

SINTESIS HIDROLOGICA DEL MACIZO DE SIERRA NEVADA (GRANADA Y ALMERIA)

Castillo, A.

Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) e Instituto del Agua de la Universidad de Granada. Facultad de Ciencias. Avda. Fuentenueva, s/n. 18071 Granada

del Valle, M.

Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (CHG-MOPTMA). Avda. de Madrid, 7. 18071 Granada

Rubio-Campos, J.C.

Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE-MINER). Neptuno, 1. 18004 Granada

Fernández-Rubio, R.

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas (ETSIM-Univ. Politécnica Madrid). Ríos Rosas, 21. 28003 Madrid

RESUMEN

El macizo de Sierra Nevada (Granada y Almería) presenta, desde el punto de vista hidrológico, una superficie de 2.000 km². Los recursos hídricos drenados se estiman en 750 hm³/año, repartidos entre las cuencas atlántica (vertiente Norte) y mediterránea (vertiente Sur).

En este artículo se resumen los aspectos más destacables relacionados con las aportaciones pluviométricas, hidrología superficial y subterránea, calidad y regulación de las aguas.

Palabras clave: Sierra Nevada, hidrología superficial y subterránea, calidad de las aguas, recursos hídricos, regulación.

ABSTRACT

From the hydrological point of view, Sierra Nevada massif (Granada and Almería) presents an area of 2.000 km². Water resources are estimated in 750 hm³/yr, shared out between atlantic (northern slope) and mediterranean (southern slope) basins.

The main aspects about precipitation contribution, surface and subterranean hydrology, quality and water regulation are summarized in this paper.

Key words: Sierra Nevada, surface and subterranean hydrology, quality, water resources, regulation.

INTRODUCCION. ESTADO ACTUAL DE CONOCIMIENTOS

El macizo de Sierra Nevada constituye una unidad ambiental y geográfica relativamente bien definida y aceptada (Ferrer, 1971, 1985; Jiménez Olivencia, 1991...). Sin embargo, desde un punto de vista hidrológico su delimitación es más compleja, al no existir plena coincidencia en todos los bordes con unidades hidrográficas y/o hidrogeológicas. Castillo (1985, 1988) propuso una delimitación hidrológica basándose en criterios geológicos e hidrográficos, muy similar en su trazado a las delimitaciones geográficas propuestas por Ferrer (1985) y, sobre todo, por Jiménez Olivencia (1991). En base a criterios hidrológicos, Sierra Nevada presenta una superficie próxima a 2.000 km², de los que 1.300 pertenecerían a la vertiente mediterránea y el resto a la atlántica. Los materiales más extensamente representados son los metapelíticos del Complejo Nevado-filábride (1.500 km²), a los que siguen los

carbonatados del Complejo Alpujárride (300 km²), ambos complejos pertenecientes a la Zona Interna de las Cordilleras Béticas. Los recursos hídricos medios drenados se han estimado en 750 hm³/año.

La hidrología de Sierra Nevada presenta gran diversidad de comportamientos, merced, fundamentalmente, a la existencia de distintas áreas termopluviométricas y de diferentes procesos de infiltración-escorrentía. Esta diversidad debe tenerse presente a lo largo de la síntesis que se realiza en este artículo, en el que ha sido imposible reflejar comportamientos y situaciones específicas, no siempre acordes con los modelos de funcionamiento expuestos como más representativos.

A continuación se comentan brevemente los diferentes apartados considerados, haciendo para cada uno de ellos una valoración del estado actual de conocimientos.

Como paso previo y necesario, en un primer apartado se asumen unos límites hidrológicos, con lo que se da entidad al denominado sistema hídrico de Sierra Nevada; con ello se ofrece un contexto regional a las consideraciones hidrológicas objeto de este trabajo de síntesis. En un segundo apartado se aborda el tema de las aportaciones pluviométricas, la única fuente de alimentación del sistema. Conocida a grandes rasgos la distribución espacio-temporal de las mismas, aún son numerosas las cuestiones que quedan por precisar. Se destaca la deficiencia de registros climáticos de interés hidrológico, y en especial de la pluviometría, que cuenta con una red de estaciones mal repartidas y conservadas, sobre todo en lo referente a áreas superiores a los 2.000 m de altitud en la mitad occidental y a 1.000 m en la oriental.

Los escasos y cortos registros de temperatura ambiente, junto a la práctica ausencia de medida de otras variables de interés hidrológico, como radiación, humedad ambiente, velocidad del viento, etc, representan un *handicap* para el establecimiento de las pérdidas por evapotranspiración (y sublimación) de las aguas precipitadas. Ello afecta, especialmente, a la cuantificación y caracterización de los recursos hídricos procedentes de la fusión nival, que tanta relevancia tienen en Sierra "Nevada". Desde hace unos pocos años se viene abordando este tema, con programas como el ERHIN ("La nieve en las cordilleras españolas"; MOPT, 1992), con lo que es de esperar que pronto se disponga de información relevante al respecto, pese a trabajar con insuficientes registros de campo.

También es deficiente la información relativa a la caracterización de otras formas de aportación, como la condensación y la intercepción, cuya relevancia cualitativa y cuantitativa en Sierra Nevada (como alta montaña y prelitoral) debe ser digna de mayor consideración.

La hidrología de superficie es tratada en otro apartado. Su conocimiento es aceptable a nivel descriptivo en base a las series históricas de aforos diarios registradas en algunos ríos representativos de Sierra Nevada. Ello ha permitido establecer los principales parámetros hidrológicos y los correspondientes hidrogramas, y, en definitiva, las pautas del comportamiento fluvial. No obstante, la intensa y mal caracterizada derivación mediante acequias de muchos cauces, aguas arriba de las estaciones de aforo, es motivo de distorsión notable de los comportamientos hidrológicos observados, sobre todo en los ríos de La Alpujarra. Parcial y preliminar es la información disponible sobre descomposición de hidrogramas, entre otras razones por carecer de una correcta caracterización de las aportaciones pluviométricas y de los procesos de fusión nival.

En otro apartado se aborda la hidrología subterránea, en relación con la caracterización de los principales sistemas acuíferos existentes (carbonatos alpujárrides), así como con el comportamiento hidrogeológico del núcleo metapelítico (micasquitos nevado-filábrides). Pese a existir un conocimiento aceptable del conjunto acuífero alpujárride, aún persisten algunas incógnitas acerca de temas tan importantes como son la cuantía de recursos transferidos desde el núcleo metapelítico (recarga lateral e infiltración a través de ríos), sobre las aportaciones ocultas cedidas a sistemas limítrofes, así como sobre las reservas hídricas y la capacidad reguladora de estos sistemas carbonatados.

Más deficiente es el nivel de conocimiento del comportamiento hidrogeológico de los materiales metapelíticos nevado-filábrides, a los que se ha dedicado poca atención, pese a los altos caudales de base fluviales y a las abundantes manifestaciones de drenaje provenientes de este tipo de materiales.

La calidad de las aguas es motivo de otro apartado. En él se alude a la gran variedad de tipos composicionales existentes en Sierra Nevada, muchas de cuyas aguas poseen inapreciable valor

ecológico y socio-económico, como las de aptitudes salmonícolas, aguas de mesa, termales o minero-medicinales. La calidad de las aguas ha sido objeto de numerosos estudios que, con diversos enfoques, han permitido caracterizar adecuadamente la mayor parte de los aspectos relacionados con la misma. A pesar de todo, aún quedan algunas cuestiones por dilucidar, entre las que se podría citar el estudio de detalle de ciertos procesos hidrogeoquímicos, relacionados con el flujo profundo a través de materiales esquistosos, o la mayor determinación isotópica (edad de las aguas) y de ciertos elementos minoritarios y traza de interés.

En un último apartado son abordados los aspectos relativos a los recursos del sistema y a su regulación, puntos clave para la gestión hidrológica del macizo de Sierra Nevada. Con las limitaciones de conocimiento anteriormente señaladas, se estima que los recursos drenados (superficial y subterráneamente) por el sistema son del orden de 750 hm³/año, sin considerar a los derivados por acequias y consumidos por evapotranspiración dentro del sistema.

La regulación de estos recursos, para años medios, es muy alta en lo que concierne a la vertiente atlántica, y estaría en vías de resolución para la mediterránea con la construcción, ya iniciada, del embalse de Rules (río Guadalfeo), de otras obras de trasvase complementarias, así como de la regulación de los acuíferos de cabecera. Así pues, con las obras de infraestructura disponibles, o en fase de construcción, quedarían cubiertas las posibilidades razonables de regulación del sistema. De forma puntual, así como en años anormalmente húmedos, deberían incrementarse las actuaciones de recarga de acuíferos, del tipo de las realizadas, tanto dentro del sistema (acequias, careos, riegos, diques...), como en las depresiones acuíferas periféricas, como son las vegas de Granada y Motril, o la depresión de Guadix.

DELIMITACION DEL SISTEMA HIDROLOGICO

Como se acaba de comentar, en el apartado de introducción, el primer aspecto a abordar fue el de la delimitación hidrológica del sistema. Para ello se tomó como base la realizada por Castillo (1985, 1988), antes de la definición y catalogación del Parque Natural de Sierra Nevada, muy similar a las realizadas con carácter geográfico (Ferrer, 1971, 1985...) y sobre todo a la propuesta por Jiménez Olivencia (1991) para la cartografía de las unidades fisiográficas de Sierra Nevada. A continuación se pasa revista a los criterios geológicos (correlacionados con la topografía) e hidrográficos utilizados en cada caso, junto a una descripción toponímica del perímetro hidrológico finalmente considerado.

Partiendo del núcleo urbano de Izbor (Granada), en la vertiente mediterránea, y siguiendo el giro de las agujas del reloj, el límite sigue el contacto, normalmente mecánico, de los materiales rocosos (carbonatados en este caso) de Sierra Nevada con los detríticos más recientes del relleno de las depresiones de Padul-Dúrcal (Alto Valle de Lecrín) y, posteriormente, de Granada, hasta llegar al embalse de Quéntar. Muy evidente es este contacto entre los núcleos de Nigüelas y Padul, donde son visibles varias fallas rectilíneas, jalonadas por espectaculares conos de deyección. Pasado El Puntal (sierra del Manar) se accede a la depresión de Granada, ya en la vertiente atlántica, continuando hasta las proximidades de la central eléctrica del río Dílar; desde allí se contornea el cerro del Tamboril hasta llegar a las proximidades de la fuente del Hervidero, a partir de donde se rodea por su base el cerro de Huenes y se atraviesa el río Monachil por encima del núcleo urbano. A través de El Purche el contacto se deja caer al embalse de Canales, de donde asciende hasta el collado de Rufino, al pié del calar de Güejar, para ir a buscar, finalmente, al embalse de Quéntar.

