos más o menos largos, del mismo modo que las de escorrentía superficial se infiltran aguas abajo, sobre todo si existen prácticas de derivación por acequias y de careos y riegos.

Debido a la configuración hidrogeológica de Sierra Nevada, la mayor parte de los recursos hídricos afloran superficialmente dentro de sus límites, convirtiéndose en escorrentía superficial, que abandona el macizo por ríos y arroyos. Sólo una parte menor fluye subterráneamente hacia formaciones permeables limítrofes, especialmente depresiones rellenas de materiales detríticos neógenos y cuaternarios, como las de Granada, Valle de Lecrín, Guadix o las del corredor de La Alpujarra.

## **2.1. Aguas de precipitación**

Sierra Nevada representa una especie de barrera respecto a los frentes de nubes que proceden del Atlántico y, en menor medida, del Mediterráneo- cruzan el Sur de la Península Ibérica. De este modo, las aportaciones pluviométricas son más elevadas que las de todo su entorno; y ello cobra especial relevancia en las regiones situadas a Oriente, en tierras de Almería, donde la "sombra" pluviométrica de Sierra Nevada ha instaurado un clima semiárido, casi subdesértico en algunas zonas.

Pero casi tan importante como la cantidad de precipitación, lo es la forma sólida en que ésta se manifiesta frecuentemente, en más del 75 % de los casos por encima de los 2.000 m de altitud. Esto tiene gran importancia en el comportamiento hídrico del macizo, que de otra forma sería excesivamente torrencial, sin ríos de caudal continuo, sin praderas y borreguiles estivales, y con problemas de erosión e inestabilidad de laderas muy superiores a los actuales. Mucho se ha escrito, desde otros puntos de vista, sobre la importancia de este manto nival de Sierra Nevada. Antaño, fue el faro de los viajeros que se acercaban a la Penibética, o el conservante de los alimentos, constituyendo el medio de vida de los neveros. Hoy día, es el oro blanco de los deportes de invierno. Y una vez derretida, siempre fue apreciada para el abastecimiento urbano y utilizada en creación de pastizales, arboledas y en la agricultura de bancales, y de las vegas limítrofes. Además, la fuerza de las aguas, ganada en acusados desniveles, fue utilizada en numerosos molinos, y más recientemente para la generación de energía eléctrica.

Pero siendo estas aguas de precipitación el origen de todas las demás, superficiales y subterráneas, y fuente de variada riqueza, se hace especialmente difícil entender la dejadez que históricamente se ha tenido por medirlas. Cuando hoy día, y de forma periódica, reverdece la polémica sobre si nieva o llueve menos que antes, y en definitiva, qué hay de verdad en el cambio climático, nos encontramos, con pesar, con la ausencia de periodos de registro largos y fiables que pudieran ilustrar científicamente al respecto. Además, la variación altitudinal y latitudinal, apuntada anteriormente, implica heterogeneidades pluviométricas que han acentuado aún más las carencias comentadas.

Han sido muchos los autores que han estudiado el clima y la pluviometría de Sierra Nevada (Messerli, 1965; Pulido Bosch, 1980; Rodríguez *et al.*, 1981; Castillo Requena, 1981; Castillo, 1985; Aguilar *et al.*, 1986; Delgado *et al.*, 1988, etc.), y varios los ensayos de trazado de mapas de isoyetas (líneas de igual valor de precipitación, en litros por metro cuadrado, generalmente a nivel anual) realizados. Con las deficiencias de registro existentes, evidentemente no todos han coincidido en sus estimaciones. Así, algunos autores han atribuido a las cotas más altas precipitaciones medias anuales del orden de 2.500 litros/m<sup>2</sup>, mientras que otros corrigieron los datos aportados por los pluviómetros totalizadores de las cumbres y dieron cifras de precipitación en torno a 1.300 litros/m<sup>2</sup>. A menores cotas, la mayor densidad de pluviómetros, sobre todo en el entorno de las áreas habitadas, permitió la práctica coincidencia en las observaciones realizadas, poco representativas, sin embargo, del macizo en su conjunto, con una altitud media muy superior a las de estos asentamientos humanos. Acompaña a este texto un mapa de isoyetas realizado con datos de 44 pluviómetros, la práctica totalidad de las existentes en Sierra Nevada en el momento de su confección (Castillo, 1985), junto a unos yetogramas (precipitaciones medias mensuales) de algunas localizaciones representativas.

\*\*\*\*\*

### **Mapa de isoyetas de Sierra Nevada**

Las máximas precipitaciones medias anuales, estimadas en unos 1.300 mm, se suponen en la línea de cumbres comprendida entre El Caballo y La Alcazaba. Las cabeceras de los ríos Dúrcal, Dílar, Monachil y Genil serían las mejor expuestas a los frentes atlánticos, y por tanto las de mayor pluviometría. Por el contrario, las precipitaciones más bajas serían del orden de 350 mm y se darían en el borde Sur de la mitad oriental. También han sido muy diferentes los gradientes de precipitación obtenidos por cada 100 m de elevación altitudinal. Así, se han llegado a obtener gradientes de hasta 70 mm/100 m para la franja de 1.000 a 1.500 m de altitud en la vertiente occidental, mientras que para la misma franja y en el extremo opuesto, esos valores fueron de sólo 20 mm/100 m. Algo parecido podría decirse del número de días de precipitación al año, unos 80 en el extremo occidental y menos de 40 en el oriental.

