

CASTILLO, A. (1985)
"Aguas superficiales y subterráneas en Sierra Nevada (Granada y Almería)"
En "Sierra Nevada". ISBN: 84-86500-01-X. Ed. ANDALUCÍA, S.A.145-169



Las aguas superficiales

Dr. ANTONIO CASTILLO MARTIN
Investigador Hidrogeólogo Universidad de Granada.

AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRANEAS EN SIERRA NEVADA

Deseo recoger en este artículo, no sólo los aspectos relacionados con el agua de Sierra Nevada, sino también el triple papel que juega en el aspecto hídrico, como receptora, reguladora (efecto nival) y distribuidora, de un agua que recibe del cielo, para regalo y disfrute de una de las zonas más secas y deprimidas económicamente de España.

I. INTRODUCCION

Sierra Nevada juega un papel de una importancia vital en el entorno de su emplazamiento. No es sólo un reducto natural de majestuosa belleza, sino que, además, suministra bienes de inestimable valor, uno de los cuales es el de sus aportaciones hídricas.

En el sentido hidrológico, es un macizo de unos 2.300 km.² de superficie. Tiene forma alargada de este a oeste y ocupa parte de los sectores centro-oriental y occidental de las provincias de Granada y Almería, respectivamente, en el sureste español.

Este macizo, que presenta una línea continua de cumbres superiores a los 3.000 m. de altitud, supone una barrera orográfica a los distintos tipos de frentes de lluvias que cruzan esta parte de la Península Ibérica, lo que provoca sobre sus laderas y cimas precipitaciones muy superiores a las de su entorno inmediato. Esto, unido a su considerable superficie, configura un sistema hídrico de los más importantes de Andalucía. Completan el panorama hídrico de las provincias andaluzas, la zona de Almonte-Marismas y las sierras de Grazalema y Cazorla-Segura.

Por si fuera poco, su magnífica situación geoeconómica realza extraordinariamente sus disponibilidades de agua, aportándola a zonas de fértil suelo y excelente clima. Sus aguas riegan los campos de cultivos tempranos, donde la rentabilidad agrícola es de las más altas de Europa, principalmente en las zonas costeras, con los productos hortofrutícolas.

Color característico de los chopos, cuando otoñan.



II. VERTIENTES HIDROGRAFICAS

Su situación a "caballo" entre dos vertientes, la mediterránea al sur y la atlántica al norte, permite que gotas caídas en su línea de cumbres, escasamente separadas, puedan terminar regando los arrozales de las marismas, en la desembocadura del Guadalquivir, o los cultivos de los invernaderos de Adra, en Almería.

La disposición de sus vertientes hace que la mayor parte de su preciado líquido discorra hacia la vertiente mediterránea, representada por tres cuencas hidrográficas: la cuenca del río Guadalfeo (provincia de Granada), la más importante en recursos de todo el sistema, y las de los ríos Adra y Andarax (ambas con desembocadura en la provincia de Almería).

Más escasa en recursos es la vertiente atlántica, representada por las cuencas de los ríos Genil y Guadiana Menor.

Al pie del Mulhacén. Cañada de Siete Lagunas.



Río Genil.

La vertiente mediterránea aún permanece, en la actualidad, sin ningún tipo de regulación a partir de obras civiles, excepción hecha de los azudes de derivación de Vélez de Benaudalla. Esta falta de obras de regulación ha motivado la pérdida de ingentes cantidades de agua, que terminan en el mar en la época del deshielo (Mayo-Junio), en una zona donde podría haberse creado una gran riqueza, como son las vegas de Motril-Salobreña, Carchuna, Adra y Andarax.

En la Alpujarra, aprovechando el efecto regulador de la nieve, que retiene el agua en los meses de invierno, de escasa utilidad en la agricultura, para darla en los de primavera-verano (coincidiendo con la época principal del deshielo), ya desde la dominación árabe, y tal vez con anterioridad, se beneficiaban del agua, derivándola de los ríos principales por un sinnúmero de acequias para llevarla hasta los campos de cultivo o a los pastizales. En esta zona nunca faltó el agua.