Desde el embalse de Quéntar hasta el núcleo de La Peza, a lo largo de unos 20 km, se halla uno de los límites más problemáticos de Sierra Nevada, también desde otros puntos de vista (botánico, geomorfológico, geográfico, etc). A lo largo de dicho tramo es manifiesta la continuidad hidrogeológica, hacia el Noroeste, con la sierra de La Peza (y de Beas), y, a mayor distancia, con las de Huétor e incluso Arana. Las dolomías alpujárrides se extienden mucho más allá de lo que serían los límites "naturales" del macizo de Sierra Nevada, hasta alcanzar por el Norte los valles de los ríos Darro y Fardes. Haciendo uso de un criterio hidrográfico, el límite (abierto desde el punto de vista hidrogeológico) se resuelve aceptablemente bien haciéndolo corresponder con el río Aguas Blancas hasta llegar a su divisoria vertiente en la cañada del Vinagre (cerca de Tocón de Quéntar), para descender a continuación por el curso del río Morollón hasta el núcleo de La Peza.

Desde los núcleos de La Peza a Abrucena el criterio geológico (visible por un nuevo cambio de pendiente) vuelve a ser notorio, pasándose de los típicos relieves esquistosos del macizo a las suaves pendientes de los depósitos detríticos del relleno de la depresión de Guadix. Aquí, el borde es esencialmente de recubrimiento, por lo que es más sinuoso que el comentado anteriormente de Béznar al embalse de Quéntar. Desde La Peza y por la loma del Robledal se accede al río Alhama de Lugros, en el lindero con el Camarate, para contornear a continuación la sierra de Lugros. A partir de este punto se dá vista al Llano del Marquesado, en donde el límite geológico coincide, a grandes rasgos, con la separación entre monte y cultivos a lo largo de los términos municipales de: Cogollos de Guadix, Jerez del Marquesado, Lanteira, Alquife, Aldeire, La Calahorra, Ferreira, Dólar, Huéneja (en cuyo término se entra nuevamente en la vertiente mediterránea), Fiñana, Abla y Abrucena.

Desde los núcleos de Abrucena a Alboloduy existe nuevamente continuidad litológica, en este caso con los esquistos de la colindante, al Noreste, Sierra de Los Filabres. El límite, en dicho tramo, parece oportuno hacerlo coincidir otra vez con un curso fluvial, en esta oportunidad con el río Nacimiento, que hacia el Este discurre cerca de las poblaciones de Nacimiento y Alboloduy.

Desde esta última población, la más oriental del macizo así definido, el criterio geológico (y topográfico) es nuevamente patente hasta llegar a la de Cádiar, si bien los materiales de relleno pertenecen ahora a la depresión alpujarreña de Canjáyar-Ugíjar. No obstante, es resaltable la estrechez de la cubeta detrítica aludida en las cercanías de Laujár, donde prácticamente se contacta al Sur con el macizo carbonatado de Sierra de Gádor (Almería), que corresponde a una unidad claramente diferenciada, geológica y geográficamente, del macizo de Sierra Nevada.

El último tramo del perímetro, entre los núcleos de Cádiar e Izbor, de 40 km de longitud, presenta nuevamente continuidad geológica, al Sur, con la sierra esquistosa de La Contraviesa, y más al Oeste con la sierra carbonatada de Lújar y con los esquistos de la estribación oriental de la sierra de los Guájares. Se trataría en el primer caso (alineación de La Contraviesa) de una estribación claramente ajena al macizo de Sierra Nevada, y en el segundo (sierras de Lújar y de los Guájares) de sistemas montañosos geográfica e hidrogeológicamente independientes. Como delimitación de todas las estribaciones aludidas lo más oportuno es seguir el curso del río Guadalfeo hasta la confluencia con el Izbor, para ascender por éste hasta completar el perímetro en el pueblo de Izbor.

El perímetro brevemente descrito posee una longitud próxima a los 400 km, en la que estaría encerrada una superficie cercana a 2.000 km². La forma resultante es de un ovoide, cuyo eje mayor presenta una longitud de 90 km, con dirección aproximada Este-Oeste, y una anchura variable, próxima a 35 km en el tercio occidental (sobre el pico del Caballo, 3.015 m), y de 20 km en el oriental (sobre el pico del Chullo, 2.609 m). El Parque Natural de Sierra Nevada está incluido dentro de la delimitación realizada, con la que mantiene grandes semejanzas, siendo su superficie de 1.700 km². Igual ocurre con la mayor parte de las delimitaciones geográficas del macizo, como la reseñada por Ferrer (1985) de 2.300 km², o con la de Jiménez Olivencia (1991), que vienen a encerrar una superficie próxima a los 2.200 km².

APORTACIONES PLUVIOMETRICAS

Como ya se ha comentado, anteriormente, Sierra Nevada presenta importantes deficiencias en lo que respecta al registro de parámetros climatológicos de interés hidrológico. Estas deficiencias, relativamente comunes en los grandes macizos montañosos españoles, no han sido la excepción en Sierra Nevada, sino, más bien, un caso excepcional de abandono. A pesar de ello, la distribución espacio-temporal de las precipitaciones líquidas, y en menor medida de las sólidas, es aceptablemente bien conocida. El tema de la climatología de Sierra Nevada, pese a estas deficiencias de registro, ha suscitado desde siempre gran interés, y hoy día son muy numerosos los estudios regionales, más o menos extensos, existentes (Messerli, 1965, Pulido Bosch, 1980; Pulido Bosch et al., 1986 ; Castillo, 1985; Aguilar et al., 1986; Delgado Calvo-Flores et al., 1988...).

Como era de prever, la información pluviométrica obtenida no ha sido siempre coincidente. Ello posiblemente se ha debido a la consideración de diferentes estaciones y/o series temporales, así como a la aplicación de distintos gradientes pluviométricos, necesariamente utilizados para restituir las precipitaciones de las altas cumbres (generalmente por encima de los 2.000 m) y de toda la mitad

oriental del macizo, las áreas peor dotadas de observaciones pluviométricas fiables.

Independientemente de lo anterior, los estudios realizados han coincidido en resaltar la extrema irregularidad espacial y temporal de las aportaciones pluviométricas; ello se ligaría a la fuerte influencia orográfica del macizo (irregularidad espacial), junto a las características pluviométricas propias del clima mediterráneo (irregularidad temporal). Fruto de la variabilidad espacial es la existencia de diferentes gradientes pluviométricos, en estrecha correlación con las franjas de altitud y con la localización (orientalidad sobre todo) de los perfiles considerados en cada caso. En este último sentido, es de resaltar el descenso de las precipitaciones, y del carácter nival de las mismas, que, a igualdad de cota, se experimenta de Oeste a Este, tanto en la ladera Norte como en la Sur.

En la figura 1 se expone un mapa de isoyetas del macizo de Sierra Nevada, junto a los hietogramas de algunas estaciones representativas (Castillo, 1985); en él pueden observarse, a grandes rasgos, las distribuciones espacial e intraanual de las precipitaciones. Para el trazado de dicho mapa se recurrió a la información aportada por 44 pluviómetros (de ellos siete totalizadores y ningún pluviógrafo ni pluviométrico), todos ellos seleccionados por poseer, al menos, 10 años comunes e ininterrumpidos de registro. La distribución de estaciones (sin entrar en su correcto emplazamiento y grado de conservación) no fue la más idónea, con un exceso de localizaciones bajas (en los núcleos urbanos), en detrimento de la media-alta montaña y de toda la mitad oriental del macizo, como hemos venido reiterando anteriormente.

Los máximos de precipitación se midieron por los pluviómetros totalizadores situados en torno a las cumbres del Veleta y Mulhacén, para los cuales se estimó (ya que fue necesario introducir ciertas correcciones) un módulo pluviométrico anual medio en torno a los 1.300 mm. Por el contrario, los mínimos valores de precipitación se producen a lo largo de todo el perímetro oriental del macizo, en el que no se llegan a superar los 350 mm de media anual en localizaciones como Ugíjar, Alboloduy o Abrucena.

La heterogeneidad climática impuesta por la orografía del macizo, infiere la existencia de diferentes ámbitos de cierta homogeneidad pluviométrica. Consecuentemente, los gradientes por altitud son variables, fundamentalmente con las franjas de altitud y con la situación concreta y orientalidad de las diferentes cuencas. De este modo, se han llegado a citar valores de 70 mm/100 m para la franja de 1.000 a 1.500 m en el cierre occidental del macizo (Messerli, 1965), frente a valores de 10-15 mm/100 m para el cierre oriental del mismo (Pulido Bosch et al., 1986; Castillo, 1985). Algunos estudios regionales, centrados sobre todo en la mitad occidental, han establecido gradientes promedio (para toda la amplitud de altitudes) en torno a los 30 mm/100 m, similares para las vertientes Norte y Sur (Pulido Bosch, 1980; Delgado Calvo-Flores et al., 1988).

La distribución intraanual de precipitaciones medias mensuales puede observarse, como ya se ha comentado, en los hietogramas de la figura 1. El mes más húmedo es, con bastante regularidad, Diciembre, al que sigue un segundo máximo anual en Marzo, y, con mayor irregularidad, los meses de Noviembre, Febrero y Enero. Por el contrario, el mes más seco es, generalmente, Julio, seguido de Agosto. El predominio de las precipitaciones sólidas se da en altitudes superiores a los 2.000 m (más del 75 % de las aportaciones), las cuales ocurren, fundamentalmente, entre los meses de Diciembre a Marzo; el máximo nival, tanto en número de días como en espesor de nieve caída, se registra en Febrero. Las granizadas más intensas son las producidas al final de la primavera y durante el verano. Pueden coincidir con episodios tormentosos, generalmente locales y de ocurrencia máxima entre los meses de Julio a Octubre.