Del mismo modo, la distribución mensual de las precipitaciones también es diferente de unas zonas a otras y tema de relativa discusión aún. A la variabilidad espacial intrínseca inducida por la orografía de Sierra Nevada, se suma la irregularidad temporal propia del clima mediterráneo. Estadísticamente, el mes más lluvioso de las series estudiadas es, con relativa regularidad, Diciembre, seguido por los de Marzo, Noviembre, Febrero y Enero con cantidades de precipitación similares. Por el contrario, el mes más seco, en la inmensa mayoría de las estaciones estudiadas, es el de Julio, seguido por Agosto.

Poco se puede decir de las cantidades de agua interceptadas o condensadas por el terreno y la vegetación; este tipo de aportación, conocida como oculta por no ser medida por los pluviómetros convencionales, es bien conocida, sin embargo, por lugareños y montañeros, que han podido comprobar en numerosas ocasiones que el monte se encontraba humedecido con esas nieblas bajas que ascendían por los barrancos, o tras constatar al amanecer, con sorpresa, que el terreno rezumaba igualmente humedad después de noches despejadas. Por sus propias condiciones de cercanía al mar Mediterráneo, la vertiente Sur del macizo (La Alpujarra) es la más proclive a este tipo de fenómenos. Estas aportaciones, muy posiblemente, han sido decisivas en la conservación de los bosques caducifolios de Sierra Nevada, como los de Lanjarón, Soportújar o Pórtugos en la vertiente Sur, o los de Lugros y San Juan en la Norte, que de otra forma seguramente no podrían haber soportado la sequedad de los largos estiajes de Sierra Nevada.

## **2.2. Aguas superficiales**

La morfología abombada de Sierra Nevada, originada por un pliegue de gran radio y convexidad de dirección Este-Oeste, permite repartir todas sus aguas entre dos grandes vertientes. La Norte, que las conduce hacia el río Guadalquivir, para desembocar en el Océano Atlántico, y la Sur, que lo hace a través de varios cursos independientes hacia el Mar Mediterráneo.

La vertiente mediterránea es la más extensa, con unos 1.300 km<sup>2</sup>, y los recursos drenados se han estimado en cerca de 350 hm<sup>3</sup>/año (Bravo y Velasco, 1985; Castillo, 1985). Las cuencas que la integran son las de los ríos Guadalfeo, Adra y Andarax (estos dos últimos con desembocadura en la provincia de Almería). La cuenca del río Guadalfeo está integrada, entre otros, por los ríos Dúrcal, Torrente, Lanjarón, Chico, Poqueira, Trevélez y

Cádiar. La cuenca del río Adra comprende los ríos Mecina, Válor, Nechite, Laroles, Bayárcal y Alcolea. La cuenca del Andarax, se compone de los ríos Láujar y Nacimiento, el más oriental de Sierra Nevada; este último es el único río de la cuenca Sur que recoge parte de sus aguas de la ladera Norte de Sierra Nevada.

La vertiente atlántica (cuenca del Guadalquivir) se extiende a lo largo de unos 700 km<sup>2</sup>, drenando unos recursos del orden de 260 hm<sup>3</sup>/año (Bravo y Velasco, 1985; Castillo, 1985). Está compuesta por las subcuencas de los ríos Genil y Fardes, ambos afluentes del Guadalquivir por su margen izquierda. La subcuenca del Genil es la más conocida y visitada de Sierra Nevada, no en vano abastece a Granada y a su vega, y en ella se enclava la estación de esquí de Solynieve. Esta subcuenca la componen los ríos Dílar, Monachil y Genil. La subcuenca del río Fardes drena por tierras de la Hoya de Guadix, y está alimentada por multitud de pequeños cauces; los más occidentales, como el Morollón (río de La Peza) y el Alcázar de Lugros, son afluentes del Fardes por su margen derecha; los orientales, que drenan la fachada del Marquesado granadino, son pequeños ríos como El Bernal, Alhorí, Alcázar, Lanteira, Gallego y Hondo, entre otros, todos ellos afluentes del río de Guadix, afluente a su vez del Fardes por su margen derecha.

Algunos de estos ríos disponen de estaciones de aforo para la medida de sus caudales, y gracias a ello se han podido estudiar sus regímenes fluviales y conocido algunos de los parámetros hidrológicos representativos del macizo de Sierra Nevada (Pulido Bosch, 1980; Castillo, 1985, Pulido Bosch *et al.*, 1986; Al-Alwani, 1992; Castillo *et al.*, 1996a,b, Martín *et al.*, 1996, etc.). En concreto, las estaciones de aforo existentes con series más largas, dentro de la cuenca Sur, son las de los ríos Cádiar en Narila, Dúrcal en los Sauces, Izbor en presa Melegís, Salado en Lanjarón, Lanjarón en Lanjarón, Poqueira en central de Pampaneira, Ugíjar en Las Tosquillas, y Alcolea en El Esparragal; en la vertiente Norte se dispuso de las estaciones de los ríos Dílar en Central Eléctrica, Monachil en Díechar, Genil en Pinos Genil y Aguas Blancas en El Blanqueo. Recientemente se han acondicionado otras, con registros aún cortos.

Los datos de caudal disponibles han sido básicos para establecer las aportaciones drenadas por las distintas cuencas, en unos casos a través de datos directos, y, en otras, la mayoría, a través de cálculos indirectos. Así, se estima que los caudales drenados superficialmente por las subcuencas atlánticas del Genil y del Fardes son del orden de 175 y 90 hm<sup>3</sup>/año, respectivamente. Para las subcuencas mediterráneas del Guadalfeo, Adra y Andarax, estos aportes serían del orden de 310, 30 y 15 hm<sup>3</sup>/año, respectivamente.