No ocurrió lo mismo en las zonas costeras, donde el impetuoso caudal del deshielo era imposible de retener y derivar en su totalidad, por lo que sólo se abastecieron regularmente los campos próximos a las márgenes de los ríos; pero en estos sectores costeros existió siempre una regulación natural a favor de las aguas subterráneas, embalsadas en los materiales detríticos permeables de las terrazas y deltas del tramo final de los ríos. Sin embargo, a pesar de existir esta riqueza hídrica subterránea, no se realiza una explotación racional del agua hasta hace pocos años, cuando se incorporan a los pozos artesanales y norias de tracción animal, métodos de perforación y extracción más en consonancia con la era industrial.

En la actualidad, se está avanzando mucho en la construcción de obras hidráulicas, para la regulación de las aguas, en la vertiente mediterránea. Se encuentra en su última fase de construcción la presa de Béznar, que regulará las aguas del río Izbor, afluente



El Guarnón, cerca de la confluencia con el Genil.

del Guadalfeo, y aportará grandes mejoras a los regadíos de las vegas de Motril-Salobreña y Carchuna, en la costa granadina. Igualmente, en la provincia de Almería se construye la presa de Benínar, que regulará las aguas de la cuenca del río Grande

de Adra, y asegurará los regadíos en las vegas de Adra, Campo de Dalías, El Ejido y los pueblos nuevos de la costa almeriense.

Por otra parte, están en proyecto las obras reguladoras de Trevélez y Rules, enclavadas en la cuenca del río Guadalfeo, amén de alguna otra en el río Andarax de Laujar.

Todo esto, unido al avance que se ha producido en el conocimiento de los embalses subterráneos costeros de Motril-Salobreña, Carchuna, Adra, Campo de Dalías y Andarax, así como en los sistemas de perforación y extracción del agua subterránea, auguran un elevado y esperanzador relanzamiento de la agricultura costera de parte de las provincias de Granada y Almería. Con todo, aún queda mucho camino por recorrer en la racional regulación de estas aguas de la vertiente mediterránea de Sierra Nevada.

No ha corrido la misma suerte, afortunadamente, la vertiente atlántica, que ha encontrado, desde siempre, mejor regulados sus recursos hídricos. Ha inducido a ello la mayor distancia al Océano Atlántico de los recursos de sus ríos, y una política de "mimo preferente" hacia los cultivos y regadíos de la cuenca del Guadalquivir.

La vertiente norte de Sierra Nevada brinda generosamente sus aguas, dejándolas escapar de sus límites nativos, ya que carece de obras de regulación en la provincia de Granada. Tan sólo el pequeño, aunque bellissimo, embalse de Quéntar, en el

Las ramas dormidas en invierno, retuvieron el agua colgante.



río Aguas Blancas (13,6 Hm.³), inaugurado en el año 1974, y el de Canales, sobre el río Genil (en construcción y con una capacidad proyectada de 70,7 Hm.³), ayudarán a regular la cabecera de la cuenca del río Genil. Por el contrario, los ríos Monachil y Dílar, afluentes del río Genil, no son regulados hasta llegar al embalse de Iznájar, ubicado dentro de las provincias de Granada, Málaga y Córdoba. Es el mayor de Andalucía, con una capacidad de embalse de 980 Hm.³ De igual forma, los ríos de la cuenca del Guadiana Menor procedentes de Sierra Nevada, escapan a una regulación no natural.

Por este motivo, desde tiempo inmemorial, se han desarrollado y mantenido sistemas de derivación de canales y acequias, a partir de los ríos que nacían en Sierra Nevada, asegurando así unos regadíos moderadamente aceptables. Ni esto se hubiese podido realizar, sin el efecto regulador propio de Sierra Nevada. Todavía llama la atención la complejísima red de acequias, heredadas de los árabes, que constituyen el principal sistema de regadío de las vegas de Granada y Guadix. En la Alpujarra se las ve cruzar por las laderas de las montañas, en todas direcciones, buscando paratas donde depositar su preciada riqueza hídrica. Algunas de ellas tienen más de 60 km. de recorrido.

Al igual que en los sistemas costeros, en las vegas de Granada y Guadix ha existido siempre una gran riqueza hídrica subterránea, de la que se obtenían rendimientos muy bajos. Hoy día la explotación de aguas subterráneas es totalmente extensiva en estas vegas. Sólo la de Granada, donde existen más de 1.000 pozos y sondeos, aporta anualmente de su embalse subterráneo un volumen superior a los 180 Hm.³.

III. LIMITES

Cualquier estudio que se haga de Sierra Nevada requiere definir previamente si se hace sobre una parcela o sobre su totalidad.