Muy poco puede decirse de la influencia en el balance hídrico de las aportaciones recibidas por condensación e intercepción. Este tipo de aportaciones, no contabilizadas por los pluviómetros, deben tener incidencia notable en Sierra Nevada, debido a las amplias y rápidas oscilaciones térmicas y a la elevada intercepción topográfica de las masas de aire húmedo. La incidencia de estas aportaciones debe ser más elevada en la vertiente Sur, en la que existe una humedad ambiente mayor y se dan frecuentes fenómenos de ascenso de masas de aire cálido y húmedo desde el Mediterráneo. Algunos botánicos han justificado en estas aportaciones la existencia de masas arbóreas propias de climas más húmedos, como podría ser el caso de los bosques caducifolios de Lanjarón, Sopórtujar o Pórtugos en la vertiente Sur, o los de Lugros y San Juan en la Norte.

No ha sido objeto de este apartado la consideración de las pérdidas de agua a la atmósfera por evapotranspiración (e incluso directamente por sublimación desde la capa nival), lo que nos hubiera conducido a la estimación de la "lluvia útil", considerada como la cantidad de agua realmente disponible para escorrentía e infiltración por el sistema hídrico de Sierra Nevada. Ello no se ha realizado por la dificultad de su cálculo, corroborado por la escasez de estudios al respecto. Hasta el momento, sólo se dispone de estimaciones locales, basadas en métodos como el de Thornthwaite, Turc o Coutagne, no previstos para las características de un sistema de alta montaña como el de Sierra Nevada. Utilizando los valores de ETR obtenidos en distintos trabajos (Pulido Bosch, 1980; Delgado Calvo-Flores et al., 1988; Al-Alwani, 1991, 1992...), corregidos para la altitud promedio de Sierra Nevada, estas pérdidas representarían aproximadamente del 35 al 40 % de las aportaciones pluviométricas recibidas.

Actualmente se dispone de metodologías de cálculo de la evapotranspiración y sublimación más complejas y ajustadas a las condiciones climáticas propias de una alta montaña. Este podría ser el caso, entre otros, del programa HSPF, que Al-Alwani ha utilizado de modo experimental para la cuenca del Alto Monachil (Al-Alwani et al., en prensa). No obstante, este tipo de herramientas de cálculo cuentan con el inconveniente de tener que restituir demasiados valores climáticos, no directamente observados y necesarios para realizar las pertinentes estimaciones.

HIDROLOGIA SUPERFICIAL

Desde el punto de vista hidrográfico, Sierra Nevada presenta dos grandes vertientes, la Norte que drena hacia el Océano Atlántico y la Sur que lo hace hacia el Mar Mediterráneo. La divisoria entre ambas está marcada por la línea de cumbres del macizo que, con una longitud de 45 km, va desde los picos de El Caballo (3.015 m) hasta El Chullo (2.609 m), a partir del cuál, aproximadamente, tanto la vertiente Norte como la Sur drenan hacia el Mediterráneo (a través de la cuenca del río Andarax).

La vertiente mediterránea posee una superficie de 1.300 km², y está integrada por las subcuencas de los ríos Guadalfeo, Adra y Andarax. Las aportaciones drenadas superficialmente son del orden de 350 hm³/año (Bravo y Velasco, 1985; Castillo, 1985). La subcuenca del río Guadalfeo, la de mayor superficie y recursos del macizo, está integrada, de Oeste a Este, por los ríos Dúrcal, Torrente, Lanjarón, Chico, Poqueira (también conocido como Mulhacén), Trevélez y Cádiar. La subcuenca del río Adra está compuesta, de Oeste a Este, por los ríos Mecina, Válor, Nechite, Laroles, Bayarcal y Alcolea. Y, por último, la subcuenca del río Andarax, la más oriental, la componen los ríos Laujár y Nacimiento.

La vertiente atlántica se extiende sobre 700 km², y está compuesta por las subcuencas de los ríos Genil y Fardes (este último tributario a su vez del Guadiana Menor), ambos afluentes del Guadalquivir por su margen izquierda. Las aportaciones medias drenadas superficialmente por estas subcuencas son del orden de 260 hm³/año (Bravo y Velasco, 1985; Castillo, 1985). La subcuenca del Genil, la más conocida de todo el macizo, está integrada, de Sur a Norte, por los ríos Dílar, Monachil, Genil (la cuenca más bella y espectacular de toda la Sierra) y Aguas Blancas. La subcuenca del río Fardes, que drena por la Hoya de Guadix, está integrada por multitud de pequeños ríos; los más occidentales, como el Morollón (o río de La Peza) y el Alhama de Lugros, son afluentes del Fardes por su margen derecha; la fachada del Marquesado granadino está drenada por numerosos cauces de pequeño caudal, como son: El Bernal, Alhorí, Alcázar, Lanteira, Gallego, Hondo y Dólar, todos ellos tributarios del río Verde (o de Guadix), afluente a su vez del río Fardes por su margen derecha.

De la red hidrográfica aludida son sólo unos pocos los cauces que disponen de estaciones de aforo, si bien últimamente se han acometido (o están en fase de ejecución) importantes obras de implementación y modernización de la red foronómica, a cargo de distintas administraciones (MOPTMA, AMA...). Su mantenimiento, control y explotación está a cargo, salvo excepciones, de las correspondientes Confederaciones Hidrográficas, de la del Guadalquivir para la vertiente atlántica y de la del Sur para la mediterránea.

Estos registros foronómicos han permitido elaborar los correspondientes hidrogramas, cuantificar las aportaciones y obtener parámetros hidrológicos característicos, como los coeficientes de escorrentía o los caudales específicos, todo ello para las principales cuencas de Sierra Nevada (Pulido Bosch, 1980; Castillo, 1985; Pulido Bosch, et al., 1986; Al-Alwani, 1992; Castillo et al., 1993; CHSE, 1995...). Las estaciones de aforo existentes con series más largas, de la vertiente Sur, son las de los ríos Cádiar en la

estación de Narila, Dúrcal en los Sauces, Salado en Lanjarón, Lanjarón en Lanjarón, Izbor en presa Melegís, Poqueira en Central de Pampaneira, Ugíjar en las Tosquillas y Alcolea en El Esparragal. En la vertiente Norte se dispone de las estaciones de los ríos Dílar en Central Eléctrica, Monachil en Diéchar, Genil en Pinos Genil y Aguas Blancas en El Blanqueo.

Recientemente, y al amparo del proyecto ERHIN (MOPT, 1992), se han acondicionado (o están en fase de ejecución) nuevas estaciones de aforo en los ríos Genil en Nuevo Castillo, Alhorí en pista forestal y Barrio también en pista forestal, todas ellas dentro de la vertiente Norte; en la vertiente Sur hay que citar a las del río Dúrcal en La Magara, Trevélez en Trevélez y Nechite en Mecina. Por otra parte, es de resaltar el papel que están empezando a jugar al respecto otras administraciones e instituciones, como podría ser el caso de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía (con plenas competencias sobre el Parque Natural de Sierra Nevada), que ha llevado a cabo obras de control hidrológico (estaciones de aforo y otras) sobre los ríos Monachil y Dílar.

El funcionamiento y, consecuentemente, el comportamiento hidrológico está directamente influenciado por un conjunto de variables, entre las que habría que destacar la climatología, topografía, litología, cubierta vegetal y usos del suelo. Esto explica los muy diferentes comportamientos observados de unas cuencas a otras. Las más occidentales presentan los mayores coeficientes de escorrentía de todo el macizo, próximos al 60 %, mientras que las orientales poseen valores del orden del 10-15 %. Ello está en íntima relación con la disminución de la pluviometría, y con el aumento de las pérdidas por derivación y evapotranspiración que se experimenta hacia Levante.

Otro parámetro hidrológico representativo, relacionado con el anterior, es el caudal específico. Este depende directamente de variables como la precipitación y evapotranspiración medias, tasa de derivación y grado de exportación e importación de recursos, todo ello para la cuenca vertiente a la correspondiente estación de aforos. Los valores más altos (siempre referidos a la salida del macizo), del orden de 15 l/s/km², han sido medidos en las cuencas de los ríos Poqueira, Monachil, Dílar y Genil (Pulido Bosch, 1980; Castillo, 1985; Al-Alwani, 1992). Los valores mínimos, del orden de 3 l/s/km², provienen, en concordancia con las causas anteriormente expuestas, de cuencas orientales, como las de los ríos Ugíjar y Alcolea (únicas de las que existen datos de aforo; Pulido Bosch et al., 1986; Castillo, 1985).

En los hidrogramas de la figura 2 se puede observar la distribución intraanual de caudales (medios mensuales) de algunos ríos representativos de Sierra Nevada (Castillo, 1985). En los ríos occidentales, marcados por un fuerte comportamiento nival, los máximos valores son los registrados en Mayo, seguidos por los de Junio, Abril y Julio. Los mínimos se registran, por el contrario, en el mes de Septiembre, seguido por los de Agosto y Diciembre (este último correspondiente a un relativo "estiaje" invernal, impuesto por la inmovilización de las precipitaciones sólidas). Los ríos más orientales presentan regímenes menos nivales (incluso casi pluviales, como los de los ríos Alcolea y Nacimiento), con deshielos más leves, cortos y adelantados con respecto a los de ríos occidentales, lo que da lugar a evoluciones de caudal diferentes a las comentadas anteriormente. En general, los máximos caudales tienen lugar en el mes de Abril, seguidos por los de Marzo y Febrero. Los mínimos se producen en el mes de Septiembre. Debido a la disminución de las precipitaciones líquidas y, sobre todo, sólidas, junto a mayores tasas de evapotranspiración y derivación, es frecuente el agotamiento estival de muchos de estos ríos.

El río de mayor caudal de Sierra Nevada es el Guadalfeo (en la vertiente mediterránea) que, antes de su confluencia con el Izbor, aporta un caudal medio anual próximo a los 7 m³/s. El Genil, el más caudaloso de la vertiente atlántica, lleva en Pinos Genil un caudal medio anual del orden de 2,5 m³/s. Otros ríos especialmente caudalosos serían el Poqueira y Trevélez (afuentes del Guadalfeo), con caudales medios anuales del orden de 1,5 m³/s, y los ríos Monachil y Dílar, con caudales próximos a 0,9 m³/s. Como se ha comentado, anteriormente, los ríos más pobres en caudal son los orientales, tanto los del Marquesado y su continuación almeriense, como los de La Alpujarra oriental.