Los hidrogramas de estas descargas superficiales son muy diferentes según la altitud, latitud y orientación de las cuencas fluviales. Para los ríos occidentales, los máximos caudales mensuales se producen en Mayo, seguidos por los de Junio, Abril y Julio. Por el contrario, los mínimos son los de Septiembre, seguidos por los de Agosto y Diciembre. Los ríos más orientales (subcuenca del Adra y Andarax) presentan deshielos más atenuados y adelantados, por lo que los máximos de caudal tienen lugar en Febrero, y los mínimos igualmente en Septiembre. No obstante, los caudales medidos están continuamente distorsionados por las intensas derivaciones a que están sometidas sus cabeceras. En el estiaje, estas prácticas llegan casi a secar tramos enteros, si bien las continuas surgencias a los lechos y las aportaciones de tributarios alivian estas situaciones.

Los indicadores hidrológicos de los ríos de Sierra Nevada ofrecen valores igualmente

dispares. Así, los coeficientes de escorrentía hallados (porcentaje de aportaciones drenadas con respecto a las recibidas por pluviometría), oscilan entre cerca del 70 % para ríos occidentales y menos del 15 % para los orientales. En este último caso, el bajo valor obedece a las mayores pérdidas por evapotranspiración, al ser más elevadas las temperaturas y más intensa la derivación de las aguas para regadío.

Otro parámetro ilustrativo es el del caudal específico, que corresponde al drenado por cada kilómetro cuadrado de superficie vertiente. Este índice se relaciona muy estrechamente con la precipitación y evapotranspiración media de las distintas cuencas, así como con el grado de derivación, exportación subterránea, e, incluso, importación de recursos. Los máximos valores de los que se dispone información a la salida del macizo fueron los de los ríos Poqueira, Monachil, Dílar y Genil, con valores muy próximos a los 15 l/s por km<sup>2</sup>. Por el contrario, los mínimos se obtuvieron otra vez en los ríos orientales, como los de Ugíjar y Alcolea, con valores inferiores a 3 l/s por km<sup>2</sup>.

Se dispone de poca información respecto del desglose aguas superficiales-subterráneas ("flujo de base") en las aguas fluviales de Sierra Nevada. En los ríos Monachil y Dílar se realizaron algunas estimaciones (Pulido Bosch, 1980; Castillo, 1993) partiendo de sus hidrogramas (curvas de caudal-tiempo). Gracias a ello, se ha comprobado que los caudales drenados por escorrentía superficial directa, especialmente durante el deshielo, no alcanzan el 50 % de las aportaciones anuales, mientras que otro 40 % respondería a flujos subsuperficiales, procedentes en su mayor parte también del deshielo y el resto a aportaciones subterráneas de la orla dolomítica. Para los ríos de La Alpujarra, sin apenas orla carbonatada alpujárride, pero con una más intensa derivación y careo de las aguas, la repartición entre aguas superficiales y subterráneas sería equivalente, del orden del 50 % para cada una de ellas (Al-Alwani, 1992, 1997).

Mención aparte, dentro de este epígrafe destinado a las aguas superficiales, merecen las lagunas de Sierra Nevada, como señales inequívocas de un glaciario cuaternario relictos. Localizadas en antiguas cubetas de sobreexcavación o en depresiones cerradas por diques morrénicos, son de una belleza incuestionable, y elemento del más alto valor paisajístico y ambiental de las altas cumbres de Sierra Nevada, hoy día convertidas en Parque Nacional. De las 42 lagunas de aguas relativamente permanentes existentes, la mayor parte se localizan en la vertiente Sur. Casi la mitad, unas 17, se conservan en la cuenca del río Trevélez, y 11 más en la cuenca del río Poqueira. En la vertiente Norte solo existen unas 10 lagunas de aguas estables.

La más alta de todas es la laguna Altera, en la cañada de Siete Lagunas, situada a cota 3.146; la más grande es la de La Caldera; la más profunda, la de Baces. Las hay de formas muy diferentes, desde las redondeadas a las alargadas, lobuladas, cuadradas, etc. El régimen hídrico de ellas no ha sido apenas estudiado; muy pocas tienen entradas permanentes de agua, siendo algunas endorreicas, esto es, sin salida visible de aguas, mientras que la mayoría conservan aliviaderos, en forma de chorreras y emisarios. A final de la primavera, y en años húmedos, son visibles otras muchas lagunas y lagunillos, cuya principal característica es su menor tamaño y lo efímero de sus aguas, que no suelen alcanzar el final del estiaje.

### 2.3. Aguas subterráneas

En Sierra Nevada coexisten dos grandes conjuntos rocosos. Los micasquistos (pizarras, lajas o lastras en términos locales), que ocupan el 80 % de la superficie, afloran en el núcleo central y son poco permeables, y las rocas carbonatadas, dolomías principalmente (calares, en la toponimia local), que se sitúan, sobre todo, en las partes bajas del tercio occidental del macizo, y son moderadamente permeables.

Los micasquistos pertenecen al Complejo Nevado-Filábride y constituyen las rocas más antiguas de Sierra Nevada, mientras que las rocas carbonatadas, más recientes, son del Complejo Alpujárride, situado tectónicamente sobre el anterior. Ambos conjuntos pertenecen a la denominada Zona Interna de la Cordillera Bética. En los bordes de estos materiales existen una serie de depresiones postorogénicas rellenas de materiales detríticos, compuestos por alternancias de gravas, arenas, limos y arcillas. Ilustra el texto un mapa hidrogeológico del macizo de Sierra Nevada y de su contorno, en el que se han distinguido los materiales por su diferente permeabilidad y comportamiento frente al agua.