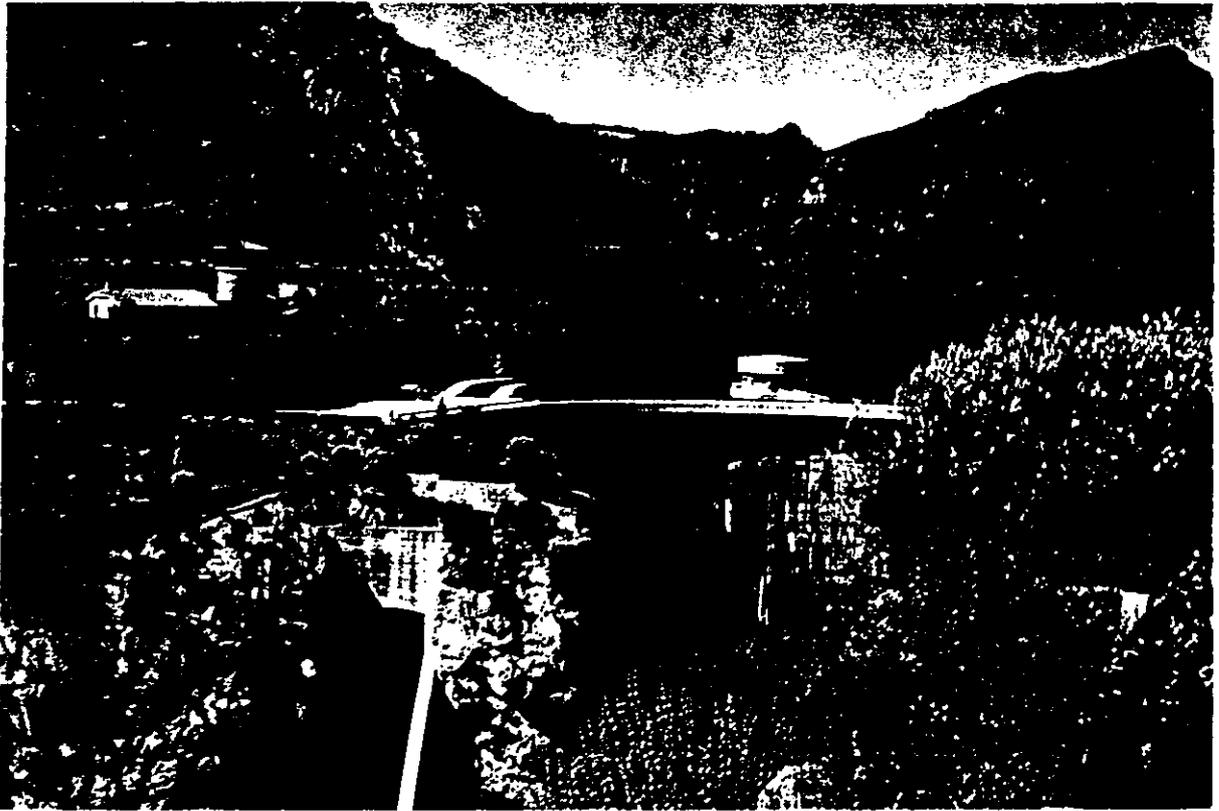
En este último caso, ¿a qué llamamos Sierra Nevada?

Es evidente que para un geólogo es diferente que para un geógrafo, ya que distintos puntos de vista profesionales hacen que sus límites no coincidan. Por otra parte, tampoco existe un estudio interdisciplinar que



Embalse de Quéntar.

haya delimitado geográficamente a qué parcela de terreno nos referimos cuando hablamos, en general, de Sierra Nevada. Se hace necesario, por tanto, delimitarla desde el punto de vista hidrológico-geológico (remito a los lectores a la figura 1, en la que está representado el mapa hidrogeológico de Sierra Nevada).