Poca información puede ofrecerse acerca del desglose de hidrogramas. Algunos estudios realizados en los ríos más occidentales (Pulido Bosch, 1980; Castillo, 1993), como el Genil, Monachil y Dílar, cifran las aportaciones drenadas por escorrentía superficial del deshielo en cerca del 30 % del total, mientras que evalúan las aportaciones no estrictamente superficiales (a partir de los caudales de base) en cerca del 50 % del total drenado (35 % para el río Genil y 53 % para los ríos Monachil y Dílar, según Pulido Bosch,

1980); estas últimas aportaciones podrían, a su vez, desglosarse para los ríos Monachil y Dílar en un 30 % de escorrentías subsuperficiales y subterráneas procedentes del núcleo metapelítico, y en el 20 % restante a partir de escorrentías subterráneas drenadas por la orla carbonatada. Por último, el 20 % restante de las aportaciones procedería de escorrentía pluvial directa. Otros estudios (Al-Alwani, 1992), realizados sobre los ríos Poqueira y Trevélez, situarían la tasa de aportaciones subterráneas en cerca del 40 % de la descarga total.

HIDROLOGIA SUBTERRANEA

Sierra Nevada está integrada en un 80 % de su extensión por un núcleo metapelítico poco permeable (Complejo Nevado-filábride), parcialmente rodeado, sobre todo por su borde Sur y mitad occidental, por una orla carbonatada permeable (Complejo Alpujárride). Esta simplificación litológica conforma, a grandes rasgos, dos grandes conjuntos de diferente comportamiento hidrogeológico: el de los carbonatos alpujárrides y el de los esquistos nevado-filábrides.

Carbonatos alpujárrides

Son los materiales permeables por excelencia del macizo de Sierra Nevada, especialmente bien representados en su mitad occidental, entre los núcleos de La Peza y Nigüelas. Con menor desarrollo y mayor compartimentación, se localiza un conjunto disperso de afloramientos entre las poblaciones de Nigüelas y Alboloduy, a lo largo del borde meridional, en La Alpujarra. Entre las poblaciones de Alboloduy y La Peza, en la vertiente Norte, están prácticamente ausentes.

Estos materiales carbonatados presentan una superficie de afloramiento próxima a 300 km², equivalente al 15 % de la extensión total del sistema hidrológico de Sierra Nevada. Las aportaciones directas por infiltración del agua de precipitación (recursos propios) se han estimado en 90 hm³/año, lo que representa aproximadamente el 12 % de los recursos totales drenados por el sistema.

Los materiales dominantes son dolomíticos y calizo-dolomíticos, los cuales poseen buena permeabilidad, debida fundamentalmente a la intensa fracturación que los caracteriza ("kakiritización"), y, en menor medida, a los moderados procesos de karstificación desarrollados en ellos. Se disponen en unidades tectónicas superpuestas (mantos de corrimiento), frecuentemente aisladas entre sí por espesores variables de filitas y esquistos impermeables. A esta complejidad estructural en la vertical habría que añadir (en la horizontal) la intensa compartimentación tectónica de los afloramientos, lo que termina configurando subsistemas de gran complejidad hidrogeológica, en los que son habituales la coexistencia de diferentes niveles piezométricos intercorrelacionados o no con los de compartimentos limítrofes.

Con la realización del "Atlas hidrogeológico de la provincia de Granada" (Diputación de Granada e ITGE, 1990) se dió un importante avance en la sistematización de las unidades acuíferas provinciales. Los acuíferos carbonatados de Sierra Nevada se agruparon, en continuidad con afloramientos limítrofes, en dos grandes conjuntos hidrogeológicos. El más extenso se denominó "*Acuífero carbonatado del borde Oeste de Sierra Nevada: sierras del Padul-La Peza*", en el que se incluyeron, por lo que refiere a Sierra Nevada, todos los afloramientos situados aproximadamente entre la margen derecha del río Torrente (Nigüelas) y La Peza.

Este conjunto constituye aproximadamente la Unidad hidrogeológica de Padul-La Peza, nº 05.31 de la Cuenca del Guadalquivir (CHG-ITGE, 1994), además de ser reconocida parcialmente como unidad intercuenca, nº 0011-Sierra de Padul (MOPTMA-ITGE, 1993).

La extensión del conjunto se ha estimado en 230 km² y sus recursos propios en 75 hm³/año, tras aplicar un porcentaje de infiltración del 45% de las aportaciones pluviométricas recibidas.

El resto de los afloramientos carbonatados alpujárrides fueron incluidos en otro conjunto, denominado "*Acuíferos carbonatados de las Alpujarras*", en el que, por lo que respecta nuevamente a Sierra Nevada, estarían contemplados todos los afloramientos dispersos, localizados desde la margen izquierda del río Torrente hasta la población de Alboloduy, siempre al Norte del río Guadalfeo y, posteriormente, de la depresión de Ugíjar-Canjáyar. La extensión de los mismos se ha estimado en 60 km² y sus recursos propios en 15 hm³/año.

Acuífero carbonatado del borde Oeste de Sierra Nevada: sierras del Padul-La Peza

Dada la complejidad estructural y gran extensión de este sistema, algunos trabajos llegaron a diferenciar dos subunidades (Diputación de Granada e ITGE, 1990; Castillo, 1993; MOPTMA-ITGE, 1993; CHG-ITGE, 1994). En algún caso (Diputación de Granada e ITGE, 1990; CHG-ITGE, 1993) se estableció como límite el contacto entre los mantos del Trevenque y Víboras, muy próximo al arroyo de Huenes. En otros trabajos (Pulido Bosch, 1980; Castillo, 1993; MOPTMA-ITGE, 1993) este límite se hizo coincidir con el estrangulamiento de la banda carbonatada existente sobre la transversal del embalse de Canales (río Genil).

Con este último criterio, la subunidad de mayor extensión sería la comprendida entre la margen derecha del río Torrente y el embalse de Canales, coincidiendo aproximadamente con la subunidad de *"la Sierra del Padul"* (en terminología de la Diputación de Granada e ITGE, 1990), unidad equivalente a grandes rasgos con la denominada por Pulido Bosch (1980) como *"Acuíferos carbonatados del borde occidental de Sierra Nevada (sector septentrional)"*. La otra subunidad estaría comprendida entre el embalse de Canales y La Peza, y correspondería aproximadamente a la subunidad de *"La sierra de La Peza"* (Diputación de Granada e ITGE, 1990; Castillo, 1993), de la que sólo una parte, la situada al Sur de los ríos Aguas Blancas y Morollón, pertenecería al sistema hidrológico de Sierra Nevada.

Sobre la subunidad meridional, o de Padul, se sitúa la divisoria de las cuencas Guadalquivir-Sur. En el borde occidental y meridional la subunidad carbonatada se halla en contacto con las formaciones detríticas neógeno-cuaternarias de las depresiones de Granada y Padul. La superficie de afloramientos carbonatados está próxima a 150 km², con unos recursos propios de 50 hm³/año, tras aplicar un porcentaje de infiltración del 45% de las aportaciones pluviométricas recibidas. Las aportaciones procedentes de recarga externa, fundamentalmente a partir de los materiales metapelíticos del núcleo de Sierra Nevada y de infiltraciones a través de los cursos superficiales (Torrente, Dúrcal, Dílar, Monachil y Genil), se suponen elevadas, pero su cuantía precisa es desconocida; algunas estimaciones, que habría que tomar con reservas, apuntarían a una alimentación por ese concepto del orden de 25 hm³/año.

La descarga de los recursos se produce mayoritariamente por emergencias, muchas de ellas difusas a los ríos que atraviesan a estos materiales, en los que han encajado espectaculares cañones. De este modo, estos cauces actuarían, según los tramos, como alimentadores o receptores de escorrentías subterráneas. El nivel de descarga de esta subunidad no es único, debido sobre todo a la compartimentación tectónica en bloques, al papel impermeabilizante ejercido por los tramos filíticos basales de los distintos mantos, así como a los cambios verticales de permeabilidad debidos al grado de tectonización y karstificación. Las surgencias principales, relacionadas con el drenaje de extensas áreas, se sitúan a diferente cota según las subcuencas consideradas, entre 900 y 1.000 m para las de los ríos Genil, Monachil y Dílar, y entre los 730 y 900 m para las de los ríos Dúrcal y Torrente. Las cotas más bajas de drenaje se localizan en el borde Norte de la Depresión de Padul, y en el bajo río Dúrcal, con drenajes importantes localizados a menos de 730 m de cota (Castillo y Fernández-Rubio, 1984).

Otra parte notable de la descarga se supone transferida de forma oculta hacia materiales detríticos del contorno, fundamentalmente hacia la depresión de Granada y, en menor medida, hacia el Valle de Lecrín. Muy frecuentes, y conocidas popularmente, pero de poca relevancia cuantitativa, son las descargas "colgadas" o de ladera (en gran parte reinfiltradas aguas abajo), localizadas a diferentes cotas dentro de estos materiales carbonatados. Por último, la descarga por extracciones a partir de sondeos es todavía poco significativa a escala del sistema, aunque se espera un progresivo incremento en la explotación de estos embalses subterráneos. Desde el punto de vista hidrográfico, los recursos drenados se reparten entre las subcuencas de los ríos Genil (Genil, Monachil y Dílar) y Guadalfeo (Dúrcal y Torrente).

Son todavía escasos los datos que se tienen acerca de la geometría y parámetros hidráulicos, por lo que es prácticamente desconocido el volumen de reservas hídricas disponible. La progresiva explotación por sondeos, sobre todo a lo largo del borde de Padul-Dúrcal, y a la salida de los ríos Dílar y Monachil, de los que se obtienen buenos rendimientos, permitirá contrastar el poder regulador de estos embalses subterráneos. En localizaciones hidrogeológicamente favorables, y especialmente en todos los sectores aludidos, cabe esperar que las aportaciones extraídas jueguen un importante papel en el regadío y abastecimiento a las áreas de influencia de la Vega de Granada y del Valle de Lecrín.

Por lo que respecta a la subunidad comprendida entre el embalse de Canales y La Peza ("*Sierra de La Peza*"), con límite abierto al Norte de los ríos Aguas Blancas y Morollón, decir que la superficie de afloramientos carbonatados, dentro del sistema de Sierra Nevada, es de 80 km². Los recursos propios, procedentes del agua de precipitación, se han estimado en 25 hm³/año, tras aplicar un coeficiente de infiltración análogo al anteriormente comentado (del 45%). Sin cuantificar quedarían, igual que para el caso anterior, las aportaciones transferidas desde los materiales metapelíticos nevadofilábrides, bien por aportaciones ocultas, bien por infiltración a través de los ríos que atraviesan a la subunidad (Aguas Blancas y Padules, y otros cauces menores).