\*\*\*\*\*

#### Mapa hidrogeológico de Sierra Nevada

Los micasquistos son materiales impermeables en su estado inalterado, pero de esa forma no existen en la naturaleza. Los de Sierra Nevada fueron sometidos a varios plegamientos, y una vez emergidos han estado expuestos a los agentes erosivos durante más de 15 millones de años. En esas condiciones, el resultado es que aparecen fuertemente fracturados y muy descompuestos en superficie, sobre todo por la acción crioclástica (rotura por efecto del hielo). De este modo, la roca madre está generalmente tapizada por clastos (cascajares, lanchares), con poca fracción fina, mientras que los procesos edáficos o de formación de suelo están escasamente desarrollados, instaurándose a cotas más bajas, especialmente en la franja forestal de los esquistos, entre los 1.000 y 2.000 m de cota.

Hasta hace poco tiempo, estos materiales se consideraban sin apenas interés acuífero. Hoy día sabemos que a través de sus fracturas y, sobre todo, de las franjas de derrubios y de alteración pueden circular volúmenes significativos de agua (Castillo, 1993; Castillo *et al*, 1996a; Gisbert, 1997; Adarve *et al.*, 1997; Fedeli y Castillo, 1997, 1998). Estos flujos subsuperficiales ("hipodérmicos") y subterráneos juegan un papel regulador importante, que es básico, por ejemplo, para el mantenimiento de los caudales finiestivales de los ríos de Sierra Nevada y de las praderas y borreguiles de la alta montaña.

Todos los humedales de la alta y media montaña (chortales, borreguiles, chorreras, etc.), origen en muchos casos de praderas y pastizales, responden al drenaje subsuperficial de la franja de alteración de los micasquistos. La circulación a través de fracturas y de otras discontinuidades da lugar a manantiales localizados generalmente a cotas más bajas y al fondo de barrancos. La baja montaña esquistosa es el ámbito de este tipo de manantiales, y especialmente las zonas de contacto mecánico entre mantos y entre los complejos Nevado-

Filábride y Alpujárride. También existen en estas cotas más bajas manantiales que responden a flujos subsuperficiales, en este caso originados generalmente por careos, riegos y derivaciones de acequias aguas arriba.

Interestratificados con los micasquistos se presentan otros tipos de rocas, como cuarcitas, cuarzoesquistos e incluso mármoles, que al ser materiales más competentes aparecen más intensamente fracturados, y por tanto presentan mayor permeabilidad. De este modo, estos niveles interestratificados actúan de colectores y transmisores del agua, dando lugar también a manantiales y surgencias características.

Muy escasas son las obras de captación en estos materiales esquistosos del núcleo de Sierra Nevada. La mayor parte de las actuaciones realizadas consisten en zanjas, catas, minas o galerías, muy abundantes en las partes bajas de La Alpujarra, que han pretendido aumentar los caudales de pequeñas fuentes y manantiales previamente existentes. En algunos sectores se han ensayado con éxito las perforaciones subhorizontales, con el objetivo de captar flujos epidérmicos, prácticamente los únicos que poseen este tipo de materiales. Ultimamente, y a causa de las sequías, se han ensayado también sondeos verticales, que han dado en algunos casos resultados sorprendentemente satisfactorios, aunque con tipos de aguas más mineralizadas.

Las calizo-dolomías y dolomías del Complejo Alpujárride están especialmente representadas en el tercio occidental del macizo. El comportamiento hidrogeológico de estos materiales es muy diferente al de los anteriores (Pulido Bosch, 1980; Pulido Bosch *et al.*, 1986; Diputación e ITGE, 1990; Castillo, 1993; Castillo *et al.*, 1996a, etc.). En este caso se trata de rocas de indudable interés acuífero, intensamente fracturadas (a eso alude el término "kakiritas", con el que también se las conoce) y moderadamente karstificadas, gracias a lo cual presentan una aceptable permeabilidad, más bien ligada a la intensa trituración, responsable de ese aspecto arenoso tan característico de estos materiales en Sierra Nevada. Los tramos carbonatados se disponen en varias unidades tectónicas superpuestas, o mantos de corrimiento, muy frecuentemente aislados entre sí por espesores variables de filitas impermeables (launas, en la terminología local). Además, es frecuente la compartimentación tectónica de los afloramientos, con muy distintos espesores carbonatados de unos sectores a otros, lo que da origen a surgencias que aparecen a diferentes cotas dentro del macizo.

En Sierra Nevada estos materiales son minoritarios, aflorando en sólo unos 300 km<sup>2</sup>. El mayor afloramiento corresponde al denominado *Sistema acuífero carbonatado de Padul-La Peza* (también *Acuífero carbonatado del borde occidental de Sierra Nevada*). A él pertenecerían las sierras de Dúrcal, El Manar, Dílar, Los Alayos, cerro Huenes, El Calar de Güejar Sierra y las sierras de Quéntar - La Peza. Con menor desarrollo y mayor compartimentación se localiza también un rosario de afloramientos desde las poblaciones de Lanjarón hasta Alboloduy, conocido como *Acuíferos carbonatados de las Alpujarras* (Diputación de Granada e ITGE, 1990).

Las entradas a estos acuíferos carbonatados proceden de la precipitación sobre sus afloramientos, y en una proporción notable, pero de difícil cuantificación, también de la infiltración a través de las escorrentías procedentes del núcleo esquistoso de Sierra Nevada. Las aportaciones directas por infiltración del agua de lluvia caída sobre estos materiales se han estimado en unos 90 hm<sup>3</sup>/año. La descarga de los recursos se produce

mayoritariamente por emergencias a los ríos en sus tramos bajos; los más beneficiados por estas descargas en el sector occidental son el Aguas Blancas, Padules, Monachil, Dílar, Dúrcal y Torrente. Numerosas, pero poco importantes cuantitativamente, son las descargas "colgadas" o de ladera, desconectadas del flujo regional. El flujo regional presenta, no obstante, diferentes cotas de emergencia, que fluctúan aproximadamente entre los 1.100 y los 700 m de la zona del Padul. También se suponen importantes las transferencias hídricas ocultas a las depresiones de borde, como las de Granada, Padul-Dúrcal y, en menor medida, a la de Guadix.