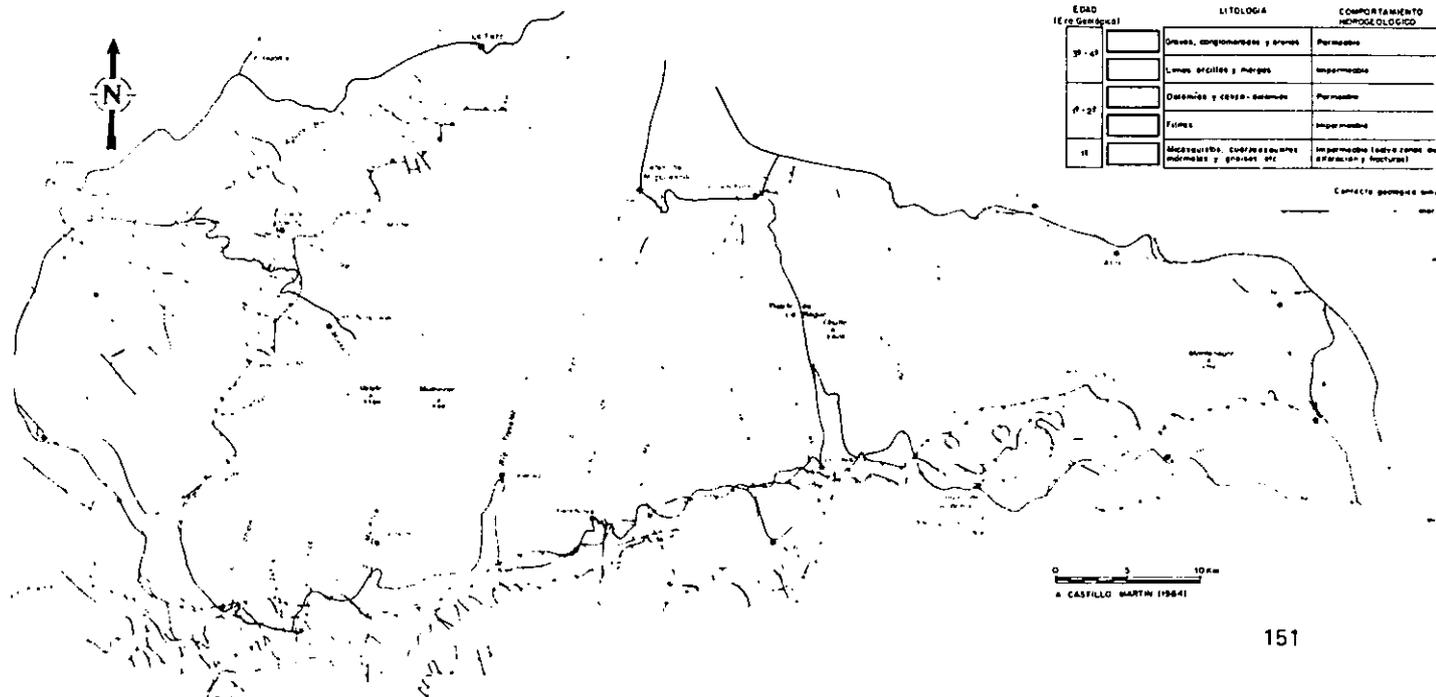


Una de las pocas obras de regulacion de Sierra Nevada es el embalse de Quántar; pequeño, pero con aires de grandeza.

Situándonos en el pueblo de Béznar (Granada), en la vertiente sur, y siguiendo el giro de las agujas del reloj, Sierra Nevada desaparece al llegar a los terrenos más modernos que recubren sus bordes. Se trata de los materiales, de edad neógeno-cuater-

nario, que rellenan la depresión de Granada, que se distinguen fácilmente de los de la Sierra por ser éstos de tipo "rocoso". Si se asciende a ella por cualquiera de los ríos: Torrente, Dúrcal, Dílar, Monachil, Genil o Aguas Blancas, se observará, clara-

MAPA - HIDROGEOLOGICO



mente, este cambio. Para el tramo comprendido entre el embalse de Quéntar y el pueblo de La Peza, no existe un criterio, ni hidrológico ni geológico, que sirva claramente de límite. A partir de La Peza, el límite geológico vuelve a ser claro; se pasa igualmente de los materiales "rocosos" de Sierra Nevada a otros detríticos recientes, de edad plio-cuaternaria, correspondientes al relleno de la depresión de Guadix. Este criterio puede extenderse hasta el pueblo de Alboloduy (Almería), que es el más oriental de Sierra Nevada (de esta forma definida).

Desde Alboloduy, el criterio sigue siendo el mismo, pero los materiales ahora pertenecen a la depresión de Canjáyar-Ugíjar. Se con-

tinúa por el contacto de los materiales rocosos de Sierra Nevada con los detríticos de esta nueva depresión, hasta llegar al pueblo de Cádiz (Granada), a partir del cual desaparece este criterio geológico. Desde ahí, y con un criterio hidrológico, se sigue el curso del río Guadalfeo, hasta su confluencia con el Izbor, el cual se remonta hasta llegar nuevamente al pueblo de Béznar, con lo que se cierra el perímetro y quedan descritos los límites del sistema.