La descarga por surgencias es poco visible, por lo que cabe suponer que la mayor parte de los recursos son drenados hacia el Norte, dentro de la cuenca del río Fardes. La explotación a través de sondeos es, hoy día, prácticamente inexistente.

Desde el punto de vista hidrográfico, los recursos de esta unidad vierten sus aguas a las subcuencas de los ríos Genil (Genil y Aguas Blancas) y Fardes (Fardes y Morollón).

Tampoco son bien conocidas la geometría y parámetros hidráulicos, y, consecuentemente, poco puede adelantarse acerca del volumen de reservas hídricas disponibles. Por lo demás, el comportamiento hidrogeológico es prácticamente similar al descrito para la subunidad anterior, sobre todo en lo referente a la existencia de múltiples niveles de descarga y a la compleja interrelación entre los diversos bloques y mantos alpujárrides existentes en el área.

Afloramientos carbonatados de Las Alpujarras

El conjunto correspondiente a los "*Acuíferos carbonatados de Las Alpujarras*" (Diputación de Granada e ITGE, 1990) agrupa a un conjunto disperso de afloramientos situados desde la margen izquierda del río Torrente hasta Alboloduy, siempre al Norte del curso del río Guadalfeo y de la depresión de Ugíjar-Canjáyar. Todos estos afloramientos totalizan una superficie de 60 km². Los recursos propios, procedentes de la infiltración de las precipitaciones, se han estimado en 15 hm³/año, tras aplicar, en este caso, un porcentaje de infiltración promedio del 40%. Al igual que para las subunidades comentadas anteriormente, no son de fácil valoración los recursos externos aportados a estos sistemas por los mecanismos ya citados, a los que habría que añadir el de la recarga desde acequias, careos y riegos, una práctica muy extendida en toda La Alpujarra (Pulido Bosch y Ben Sbih, 1995). Desde el punto de vista hidrográfico, los recursos son drenados a la subcuenca del río Guadalfeo, y, en menor medida, a las de los ríos Adra y Andarax, siempre en la vertiente mediterránea.

Estos afloramientos carbonatados suelen disponerse topográficamente "colgados" sobre los materiales impermeables basales, lo que da origen a su drenaje gravitacional por surgencias de muro. Debido a esta configuración estructural, es de suponer que las reservas explotables (y el potencial regulador) sean muy limitadas.

Esquistos nevado-filábrides

El comportamiento hidrogeológico de los materiales metapelíticos del Complejo Nevado-filábride, que ocupan en Sierra Nevada una extensión de 1.500 km², ha sido poco estudiado hasta el momento, posiblemente por haberseles atribuido tradicionalmente un escaso valor hidrogeológico. Hoy día sabemos que poseen un comportamiento hidrogeológico muy interesante, tanto desde los puntos de vista cualitativo como cuantitativo. Como ya se ha comentado anteriormente, diversos estudios evalúan las aportaciones subsuperficiales y subterráneas de estos materiales en, al menos, el 35 % de las finalmente drenadas por todo el conjunto metapelítico. Ello equivaldría, aproximadamente, a asignar a estos materiales unos recursos subsuperficiales y subterráneos (sin considerar la parte correspondiente de los derivados y consumidos por evapotranspiración) próximos, como mínimo, a los 200 hm³/año.

A grandes rasgos se podría diferenciar la existencia de dos tipos de flujo: uno de naturaleza "epidérmica", ligado a la franja de depósitos, alteración y fracturación más superficial, y otro profundo, relacionado con el drenaje a través de grandes fracturas, accidentes tectónicos y discontinuidades estructurales.

Flujo (subsuperficial o epidérmico) a través de la franja de depósitos, alteración y fracturación superficial

Este tipo de flujo se caracteriza por no ser muy profundo, y se produce tanto a través de la franja de depósitos y de alteración superficial de los micasquistos, como de la parte superior de los mismos, donde existe posibilidad de encontrar fracturas y diaclasas abiertas. Si bien este tipo de flujo abarca a toda la extensión del macizo metapelítico, es especialmente importante en cotas superiores a los 2.000 m de altitud.

En estas zonas se combinan varios factores, de especial relevancia, que favorecen la infiltración. Por un lado, se trata de áreas con altas aportaciones pluviométricas en forma sólida, en las que la lenta (y abundante) liberación de agua por el deshielo favorece la admisión del terreno. Otro factor a considerar estaría en relación precisamente con la franja de depósitos-alteración y de fracturación (abierta), especialmente desarrollada en estas áreas de alta montaña. Ello es consecuencia directa, en lo que afecta a la franja de alteración, de la intensa acción ejercida por procesos glaciares y periglaciares relictos (gelifracción), así como de la rigurosidad de los agentes geodinámicos actuales (procesos crioclásticos y otros); por lo que se refiere a la fracturación, esta se halla especialmente abierta por procesos de reptación de laderas y de descompresión (también frecuentes en cotas más bajas), estando poco desarrollados los suelos y arcillas de carácter edáfico que podrían taponar dicha fracturación. La extensa cubierta almohadillada, tipo piornal, característica de esta franja de altitud (al menos hasta los 2.700 m), es otro de los factores que contribuyen a aumentar las tasas de infiltración, en detrimento de escorrentías superficiales más generalizadas; de hecho, la red de drenaje es muy poco densa, y está escasamente desarrollada y jerarquizada.

La geometría de la franja de alteración y fracturación superficial, poco potente y paralela a la topografía, no es compatible con la existencia de grandes almacenamientos de agua dignos de consideración. A pesar de ello, el papel regulador ejercido por este tipo de circulación es notable, al estar involucrados importantes volúmenes de agua, tanto "retenidos" (fundamentalmente en forma sólida) como en "tránsito" desde las correspondientes áreas de infiltración hasta las de descarga. Los largos recorridos de flujo, unidos a la baja velocidad del mismo, serían las causas responsables del lento agotamiento de las surgencias existentes. Ello representa un elemento de primordial importancia para la regulación y laminación de las escorrentías del sistema. Las lentas descargas de estos flujos permiten, además, el mantenimiento de áreas húmedas de altísimo valor ecológico (chortales, praderas y borreguiles), así como el no menos importante mantenimiento de caudales de base en la mayoría de los ríos de Sierra Nevada, sin los cuales se produciría el rápido agotamiento estival de los mismos.

Muy abundantes son las manifestaciones de drenaje en las cotas más altas, dando lugar a chortales o borreguiles, especialmente visibles durante el estiaje por su verde contraste sobre los tonos pardos de los micasquistos. En estas surgencias tienen su origen la mayor parte de los ríos de Sierra Nevada, y gracias a ellas mantienen un caudal estable desde sus cabeceras, sin tener que recurrir a las aportaciones subterráneas propias, en otros contextos hidrogeológicos, de los tramos medios y bajos. El casi completo y escalonado sangrado estival de muchos de estos ríos, a través de acequias desde sus más altas cotas, ha puesto de manifiesto el frecuente resurgimiento de caudales, ligado con flujos procedentes de fracturación semisuperficial.

Al pié de tajos y escarpes, de origen frecuentemente tectónico, es frecuente hallar surgencias, sobre todo en el fondo de barrancos y cauces de ríos. En estos casos, la fracturación actúa como dren de las escorrentías transferidas desde todos los contornos esquistosos, y, casi siempre, de las descolgadas desde la franja de alteración. En casos más específicos, este tipo de flujo se ve especialmente favorecido por la intercalación de materiales menos plásticos que los micasquistos, como sería el caso de cuarcitas, cuarzoesquistos, mármoles y gneisses, en los que la fracturación abierta es más densa y penetrativa. Al respecto, es ilustrativo el comportamiento hidrogeológico de los mármoles encajantes de la mineralización de hierro de Alquife, de los que es necesario bombear un caudal continuo de 300 l/s para mantener deprimido el nivel piezométrico en la explotación minera.

La proliferación de manantiales y surgencias en la Baja Alpujarra esquistosa, normalmente alrededor de los núcleos urbanos, está ligada a las prácticas de derivación por acequias, careos y regadío en bancales aguas arriba. Está demostrada la íntima relación existente entre el caudal de estas surgencias y las prácticas aludidas, de tal modo, que la desaparición de éstas terminaría originando el agotamiento de las correspondientes surgencias.

El análisis de hidrogramas de algunos ríos, de cuencas esquistosas y comportamiento nival, muestra porcentajes de aportes subsuperficiales y subterráneos del orden de, al menos, el 35 % de las aportaciones totales drenadas (Pulido Bosch, 1980; Al-Alwani, 1992; Castillo, 1993;), si bien una parte de los mismos procedería de fusión subsuperficial y de infiltración de escorrentías previamente superficiales; este último mecanismo es especialmente importante para las aguas infiltradas en la media y baja montaña a partir de las derivaciones de acequias, careos y riegos (cuyas aguas en parte también podrían proceder previamente de emergencias más altas). Si la contribución aludida se mantuviera sobre los 1.500 km² de afloramientos esquistosos, lo que seguramente supone una estimación por exceso, cerca de 200 hm³/año podrían proceder de este tipo de escorrentía epidérmica o subsuperficial (y en mucha menor cuantía de flujos más profundos, los cuales se comentan más adelante). Conviene recordar, aquí, que los recursos propios de los acuíferos carbonatados alpujarrides de Sierra Nevada son del orden de 90 hm³/año.

La captación de este tipo de flujos en la alta montaña es prácticamente nula, dada la bajísima ocupación humana y demanda existente. Sólo en el área de la estación de esquí de Solynieve, así como en el abastecimiento puntual de refugios, se han realizado pequeñas obras de captación, consistentes, la mayor parte de las veces, en zanjas o catas de las zonas de drenaje (borreguiles y praderas), con el fin de concentrar y favorecer su drenaje, aumentando así los recursos finalmente disponibles. Más excepcionales son los sondeos de captación en este ámbito, si bien se ensayan actualmente en la estación de esquí para abastecimiento a la misma. En las laderas medias, y sobre todo en la baja montaña de La Alpujarra, es donde se ha realizado mayor número de obras de captación, generalmente destinadas al riego de pequeños bancales o paratas; la mayor parte de las veces se trata de catas o zanjas de drenaje, cuya misión es reunir y concentrar las salidas difusas propias de muchas de estas emergencias. En casos más excepcionales se ha ensayado, con éxito, la realización de sondeos horizontales, cuya finalidad ha sido la de cortar el mayor número posible de fracturas transmisivas, dentro de la franja más superficial del macizo.