Muy poco se sabe de la geometría y de los parámetros hidráulicos de las unidades acuíferas comentadas, y, por tanto, es desconocido el volumen de sus reservas de agua. Ultimamente se están explotando a través de sondeos localizados en muchos de sus bordes, sobre todo en el sector de Monachil a Nigüelas; los caudales y rendimientos obtenidos son muy aceptables. En el sector de La Alpujarra, el reducido tamaño y la geometría de fondo de estos afloramientos no permite grandes explotaciones, si bien los manantiales asociados al drenaje de los mismos son habitual sustento de abastecimientos y regadíos, en algunos casos favorecidos por la recarga de careos desde acequias superiores.

### **3. CALIDAD DE LAS AGUAS**

La mayor parte de las aguas de Sierra Nevada discurren superficial o subsuperficialmente, dando lugar a chorreras, arroyos y ríos, procedentes, directa o indirectamente, de la fusión de la nieve y de la lluvia. Debido a este origen, se trata de aguas frías, débilmente salinas, algo ácidas y, en suma, de una excelente calidad física, química y microbiológica (Roper, 1984). No obstante, también existen aguas de quimismo muy diferente, producto de circulaciones profundas y lentas, que darían origen a aguas termales, moderadamente salinas, ferruginosas y gaseosas, tan características especialmente de La Alpujarra (Rodríguez Gordillo *et al.*, 1981). En ningún caso suelen presentar indicios de contaminación, al ser las cabeceras áreas deshabitadas.

Las aguas superficiales son las de calidad más uniforme; su temperatura aumenta al alejarnos de los frentes de deshielo, donde es de unos 2 °C, hasta los 16 °C de media que poseen las aguas fluviales a la salida del macizo. La mineralización o salinidad de las aguas se incrementa en el mismo sentido, y pasa de unos 50 mg/l, en los sectores de fusión de los neveros, a unos 300 mg/l. La facies hidroquímica es, sin embargo, siempre bicarbonatada cálcica, con contenidos sensibles en magnesio y sulfato y prácticamente despreciables en el resto de constituyentes.

Cuando algunos de estos ríos atraviesan la orla carbonatada, las aguas suelen incrementar ligeramente sus niveles salinos, especialmente por las aportaciones subterráneas existentes a los cauces. Así, la mineralización puede incrementarse hasta los 500 mg/l, aumentando las concentraciones en bicarbonatos, calcio, magnesio y sulfatos, con valores de pH ya ligeramente básicos.

Las aguas de circulación subsuperficial de la alta, y, ocasionalmente, de la media y baja montaña presentan una mayor variedad de calidades, si bien son en cualquier caso de

mineralización débil. La mineralización aumenta lógicamente en el sentido del flujo, por lo que las de media y baja ladera pueden soportar ya concentraciones apreciables en la mayoría de los constituyentes esenciales del agua. Un quimismo similar es el aportado por las aguas procedentes de los retornos de los riegos y careos en La Alpujarra. En este caso, la mineralización depende nuevamente de la distancia recorrida entre los puntos de pérdida y los de surgencia o rezume.

Pero es en la franja de contacto mecánico de los complejos Alpujárride y Nevado-Filábride, especialmente en la baja montaña de La Alpujarra, donde se da la mayor variabilidad composicional y de calidades de toda Sierra Nevada. En ese dominio se presentan aguas que han seguido diferentes caminos, en una zona de drenaje favorable por su intensa fracturación, brechificación y mineralización. En muchos casos se trata de aguas algo termales, de sabor picante por sus altos contenidos en  $\text{CO}_2$ , que dan tintes y depósitos ferruginosos en los puntos de emergencia, con notables contenidos de otros metales, como manganeso o níquel; son aguas relativamente salinas, que poseen un gran número de microconstituyentes. Este tipo de aguas no son aptas para el consumo habitual, pero pueden ser muy beneficiosas en dosis controladas o para ciertos tratamientos terapéuticos. En clara contradicción, muy cerca de éstas, afloran otras aguas mesotermales (en equilibrio térmico con la media atmosférica del lugar), sin hierro, ni gases y de salinidades moderadas, del tipo de las comentadas anteriormente para las de superficie o de flujo subsuperficial. Y, por último, estarían todas aquellas de mineralización intermedia, reflejo de aguas de mezcla o de circulación mixta entre los tipos anteriores.

En estos sectores, las aguas más abundantes son las bicarbonatadas, pero no son raras las sulfatadas, e incluso las cloruradas, casi siempre cálcicas. El total de sólidos disueltos puede oscilar entre 300 y 3.000 mg/l. Un termómetro sirve muchas veces para hacer una rápida clasificación de ellas. Las hay frías, que emergen a una temperatura comprendida entre 11 y 14  $^{\circ}\text{C}$ , normalmente inferior a la media atmosférica anual del lugar; las hay equilibradas térmicamente, y dan valores de 14 a 20  $^{\circ}\text{C}$  y las hay termales, con temperaturas de más de 20  $^{\circ}\text{C}$ , superiores en más de cuatro grados a la temperatura ambiente anual. La temperatura se correlaciona muy bien con el quimismo; las aguas frías suelen ser las menos mineralizadas, y de circulación epidérmica, con recorridos cortos y rápidos. Por el contrario, las aguas termales, con  $\text{CO}_2$  y alta salinidad, responden a flujos profundos a través de fracturas y discontinuidades, con recorridos largos y de gran tiempo de tránsito.