Sierra Nevada así definida, es una "unidad" hidrológica que abarca una superficie próxima a los 2.300 km.² y ocupa parte de las provincias de Granada y Almería.

Las aguas fluyen de los neveros de los Tajos de la Virgen, se remansan antes de precipitarse en la Laguna de las Yeguas, formando chancales y lagunillos.



IV. COMPORTAMIENTO HIDROGEOLOGICO DE LOS MATERIALES

Haré frecuente referencia al mapa de la figura 1, a fin de situar en el espacio dónde se encuentran los materiales que se describen.

Los materiales metamórficos, compuestos por micaesquistos, esquistos, cuarcitas, filitas, mármoles, gneises, etc., que componen la unidad Nevado-filábride (en clara alusión geográfica a las sierras Nevada y de Los Filabres, donde aparecen), suponen el 80% de los que afloran en Sierra Nevada. Son los más antiguos del macizo, ya que pertenecen a la Era Primaria (en el mapa, figura 1, están representados en blanco), y ocupan la parte central, incluida la línea de crestas.

De todos los tipos de rocas mencionados, los más abundantes son los micaesquistos, que se comportan frente al agua como impermeables, aunque pueden presentarse también moderadamente permeables, si existe un tramo superficial alterado suficientemente potente. En algunos casos se producen circulaciones más profundas, pero siempre ligadas a las fracturas que estos materiales rocosos poseen. Este tipo de circulación no da grandes caudales, pero merece destacarse por la gran variedad de aguas minero-medicinales, e incluso termales, que origina.

No obstante, el rasgo más sobresaliente de la hidrología de Sierra Nevada es el predominio de las escorrentías superficiales, en comparación con las subterráneas, ya que la mayoría de sus materiales, el 80%, son impermeables. Casi toda el agua que cae sobre los mismos "escurre" superficialmente.

Otro tipo de materiales menos metamórficos que los anteriores, y más recientes, ya que pertenecen en su mayor parte al principio de la Era Secundaria, son los que pertenecen a la unidad denominada por los geólogos: Alpujárride (en clara alusión a su presencia en la Alpujarra), aunque aparecen rodeando por todos sus bordes los materiales Nevado-filábrides. Dentro de ella he diferenciado un tramo permeable y otro impermeable.

El tramo impermeable lo constituyen los materiales más antiguos. Son filitas de coloración frecuentemente violácea, muy característica (representadas en la fig. 1 por el color morado). Los afloramientos son muy reducidos y su importancia está en servir de base impermeable a los embalses subterráneos que proporcionan los materiales superiores.



El río del Real, cerca de Cueva Secreta.

Los materiales depositados sobre las filitas constituyen el tramo permeable de esta unidad, compuesto por dolomías y calizodolomías (representadas en la fig. 1, por el color azul). Aunque su representación es también muy reducida, su carácter de

rocas permeables hace que cobren especial interés por su capacidad de almacenar y transmitir el agua en su interior, lo que las convierte en buenos "acuíferos", con posibilidad de ser explotados en sus bordes con las distintas depresiones. Destaca, por su extensión, el afloramiento que existe en el extremo más occidental de Sierra Nevada, que, en parte, regula a los ríos Monachil, Dílar, Dúrcal y Torrente, que lo atraviesan transversalmente.

Estos materiales se distinguen perfectamente de todos los anteriormente citados por sus *característicos arenales*, grandes escarpados y densa red de drenaje. Zonas tan conocidas como la Buitrera de Dúrcal, sierra del Manar de Padul, los Alayos de Dílar, el Trevenque, los Cajorros de Monachil, el Calar de Güejar y las sierras de Quéntar y La Peza, se encuentran sobre estos materiales, que ocupan las zonas de la "Baja Montaña", en el argot montañero.

Por fin, citaré a unos materiales que ya nada tienen que ver con los anteriores, pues no son metamórficos, ni han sufrido los efectos de una orogenia alpina; se trata de los "sedimentarios", de las Eras Terciaria y Cuaternaria, que rodean el macizo, a los que se ha hecho frecuente referencia en la descripción de los límites de Sierra Nevada.