Parece oportuno incidir en la importancia que, desde el punto de vista ecológico, tienen las formaciones geológicas superficiales recientes (periglaciares-glaciares) y la franja de alteración-fracturación como ecosistemas de especies vegetales y animales de alto valor. De este modo, estas formaciones son sustentadoras de humedales de alta montaña y de pastizales, siempre que se disponga de los oportunos flujos subsuperficiales. Todo ello tiene además gran influencia en la conformación del paisaje de la alta montaña penibética.

Esta importancia ha sido puesta de relieve en el Proyecto de Directrices del Plan Hidrológico del Guadalquivir, donde se incluyen diferentes referencias al respecto. Entre otras actuaciones se contempla la realización de estudios que determinen el papel de la recarga subsuperficial sobre formaciones geológicas recientes en sectores de humedales, como apoyo al mantenimiento de especies vegetales autóctonas y a la conservación de la biota preexistente.

Flujo (profundo) a través de grandes fracturas, accidentes tectónicos y discontinuidades estructurales

Este tipo de flujo es muy particular y minoritario en Sierra Nevada, si bien se ligarían a él las surgencias más llamativas y características de La Alpujarra y otras zonas. Como se comentará en el apartado de calidad, las principales características de este tipo de aguas serían su termalismo, alta salinidad y carácter "picante" (por la presencia de CO₂). La circulación profunda, a través del núcleo metapelítico de Sierra Nevada, sólo es posible a través de grandes fracturas y ciertas discontinuidades estructurales, cuyas áreas de milonitización y brechificación hacen posible el flujo de aguas desde la superficie. El diaclasado y la fracturación "habitual" de estos materiales metapelíticos, micasquistos fundamentalmente, presenta generalmente escaso poder transmisivo, salvo en las primeras decenas de metros, en las que, como ya se ha comentado, es posible hallar fracturas abiertas por descompresión y fenómenos de reptación de laderas. Aunque faltan datos de sondeos verticales de investigación, se supone que en profundidad todo el entramado de fracturación debe hallarse prácticamente cerrado, salvo para ciertos tramos litológicos menos plásticos, y para algunas fracturas importantes, responsables del tipo de flujo que ahora se comenta.

Uno de los accidentes tectónicos con los que se relaciona un mayor número de surgencias de este tipo de flujo sería la falla, brechificada y mineralizada, que separa a los complejos Nevado-filábride del

Alpujárride, a lo largo de toda La Alpujarra. Muy representativa es, al respecto, el área de Lanjarón, que debido al interés de sus aguas minerales naturales, medicinales y de mesa ha sido objeto de varios estudios hidrogeológicos. En el apartado de calidad se hará alusión a los tipos de aguas allí existentes, representantes, en poco espacio, de la mayor parte de las que pueden originarse por circulaciones epidérmicas y profundas en los materiales metapelíticos de Sierra Nevada.

En general, las surgencias relacionadas con estos flujos profundos presentan caudales modestos, pero muy estables en el tiempo, como respuesta a periodos de residencia medios. Algunos cambios, más o menos bruscos, de caudal (y también de calidad), sin causas aparentes, hacen pensar que los movimientos neotectónicos (acompañados generalmente de microsismicidad) tienen influencia. El control foronómico y analítico de este tipo de manantiales sería de altísimo interés en una zona tan activa tectónicamente como es el Sureste español, y en particular todo el macizo de Sierra Nevada, con sus grandes fracturas asociadas (y en especial la de Padul-Dúrcal).

Las obras de captación de este tipo de flujos están muy directamente relacionadas con las zonas de fractura supuestamente transmisivas. La captación a través de sondeos verticales, que podría dar buenos resultados, no ha sido apenas ensayada en Sierra Nevada, posiblemente por la alta posibilidad de extraer aguas de deficiente calidad (alta salinidad) para los usos habitualmente requeridos. Algo similar podría decirse de las galerías, catas y sondeos horizontales en el entorno de rezumes y zonas de surgencia. En la mejora y acondicionamiento de las captaciones de AGUAS DE LANJARON, S.A., se realizaron con gran éxito captaciones mediante sondeos subhorizontales.

CALIDAD DE LAS AGUAS

Sierra Nevada posee gran variedad de tipos composicionales de aguas, en estrecha relación con la diversidad genética existente (Rodríguez Gordillo, et al., 1981; Roperó, 1984; Castillo, 1993..). A grandes rasgos, las aguas podrían agruparse en los siguientes tipos: a) aguas de fusión de nieve y de escorrentías superficiales, b) aguas de circulación epidérmica en materiales metapelíticos nevado-filábrides, c) aguas de circulación profunda en materiales metapelíticos nevado-filábrides, d) aguas subterráneas de los materiales carbonatados alpujárrides.

Pese a la diferenciación realizada, y en atención a las principales características físico-químicas, los tipos aludidos podrían reagruparse de una manera más simple en dos grandes conjuntos, el de las aguas superficiales y de circulación epidérmica (tipos a y b), y el de las aguas subterráneas (tipos c y d), estas últimas con mayor complejidad y variedad composicional.

Aguas superficiales y de flujo epidérmico

En esta categoría están agrupadas la mayor parte de las aguas de Sierra Nevada, relacionadas en gran parte con el deshielo. Este tipo de aguas posee escasa mineralización, normalmente inferior a 350 mg/l de TSD (total de sólidos disueltos), temperaturas bajas, pH neutro y facies bicarbonatada cálcica. La escasa mineralización es debida, fundamentalmente, al carácter poco soluble de los micasquitos, a las bajas temperaturas adquiridas tras el deshielo y a la rapidez del drenaje.

La temperatura media de las aguas superficiales fluctúa habitualmente entre 4 y 16 °C, en relación directa con la distancia a los puntos de fusión. Igual ocurre con la mineralización, que oscila entre 50 mg/l de TSD en las de fusión de nieve, y 300 mg/l para las escorrentías de las partes bajas del macizo. La facies hidroquímica es siempre bicarbonatada cálcica, si bien existen contenidos sensibles de otros iones como magnesio, sulfato, cloruro y sodio, estando en muy baja concentración el resto de los macroconstituyentes naturales. La concentración de elementos minoritarios y traza está generalmente por debajo de los niveles de detección. Pese a la excelente calidad físico-química y microbiológica de estas aguas, conviene llamar la atención sobre la contaminación microbiológica puntual que puede darse en el estiaje en las surgencias de chortales, borreguiles y pastizales, donde son abundantes las defecaciones de la ganadería extensiva existente en el macizo.

Las aguas de escorrentía epidérmica de los materiales metapelíticos presentan características muy similares a las relacionadas para las aguas superficiales. La relentización del flujo hace que se incremente ligeramente su salinidad y temperatura, si bien no llegan a superarse normalmente los 350-

400 mg/l de TSD y los 16 °C de temperatura medias, con facies siempre bicarbonatada cálcica. Las aguas procedentes de circulación a través de fracturas no profundas, así como las infiltradas (o reinfiltradas) a partir de acequias, careos y riegos, pueden poseer una ligera o moderada concentración en algunos constituyentes más específicos, como podrían ser hierro, manganeso o nitratos, procedentes en este caso del abonado en la Baja Alpujarra. Algo similar puede decirse de algunos tramos medios y bajos de ríos, donde son frecuentes las surgencias subterráneas procedentes del drenaje más profundo de materiales metapelíticos o de los carbonatados alpujárrides, en los que tanto la mineralización, como la temperatura y el pH se ven también incrementados, aunque normalmente de forma ligera.

Aguas subterráneas

Pese a ser minoritarias en el sistema hídrico de Sierra Nevada, son las que presentan mayor variedad composicional, sobre todo en relación con las procedentes de flujos profundos a través de materiales metapelíticos nevado-filábrides. Desde un punto de vista genético-composicional, podrían distinguirse, como ya se señaló anteriormente, dos grandes grupos de aguas: las de circulación profunda de los materiales metapelíticos del Complejo Nevado-filábride (tipo c) y las de circulación subterránea a través de los materiales carbonatados alpujárrides (tipo d). Un aumento extraordinario de la complejidad físico-química vendría impuesto por mezcla de aguas de los tipos b y c, es decir de las procedentes de flujos epidérmicos y profundos del macizo metapelítico.

Las aguas subterráneas de la orla carbonatada presentan gran regularidad físico-química. La salinidad está habitualmente comprendida entre 300 y 800 mg/l, con pH ligeramente básico; la facies química es bicarbonatada cálcica, o cálcico-magnésica; en algunos sectores se pueden llegar a encontrar cantidades apreciables de sulfatos. Muestran una gradación composicional y termal con las cotas de surgencia, desde las menos mineralizadas y frías de los manantiales de ladera o colgados, hasta las más mineralizadas y equilibradas térmicamente de los manantiales de borde.

Para las primeras son frecuentes temperaturas del orden de 9 a 14 °C, reflejo de situaciones de hipotermalismo, con toponimias como Fonfría, Fuente Fría, etc. Su contenido salino oscila normalmente entre 250 y 500 mg/l. Para las descargas de borde son más frecuentes las temperaturas comprendidas entre 13 y 16 °C, más estables en el tiempo y equilibradas con la temperatura media ambiente; el contenido salino oscila habitualmente entre 400 y 800 mg/l. En cotas más bajas, fuera de los afloramientos carbonatados, son frecuentes las surgencias de aguas ligeramente termales (entre 17 y 26 °C), mineralización superior a 1 g/l y facies sulfatada o bicarbonatada magnésico-cálcica.

Los principales macroconstituyentes de todos estos tipos de aguas son bicarbonatos, calcio, magnesio y sulfatos, y en menor medida cloruros y sodio; como minoritarios destacan potasio, fluoruros, sílice y litio, con muy bajas concentraciones de otros iones y elementos. Los contenidos de hierro y gases disueltos, como el CO₂, son muy bajos, en contraposición con los aportados por las aguas de flujo profundo en materiales nevado-filábrides, que se comentan a continuación (ferruginosas y picantes o agrias, según terminología popular).