Por último, las aguas subterráneas de la orla dolomítica presentan, nuevamente, una mayor regularidad composicional, con una estructura química más concentrada en constituyentes mayoritarios, pero menos rica en oligoelementos; la salinidad está comprendida entre los 300 y 800 mg/l, siendo el pH neutro o algo básico; la facies química es bicarbonatada cálcico-magnésica, aunque en algunos sectores llegan a presentar cantidades apreciables de sulfatos. Muestran una gradación composicional, desde las menos mineralizadas y más frías de los manantiales de ladera o colgados, hasta las más salinas y equilibradas térmicamente de los manantiales de borde correspondientes a puntos de drenaje regional.

#### **4. AGUAS DE LANJARON**

Lanjarón constituye posiblemente el ejemplo más notable de la llamativa diversidad hidrogeológica que se ha descrito en el apartado anterior. En efecto, en el entorno de Lanjarón existe un elevado número de manantiales, con características contrastadas en lo que se refiere a temperatura del agua, salinidad, facies hidroquímica, contenido en gases, presencia de depósitos (ferruginosos, por ejemplo) en el área de surgencia, etc. Atendiendo a sus características, se puede proponer una clasificación de tales surgencias en tres grupos: el primer grupo corresponde a aquellas surgencias (Baño termal, Capuchina, Ferruginoso, etc.) que presentan una salinidad elevada (varios gramos por litro) y una clara anomalía térmica (20-29 1C); el segundo grupo (San Vicente, Nicasio, etc.) lo integran los manantiales de baja temperatura de surgencia (15-18 1C), coincidente con la temperatura media anual del aire en el sector, y débil mineralización (por debajo de 500 mg/l); finalmente, existe un tercer grupo de manantiales (Capilla, Salud II, San Pedro, etc.) con características intermedias entre los dos anteriores.

\*\*\*\*\*

*Esquema hidrogeológico interpretativo del sector de Lanjarón. En punteado, materiales de alteración (exagerando su espesor); Los tonos morados representan el Complejo Alpujárride, que descansa sobre los materiales del Complejo Nevado-Filábride: el manto del Veleta (el tectónicamente inferior, a la izquierda del corte) y el manto del Mulhacén (a la derecha, directamente bajo el Alpujárride). En el contacto entre los mantos mencionados se han representado bandas milonitizadas. Las líneas azules representan líneas de flujo; perpendicularmente a ellas se han representado líneas equipotenciales, aunque únicamente a título orientativo.*

Aunque existen algunos pocos manantiales (pertenecientes al segundo grupo) diseminados a distintas cotas en la loma de la Bordaila, que domina por el Norte la localidad de Lanjarón, la inmensa mayoría de las surgencias están situadas en las inmediaciones del pueblo y más particularmente en sus bordes oriental y occidental, que coinciden, a su vez, con los cauces de los cursos fluviales que delimitan la loma de la Bordaila: el río Lanjarón, al Este, y el arroyo Salado, al Oeste.

#### **4.1. Condicionante geológico**

La situación de las surgencias está fuertemente condicionada por las características geológicas. La agrupación de manantiales coincide sensiblemente con un importante contacto geológico: el existente entre los materiales del Complejo Nevado-Filábride y el Complejo Alpujárride.

El primero, como ya se ha mencionado, está constituido fundamentalmente por micasquistas, que afloran en los relieves que ascienden al Norte de Lanjarón hasta el núcleo de Sierra Nevada (Cerro del Caballo); en este Complejo pueden distinguirse dos mantos: el Manto del Veleta, en una posición tectónica inferior, aflora en las cotas más altas y en su

monótona secuencia predominan los micasquistos grafíticos; sobre él se dispone el manto del Mulhacén, que presenta una mayor variedad litológica (micasquistos feldespáticos y anfibólicos, gneises, niveles de mármoles, etc.); sus afloramientos constituyen una orla alrededor del Manto del Veleta y a cotas más bajas; es interesante señalar que es casi general la presencia sobre estos últimos materiales de una capa meteorizada, más o menos continua, de varios metros de espesor.

Sobre el Complejo Nevado-Filábride reposa, mediante un importante contacto tectónico de cabalgamiento, el Complejo Alpujárride. De este modo, sobre los micasquistos del Manto del Mulhacén afloran las filitas (con niveles de cuarcita, yeso, etc.) de la base del Complejo Alpujárride; el tramo superior de la secuencia de este último Complejo (dolomías, calizas, mármoles, calcoesquistos ) aflora en este sector sólo de forma discontinua en algunos puntos (Castillo de Lanjarón, etc.), aunque ocupa extensiones importantes en sectores próximos (Sierra de Lújar, etc.).

Este contacto, que buza hacia el Sur (hacia el SW, en el sector del arroyo Salado) está marcado por una banda de milonitas, es decir, de rocas fracturadas por efectos de la tectonización.

El último rasgo geológico del sector de Lanjarón que merece ser mencionado es el de la presencia de un afloramiento de travertinos cuyo techo da lugar a la plataforma sobre la que está edificada la población de Lanjarón y cuya suave topografía contrasta marcadamente con el relieve mucho más abrupto, propio del modelado desarrollado sobre las restantes rocas del entorno. Esta formación travertínica es de edad reciente (Cuaternario) y consiste en un depósito de carbonato cálcico que aglutina abundantes restos vegetales (localmente puede mostrar enriquecimientos de hierro, de materia orgánica, o incluso de niveles más detríticos); se trata de depósitos típicamente asociados a zonas de descarga de aguas subterráneas; de hecho, en algunos puntos se observa la formación actual de tales rocas en relación con surgencias, en especial de las de mayor temperatura y salinidad, con desprendimiento de CO<sub>2</sub> (por ejemplo, el caso del manantial Ferruginoso Lanjarón, en las proximidades del cauce del río Lanjarón).

La formación travertínica se extiende a lo largo de la población de Lanjarón, de modo que sus afloramientos enmascaran el contacto entre el Complejo Nevado-Filábride y el Complejo Alpujárride en todo este sector; otras veces ese contacto está enmascarado por derrubios (capa meteorizada).

## **4.2. Hidrogeología**

Las notables peculiaridades de los rasgos hidrogeológicos de Lanjarón derivan esencialmente del diferente comportamiento hidrogeológico de los micasquistos del Complejo Nevado-Filábride y de las filitas del Complejo Alpujárride. Estas últimas pueden considerarse prácticamente impermeables (no en vano han sido profusamente utilizadas en la arquitectura popular alpujarreña como material de construcción para la impermeabilización de techumbres: las denominadas *launas*).

Los micasquistos, por su parte, son poco permeables, pero en ellos existe un cierto flujo subterráneo, asociado sobre todo a dos factores: de un lado la existencia de una capa

meteorizada (especialmente en el caso de los micasquistos del Manto del Mulhacén, es decir, los más próximos a Lanjarón) y, por otra parte, la existencia de discontinuidades debidas a fracturación, diaclasamiento, esquistosidad, etc.; la permeabilidad asociada a factores de este segundo tipo parece especialmente acusada en las milonitas desarrolladas en el contacto de cabalgamiento entre el Complejo Alpujárride y el Complejo Nevado-Filábride; probablemente puede existir una franja similar en el contacto tectónico de cabalgamiento entre los dos Mantos del Complejo Nevado-Filábride (el del Mulhacén y el del Veleta), que podría tener cierta incidencia en la alimentación del acuífero, de acuerdo con el modelo conceptual que se describe a continuación.

Según este modelo, el acuífero está constituido por los micasquistos del Complejo Nevado-Filábride, lo que incluye la capa meteorizada superficial, desarrollada sobre todo sobre los materiales del Manto del Mulhacén, y las bandas milonizadas del contacto Alpujárride-Complejo Nevado-Filábride y, eventualmente, la que puede existir desarrollada en el contacto de cabalgamiento entre los dos mantos que constituyen este último Complejo: el del Mulhacén y el del Veleta.

De esta forma, la zona de descarga principal está asociada al sector en el que se encuentra a cota más baja el contacto entre el conjunto permeable (o semipermeable) descrito y el techo impermeable del acuífero, representado por las filitas alpujárrides: ello sucede en los alrededores de Lanjarón y especialmente en las zonas más deprimidas, correspondientes al encajamiento del río Lanjarón y del arroyo Salado; en este último caso, la concentración de manantiales se ve favorecida, además, por la presencia de una importante fractura cuyo trazado coincide con el del arroyo. La presencia del travertino de Lanjarón es una prueba evidente de la localización de esta zona de descarga y la menor abundancia de surgencias en el borde Norte del travertino (zona urbana) sugiere que existe un flujo subterráneo hacia éste que descarga finalmente hacia el río Lanjarón en el borde Sur del afloramiento en cuestión.

La recarga está representada por procesos diversos: en primer lugar, la precipitación sobre los propios afloramientos, a la que hay que añadir, y con importancia prioritaria, la alimentación adicional representada por la complejísima red de acequias (y restantes elementos de la red de derivación), el retorno de los propios riegos y las aguas superficiales, por lo menos en la parte alta del sistema.

La capa meteorizada desarrollada sobre los micasquistos mantiene una zona saturada, desigual y discontinua, que produce descarga subterránea a distintas cotas: manantiales dispersos en la loma de Bordaila y alrededores y descargas a la red superficial, particularmente al río Lanjarón, del que vuelven a menudo a ser derivadas aguas abajo para el riego, de modo que la misma situación se repite a lo largo del cauce. En cuanto a los manantiales a cotas altas, pueden ser el resultado simplemente de la existencia de una zona topográficamente más deprimida (en especial en las laderas que se inclinan hacia la red superficial), a pequeños niveles colgados sobre capas menos permeables, o incluso a un adelgazamiento o interrupción local de la capa meteorizada más permeable. En todo caso, la descarga principal se realiza, como no podía ser de otro modo, en la parte más baja de estos afloramientos, coincidiendo una vez más en el sector de Lanjarón. Estos manantiales representan la salida de un flujo sub-superficial, de recorrido relativamente breve, de modo que el agua se encuentra a baja temperatura (aproximadamente la media anual del aire en el lugar) y presenta una débil mineralización, coherente con la baja solubilidad de los minerales

silicatados de las rocas en cuyo seno tiene lugar la circulación.