Para las aguas de circulación profunda de los materiales metapelíticos nevado-filábrides, cabe aludir a varias situaciones genéticas de muy diferente quimismo. En general, las zonas por las que circulan están muy milonitizadas y brechificadas, y por ser zonas transmisivas para el ascenso de fluidos son soporte también de importantes mineralizaciones. El acceso de aguas termales y con pH ligeramente ácido (por las altas concentraciones en CO₂) a estas mineralizaciones, por fracturas o caminos diferentes, a lo que habría que añadir la pulsante actividad neotectónica, con interconexión, en mayor o menor grado, de unas fracturas con otras, serían causas que podrían explicar la alta salinidad y variedad espacial (y en menor medida temporal) de este tipo de aguas. Los procesos de mezcla, en cantidades variables con el tiempo, con aguas de circulación de flujos epidérmicos, expanden, aún más los rangos analíticos observados en este tipo de aguas.

En la zona de surgencia de Lanjarón se estudió la composición de 28 manantiales (Rodríguez Gordillo, *et al.*, 1981), llegándose a establecer la siguiente clasificación: a) manantiales de aguas termales, con temperaturas entre 20 y 30 °C, altamente mineralizadas, de 3.500 a 19.000 mg/l, y de facies clorurada sódica; b) manantiales de aguas frías, con temperaturas de 15 a 18 °C, poco mineralizadas, menos de 500 mg/l, y de facies bicarbonatada, o más raramente, sulfatada cálcica; y c) manantiales de aguas con características intermedias, con temperaturas de 18 a 20 °C, mineralización de 500 a 1.000 mg/l y facies

bicarbonatada o clorurada.

Las aguas del tipo a) serían las genuinamente procedentes de circulación profunda, a través de la zona de falla localizada entre los Complejos Nevado-filábride y Alpujárride, mientras que las del tipo b) procederían de flujos epidérmicos, en íntima relación con la recarga a través de acequias, careos y riegos superiores. Por fin, las aguas del grupo c) se ligarían a situaciones de mezcla con los tipos anteriormente reseñados.

Otros estudios posteriores señalan para las aguas de circulación profunda de Lanjarón (sin mezclas) una conductividad de 25.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, temperaturas del orden de 25°C, pH inferior a 6, facies clorurada sódica y altas concentraciones en algunos oligoelementos característicos como hierro, manganeso, aluminio, cromo, cadmio, níquel y plomo.

RECURSOS Y REGULACION

Las deficiencias de conocimiento, que se han ido apuntando a lo largo de esta síntesis, no permiten ser muy precisos y rigurosos en la estimación de los recursos del sistema, por lo que las cifras que se aportan a continuación deben considerarse sólo como aproximadas. Los recursos drenados superficialmente (aunque con parte de aportaciones subterráneas), a través de los cauces que salen del macizo, se han estimado en 620 $\text{hm}^3/\text{año}$; por cuencas hidrográficas, las aportaciones se repartirían del siguiente modo: Guadalfeo, 310 hm^3 , Genil, 175 hm^3 , Fardes, 90 hm^3 , Adra, 30 hm^3 y Andarax, 15 hm^3 (Bravo y Velasco, 1985; Castillo, 1985, 1993). Sin contabilizar quedarían otros 50 $\text{hm}^3/\text{año}$ drenados por manantiales y escorrentías de borde interfluviales. Como complemento de las partidas anteriores, también se hace una estimación, ésta más arriesgada, de los recursos drenados de forma oculta (subterránea) hacia sistemas limítrofes, supuestos en otros 80 $\text{hm}^3/\text{año}$. Así pues, las estimaciones actuales sitúan la cuantía de los recursos medios drenados por Sierra Nevada en aproximadamente 750 $\text{hm}^3/\text{año}$ (Castillo, 1985, 1993). No obstante, es necesario resaltar que en dicha estimación no estarían contabilizados los recursos derivados (para riego, infiltración y careos) y consumidos por evapotranspiración dentro de los límites del sistema, cuya cuantificación es muy aventurada de hacer con la información actualmente disponible, y que, con todas las salvedades, podrían oscilar entre 70 y 130 $\text{hm}^3/\text{año}$.

El macizo de Sierra Nevada ha presentado siempre grandes dificultades de regulación, debido a su abrupta orografía, carácter poco permeable y escasa forestación. Sin embargo, la preponderancia de precipitaciones sólidas por encima de los 2.000 m de altitud ha supuesto una muy eficiente regulación natural, ejercida por el desfase entre las precipitaciones (invernales) y las escorrentías (primaverales y estivales) ejercido por el deshielo. A este desfase habría que sumar el producido por la infiltración y circulación epidérmica (más lenta) de una parte importante de las escorrentías del deshielo. Además, el efecto regulador ejercido por el terreno fue aprovechado desde épocas muy remotas, con seguridad desde la dominación árabe, a través de una cultura de intensa derivación de las aguas de los ríos, tanto dentro del macizo (sobre todo en La Alpujarra), como en las depresiones y vegas del contorno, con la finalidad de regar o de recargar las aguas en el terreno.

La construcción de embalses superficiales es muy reciente, dadas las dificultades de emplazamiento y de ingeniería que las obras requerían y el carácter fuertemente torrencial y erosivo del macizo.

Regulación antrópica

Hasta hace pocos años, Sierra Nevada carecía de embalses de regulación, si bien una parte de sus aguas eran almacenadas en su entorno (embalses de Iznájar, en el río Genil, y de Doña Aldonza, en el Guadiana Menor). En 1976 se inauguró su primer embalse, el de Quéntar, sobre el río Aguas Blancas (vertiente atlántica; subcuenca del río Genil). Pese a ser pequeño, de sólo 13 hm^3 de capacidad, hubo de recurrirse a la construcción de una impresionante presa de bóveda de hormigón de 135 m de altura. Su cuenca de recepción presenta una superficie de 101 km^2 y en ella se recogen las aportaciones de los ríos Aguas Blancas y Padules, así como del arroyo de Tintín, las cuales se estiman en alrededor de 36 $\text{hm}^3/\text{año}$. Fue construido con la finalidad de mejorar el abastecimiento a la ciudad de Granada y de los riegos de su vega.

En el año 1983 se finalizó la presa de Benínar, sobre el río Grande de Adra (vertiente mediterránea). Asentada sobre rocas carbonatadas alpujárrides, aún presenta importantes filtraciones por su vaso. Su cuenca de alimentación es de 521 km², y está drenada por el referido río Grande de Adra, junto a sus tributarios los ríos Ugíjar, Válór, Nechite, Laroles, Bayárcal y Paterna, y la rambla de Turón. Las aportaciones medias anuales son de 30 hm³ y su capacidad de almacén de 70 hm³, de los que sólo son operativos, por las fugas citadas, del orden de 18 hm³. La presa fue construida con materiales sueltos, empleando para el núcleo filitas alpujárrides del área.

En 1986 se terminó de construir el embalse de Béznar, sobre el río Izbor (vertiente mediterránea; subcuenca del río Guadalfeo). Su cuenca tiene una extensión de 352 km² y unas aportaciones medias anuales de 71 hm³. Su presa, de hormigón, tuvo algunos problemas iniciales de fugas y se aforó con una capacidad de 53 hm³. Esta obra permitió retener las aguas del río Izbor, alimentadas por las de sus afluentes los ríos Dúrcal, Torrente, de La Laguna, Alcázar y Albuñuelas. Como apoyo a su regulación, se construyó aguas abajo un pequeño contraembalse. La finalidad de estas obras fue la de asegurar los regadíos de la vega de Motril-Salobreña, así como de los abastecimientos costeros.

En 1988 se inauguró el embalse de Canales, sobre el río Genil (vertiente atlántica), una vieja aspiración hidráulica. Para ello, tuvo que inundarse, desgraciadamente, parte del trazado del antiguo tranvía de Sierra Nevada y el pueblo-apeadero de Canales, lo que representó la desaparición de ese medio de transporte, tan añorado hoy día por muchos granadinos. La presa es uno de los atractivos de este embalse, ya que en materiales sueltos es, hoy día, la de mayor altura de España, con 156 m; está anclada, junto a una parte importante del vaso, sobre calcarenitas, conglomerados y limos terciarios; en su orilla izquierda inunda dolomías alpujárrides. Presenta una cuenca de 173 km², unas aportaciones de 71 hm³ y una capacidad de embalse de 70 hm³. Las aguas de alimentación proceden del río Genil, junto a sus tributarios los ríos Maitena, San Juan, Vadillo, y Guarnón. Dispone de un pequeño contraembalse. Se realizó con la finalidad de mejorar el abastecimiento a la ciudad de Granada (junto a su área metropolitana) y los regadíos de su vega.

En marcha están los trabajos de construcción del embalse de Rules, sobre el río Guadalfeo (vertiente mediterránea), en las proximidades de Orgiva. Se trata de otro de los proyectos hidráulicos largamente concebido, ya que el río Guadalfeo ha presentado desde siempre importantes excedentes, evacuados finalmente al Mar Mediterráneo. Ya a principios de siglo se proyectó hacer "el pantano del río Guadalfeo", en la cerrada del tajo de los Vados, pero el proyecto fue desestimado por el carácter fuertemente torrencial del río en aquella época (Almagro, 1932). Con esta obra se disminuirá sensiblemente el carácter excedentario del río, lo que permitirá incrementar los recursos disponibles para el regadío de una gran parte de la franja litoral granadina, con cultivos de alta rentabilidad. La cuenca vertiente a la presa es de 1.070 km² y la capacidad de embalse prevista de 59 hm³. La presa será de materiales sueltos y retendrá las aguas del río Guadalfeo, alimentadas por sus tributarios los ríos Poqueira, Trevélez y Cádiar, y por las ramblas de Alcázar y Torvizcón, junto a otras más pequeñas procedentes de La Contraviesa y de la Sierra de Lújar. Como complemento de la completa regulación del río Guadalfeo, están también pendientes las obras de trasvase de los ríos Trevélez-Cádiar-Yátor a La Contraviesa y de los ríos Trevélez-Cádiar a la cuenca del río Adra (Bravo y Velasco, 1985), además de la posible regulación de los acuíferos de cabecera y del acuífero de Motril-Salobreña (IGME, 1985).