Pero una parte de la recarga debe infiltrarse aprovechando la red de fisuras en los micasquistos, en la que deben alcanzar una profundidad considerable. La débil permeabilidad de esa red de fisuras produce un flujo lento y un tiempo de residencia prolongado, lo que asegura, en primer lugar, la adquisición de una intensa mineralización, incluyendo altos contenidos en algunos elementos (a pesar de la mencionada baja solubilidad) y el equilibrio térmico con la roca a esa profundidad. Las máximas temperaturas alcanzadas en la parte más profunda del circuito termal, lo que se denomina "temperatura de base", fueron evaluadas por Cruz-Sanjulián y Granda (1979) para los manantiales de Lanjarón en torno a 100°C. En la zona de descarga, el flujo es ascendente y probablemente favorecido en buena medida por la franja milonitizada; esta última presenta sin duda una mayor permeabilidad que los micasquistos, pero tampoco muy elevada, de modo que el flujo debe ser suficientemente lento para que se produzca un progresivo enfriamiento y se pierda una buena parte de la anomalía térmica alcanzada en profundidad. El carácter ascendente del flujo en ese sector se ha evidenciado en sondeos realizados en esa situación, en los que se ha observado arrastre de partículas de cierto tamaño y emisiones de gases (CO<sub>2</sub>) de cierta envergadura; la importancia regional del contacto en cuestión permite pensar incluso en una procedencia bastante profunda del gas (y quizá de otros componentes fluidos). Una eventual conexión directa con dicho circuito, por ejemplo a través de una fractura, proporcionaría una descarga termal, de alta salinidad y con un tiempo de residencia en el acuífero prolongado.

No obstante, una parte de esa descarga puede producirse a la capa meteorizada, al travertino, etc., de modo que de ello resulta una mezcla en proporciones diversas con el agua fría de flujo subsuperficial. Dependiendo de las proporciones de esa mezcla, el resultado será un agua más próxima a uno u otro de los componentes básicos.

## 5. BIBLIOGRAFIA

Adarve, A.; Castillo, A.; Gisbert, J. y Al-Alwani, G. (1997). Characterization of subsurface flow in schists in Sierra Nevada (Granada; Spain) by depletion curves. *Hydrogeology of Hard Rocks*. Ed. I.A.H. 115-124

Aguilar, J.; Simón, M.; Medina, J.; Gil de Carrasco, C. y Maraños, A. (1986). Mapa de suelos a escala 1:10.000 y memoria explicativa de la hoja de Aldeire. Proy. LUCDEME-Univ. Granada

Al-Alwani, G. (1992). Bases para la gestión de los recursos hídricos totales del río Guadalfeo (Granada). Tesis de Licenciatura (inéd.). Univ. Granada. 212 pág.

Al-Alwani, G. (1997). Hidrología e hidrogeología de la cuenca del río Guadalfeo. Tesis Doct. Univ. Granada. 315 p

Bravo, G. y Velasco, D. (1985). Obras hidráulicas de regulación. En *Sierra Nevada y La Alpujarra*. Ed. Andalucía, S.A. Ferrer, M. Granada

Castillo Requena, J.M. (1981). Mecanismos de la precipitación en Sierra Nevada. *Rev. Cuad.*

Geográficos, 11

Castillo, A. (1985). Aguas superficiales y subterráneas en Sierra Nevada. En Sierra Nevada y La Alpujarra. Ed. Andalucía, S.A. Ferrer, M. Granada

Castillo, A. (1988). Ensayo de delimitación y caracterización del sistema hídrico de Sierra Nevada, ante un futuro plan especial de protección. II Cong. Geológico de España (2): 359-362. Granada

Castillo, A. (1993). Aguas de Sierra Nevada. En Aguas de Sierra Nevada. EMASAGRA. Ferrer, M. y Fernández Durán, E. Granada

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

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

Cruz Sanjulián, J. y Granda, J.M. (1979). Temperatura de base de las aguas termales de la provincia de Granada. II Simposio Nacional de Hidrogeología, 547-568. Pamplona

Delgado, R.; Delgado, G.; Párraga, J.; Gámiz, E.; Sánchez Marañón, M. y Tenorio, M.A. (1988). Mapa de suelos a escala 1:100.000 y memoria explicativa de la hoja de Güejar Sierra. Proy. LUCDEME-Univ. Granada

DIPUTACION DE GRANADA E ITGE (1990). Atlas hidrogeológico de la provincia de Granada. Coed. Diputación-ITGE. 107 pág. 4 mapas a 1:200.000. Granada

Fedeli, B. y Castillo, A. (1997). Different kinds of morphogenetic springs in the upper Dilar valley (Sierra Nevada, Granada; Spain). Hydrogeology of Hard Rocks. Ed. I.A.H.159-167

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

Gisbert, J. (1997). Estudio hidrológico y erosivo de la cabecera del río Monachil (Granada). Tesis Lic. Univ. Granada

Martín, W.; Castillo, A. y Osorio, R. (1996). Rasgos hidrológicos de la cuenca vertiente al embalse de Rules en el río Guadalfeo (Granada). IV Simposio sobre el Agua en Andalucía, 1: 157-165

Messerli, B. (1965). Beitrage sur geomorphologie der Sierra Nevada (Andalusien). Tesis Doct. Univ. Zurich

Pulido Bosch, A. (1980). Datos hidrológicos sobre el borde occidental de Sierra Nevada. Fund. J. March. Serie Univ. N1 123. 51 p

Pulido Bosch, A.; Benavente, J.; Castillo, A. y Padilla, A. (1986). Estudio hidrogeológico de la cuenca del río Adra. Proy. LUCDEME (inéd.). 66 pág.

Rodríguez Gordillo, J.; Velilla, N. y Fernández Rubio, R. (1981). Hidroquímica y termalismo de las aguas de Lanjarón (Granada). I Simposio sobre el Agua en Andalucía. Granada

Rodríguez Martínez, F.; Frontana, J. y Goicoechea, M. (1981). Evolución y estado actual de los conocimientos climáticos en Sierra Nevada. VII Col. Nac. de Geografía

Ropero, M.L. (1984). Calidad de las aguas corrientes de Sierra Nevada (Granada). Serv. Publ. Univ. Granada. 150 p