En fase de ejecución se encuentra, asimismo, el embalse del ingeniero Francisco Abellán, sobre el río Fardes (vertiente atlántica), cerca del pueblo de La Peza. Este será el primer embalse en regular, en las proximidades de Sierra Nevada, las aguas de la subcuenca del río Fardes. Su cuenca de recepción prevista es de 189 km², su capacidad de 40 hm³ y sus recursos estimados de 25 hm³/año.

Como complemento de estas grandes obras de infraestructura de regulación, existen multitud de pequeñas actuaciones, de alcance más local, pero cuyo concurso conjunto es muy notable en lo referente a la regulación global de todo el sistema. Nos referimos, por ejemplo, a los diques de corrección hidrológica-forestal, a las presillas de derivación y acequias, o a las pantanetas de riego. De estas obras menores, merecen mención especial los azudes de derivación de Vélez de Benaudalla y del Vínculo, en el río Guadalfeo; una obra pequeña, pero desafortunada desde el punto de vista ambiental, fue el represado de la laguna de las Yeguas; reacondicionada recientemente se ha mejorado la estanqueidad y estética de la obra inicial; su cuenca vertiente es de 1 km² y sus recursos están próximos a 1 hm³/año.

Regulación "pseudonatural"

Como ya se ha mencionado, el carácter fuertemente nival de las precipitaciones del macizo, por encima de los 2.000 m de altitud, con altas persistencias en el suelo por las bajas temperaturas existentes, es responsable de la marcada regulación natural del sistema. No en vano, se ha asimilado, con exageración, el manto nival de Sierra Nevada con el mayor embalse (sin presa) de Andalucía. El retardo adicional en la liberación de las aguas, ejercido por la infiltración de una parte importante de las de fusión, es otro factor que ha aumentado el grado de regulación natural del sistema. Este evidente papel regulador ejercido por el terreno fue conocido e incrementado por la mano del hombre desde épocas muy remotas, a través de prácticas extensivas e intensivas de derivación, careo y riego a partir de las aguas fluviales, sobre todo en la vertiente mediterránea (La Alpujarra).

Desde antaño, el único y más eficaz sistema de guardar las impetuosas aguas del deshielo consistió en la intensiva derivación mediante acequias del agua de los ríos. La misión fundamental de estas acequias era transportar el agua hasta los campos de cultivo aparatados, entonces muy extendidos a lo largo de todas las laderas de Sierra Nevada; para ello se dispuso la impermeabilización de las acequias de una forma muy rudimentaria, utilizando las lajas (esquistos) y launas (filitas) de la Sierra; pero en la gran mayoría, su finalidad fue mixta, es decir por un lado conducir las aguas para el regadío, pero sin importar sus moderadas pérdidas a lo largo de sus trazados, en los que era frecuente diseñar aliviaderos (boqueras) con la finalidad de producir pastizales y/o de provocar la recarga de manantiales más bajos.

La mayoría de estas acequias aún se conservan hoy día, constituyendo elementos incorporados a la fisonomía natural del macizo, dentro del cual ejercen, entre otros, un importante papel ecológico como sustentadoras de pastizales y de zonas arbóreas de indudable valor paisajístico y económico. Entre las acequias más destacables, por su belleza, cabe citar la acequia Alta de Capileira, la Baja que corre paralela a la anterior, la acequia de La Andadera, la de La Cabaña Vieja en La Hoya de La Mora, la acequia Chica de la loma del Calvario, la de La Fuente y Papeles en la loma de Maitena, la de las Albardas y Bacares en Trevélez, la de los Castillejos en Bubión...En estos últimos años de sequía (1992-94), ha resurgido con fuerza un debate (con algunas actuaciones ya realizadas) sobre la cementación y/o anulación de estas acequias, con la finalidad de aumentar los recursos disponibles para regadíos más fértiles y bajos.

En las vegas y depresiones del contorno, como en las de Granada, Motril-Salobreña, o en el Valle de Lecrín, la derivación de las aguas, mediante azudes y presas, también fue muy intensa, sirviéndose de los materiales aluviales como reservorio de las aguas infiltradas.

No sería justo concluir este apartado sin hacer rápida mención al papel ejercido por las obras de corrección hidrológica-forestal, que con labor callada, intensa y de muchos años han permitido atenuar la torrencialidad y erosión del macizo, sentando las bases para una rápida revegetación natural del mismo y una mayor regulación hidrológica.

Partiendo de una situación de casi completa desforestación y fortísima torrencialidad a principios de este siglo, en 1925 comienzan los primeros trabajos de restauración en las cuencas de los ríos Chico y Súcar (subcuenca del río Guadalfeo; vertiente mediterránea). Pero es a partir de 1941 cuando se inicia una gran actividad correctora y repobladora en la mayor parte de las faldas de Sierra Nevada, a cargo del entonces Patrimonio Forestal del Estado; entre las cotas 1.000 a 2.000 se construyeron centenares de diques y la repoblación alcanza hoy día a cerca de 65.000 ha (50.000 de ellas en la provincia de Granada, y el resto en la de Almería).

Toda esta ingente labor ha contribuido muy activamente a disminuir la erosión y torrencialidad de los cauces, y, en consecuencia, a aumentar y regular mejor las aportaciones hídricas. Muy importante para la recarga subterránea han sido los diques construidos sobre rocas carbonatadas en sierras como las de Tocón-La Peza (que se incendió en el verano de 1993), Dílar, Padul, Dúrcal o Nigüelas. Asimismo, las extensas repoblaciones forestales de La Alpujarra y El Marquesado han contribuido a laminar las antaño torrenciales descargas superficiales, favoreciendo los procesos de infiltración y lenta liberación posterior de las aguas; también han debido contribuir a aumentar las aportaciones por pluviometría e intercepción. Como contrapartida, la evapotranspiración de estas masas vegetales ha ocasionado la disminución e incluso desaparición de algunas surgencias someras.

Hoy día, las condiciones se están tornando mucho más favorables para la revegetación natural, con las laderas más cubiertas, asentadas y protegidas frente a la erosión. La desaparición del empleo de combustibles vegetales, el abandono de los cultivos marginales y la disminución drástica de la carga ganadera caprina son factores adicionales que están favoreciendo la extensión, densidad y calidad de la cubierta vegetal de Sierra Nevada, con cambios muy notables en el comportamiento y regulación hídrica del macizo. No obstante, pende sobre esta prometedora y nueva realidad la permanente amenaza de los incendios forestales, en parte consustanciales con las condiciones climáticas mediterráneas y, en su origen, no lo olvidemos, producto casi siempre de la acción negligente o voluntaria del hombre.

REFERENCIAS

Aguilar, J.; Simón, M.; Medina, J.; Gil de Carrasco, C. y Maraños, A. (1986). Mapa de suelos a escala 1:100.000 y memoria explicativa de la hoja de Aldeire. Proyecto LUCDEME. ICONA-Univ. Granada

Al-Alwani, G. (1991). La distribución pluviométrica en la cuenca del río Guadalfeo y su influencia en la evolución espacial y temporal de los recursos hídricos. III SIAGA. Vol. I: 43-54. Córdoba

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.; Gisbert, J.M. y Pulido Bosch, A. (en prensa). El deshielo y la escorrentía en la cabecera del río Monachil. 1ª Conf. Intern. sobre Sierra Nevada. Granada

Almagro, J. (1932). Torrentes y pantanos en Sierra Nevada. Ed. restringida. 60 pág. Madrid

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

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.; Martín, W. y Osorio, R. (1993). Hidrología forestal de la cuenca del embalse de Rules (Granada). Inf. restringido.OMICRON-CHSE. 233 pág.

Castillo, A. y Fernández-Rubio, R. (1984). Hidrogeología de la cuenca vertiente a la Depresión de Padul (Granada). I Congreso Español de Geología. IV: 109-121 Segovia

CHG-ITGE (1994). Normas de explotación de las UU.HH de las Cuencas del Guadalquivir y Guadalete-Barbate. Inf. restringido

CHSE (1995). Restauración hidrológico-forestal de la cuenca alimentadora al embalse de Rules, en el río Guadalfeo (Granada). Serv. Publ. CHSE. Dir. Vázquez Sell. Málaga

Delgado Calvo-Flores, R.; Delgado Calvo-Flores, G.; Párraga, J.; Gámiz, E; Sánchez Maraños, M. y Tenorio, M.A. (1988). Mapa de suelos a escala 1:100.000 y memoria explicativa de la hoja de Güejar Sierra. Proyecto LUCDEME. ICONA-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

Ferrer, M. (1971). Sierra Nevada. Ediciones Anel. Granada

Ferrer, M. (1985). Sierra Nevada y La Alpujarra. 4 tomos. Editorial Andalucía. Granada

IGME (1985). Estudio hidrogeológico de la Cuenca del Guadalfeo y sectores costeros adyacentes (1ª y 2ª fases)

Jiménez Olivencia, Y. (1991). Los paisajes de Sierra Nevada. Serv. Publ. Univ. Granada. Col. Monográfica Tierras del Sur. 223 pág.

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

MOPT (1992). La nieve en las cordilleras españolas. Programa ERHIN (año 1990/91). Ed. Centro Publ. MOPT. 227 pág. Madrid

MOPTMA-ITGE (1993). Delimitación y síntesis de características de las unidades hidrogeológicas intercuenas. Inf. restringido

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

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

Pulido Bosch, A. y Ben Sbih, Y. (1995). Centuries of artificial recharge on the southern edge of the Sierra Nevada (Granada, Spain). Environmental Geology. 197

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

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

Foto 1.- Chorreras del Molinillo, en el Alto Dílar (subcuenca del Genil). Muestra de emergencias del flujo subsuperficial de los micasquistos de Sierra Nevada (foto A. Pulido)

Foto 2.- Panorámica del embalse de Canales, sobre el río Genil. En esta transversal algunos autores han establecido el límite entre el subsistema de la Sierra de La Peza (a la izquierda de la imagen) y el de las sierras del borde occidental de Sierra Nevada (a la derecha), constitutivos ambos del "*Sistema acuífero carbonatado del borde Oeste de Sierra Nevada*" (foto A. Pulido)

Figura 1.- Mapa de isoyetas medias del macizo de Sierra Nevada e hietogramas de algunas estaciones representativas (Castillo, 1985)

Figura 2.- Distribución de las cuencas hidrográficas que integran el macizo de Sierra Nevada, hidrogramas de algunos ríos característicos y tabla con los principales parámetros hidrológicos promedio de las cuencas existentes (Castillo, 1985)