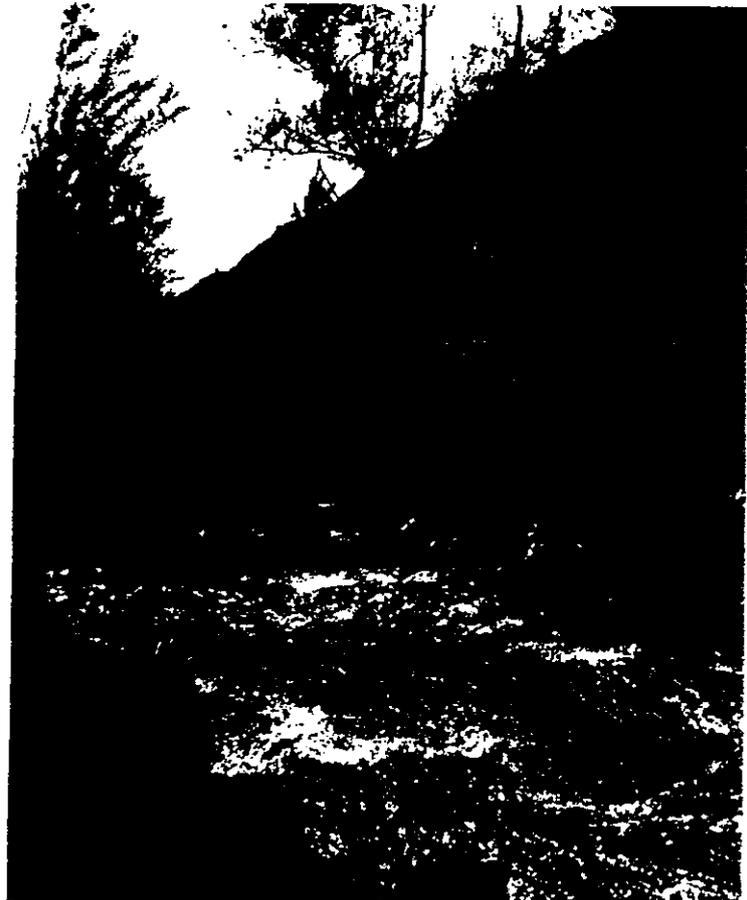
Para ellos hago también una doble diferenciación en permeables e impermeables. Los permeables (representados en color naranja, en la fig. 1) funcionan como embalses naturales de regulación, a partir del agua que reciben de las escorrentías superficiales y subterráneas de Sierra Nevada. Estos materiales están presentes en una gran parte de las depresiones de Granada y Guadix. Los impermeables (representados en amarillo, en la fig. 1) se localizan fundamentalmente en algunos sectores de la depresión de Granada, y en la cuenca alta del río Andarax, en el extremo oriental de Sierra Nevada.

*Sierras que cubren el sempiterno hielo,
donde Darro y Genil beben su vida.*

ZORRILLA.—GRANADA



Río Dílar.



V. CICLO DEL AGUA

El ciclo del agua en Sierra Nevada no es muy distinto al de cualquier otro macizo montañoso, o sierra de España. Sin embargo, la descripción del mismo tal vez sea didáctica, y colabore a ver un poco más claro cómo todas las aguas son las mismas, tanto superficiales como subterráneas, independientemente del camino que éstas sigan en su ciclo.

El ciclo puede comenzar con la precipitación de un aguacero en las laderas o cumbres de nuestra Sierra. Este agua, que acaba de "tomar tierra", se descompondrá en tres partidas:

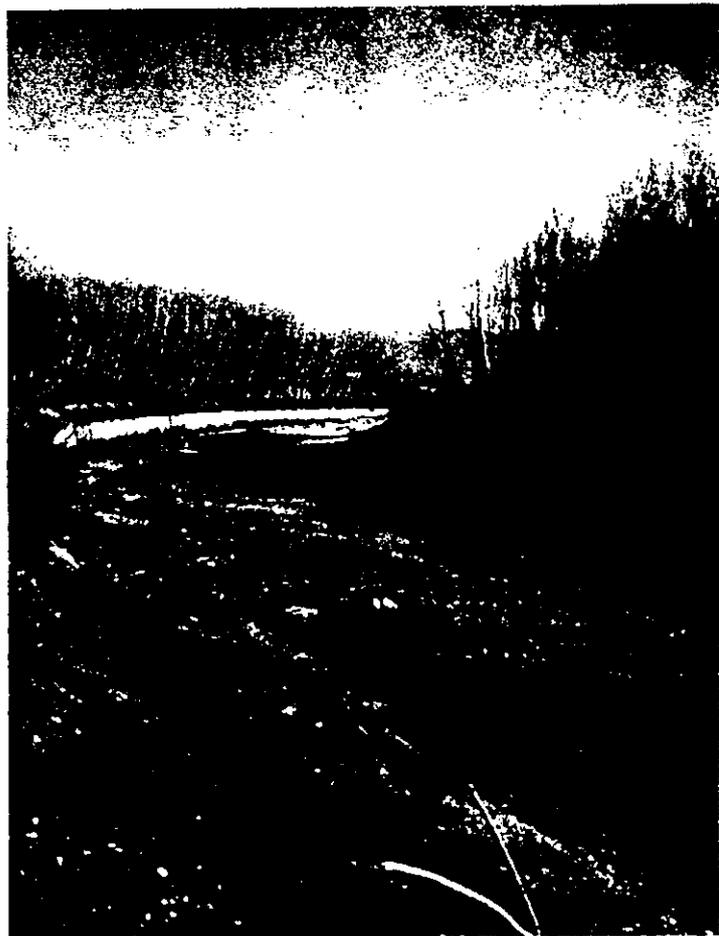
1. La que escurre superficialmente, organizándose a través de barranqueras al principio, para terminar engrosando los grandes ríos.

2. La que empaparé roca y suelo y terminará discurriendo bajo él, bien de forma superficial, dentro de la zona de alteración, bien a más profundidad, a través de alguna gran fractura.

3. Y la que volará a la atmósfera, de donde cayó, producto de una evaporación térmica o transpirada a través de la escasa vegetación de Sierra Nevada.

Si en vez del aguacero, nevió abundantemente, el ciclo quedará paralizado hasta el deshielo, que en la Sierra se producirá, de forma generalizada, en los meses de Mayo-Junio. Durante el período de "hibernación" se habrá perdido parte de la nieve en los días soleados, al producirse fenómenos como la sublimación (paso de nieve o hielo a vapor de agua) o la fusión-evaporación. Si los días soleados son continuados, una parte del agua de fusión alimentará y dará vida a recién creados regatos y arroyuelos.

El agua corre entre los chopos amarillos del otoño: agua, color y luz se combinan, juegan y luchan buscando cada cual imponerse a los demás.



Rio Genil a su paso por el Puente de los Vados.

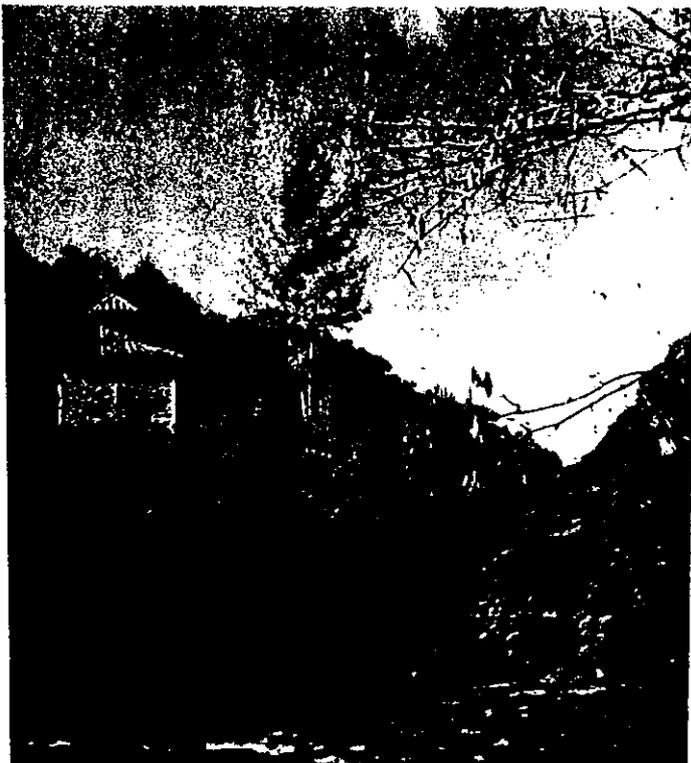


La escorrentía superficial generada por las lluvias, o por la fusión de las nieves, se canalizará rápidamente, favorecida por las grandes pendientes, a través de la compleja red de barranqueras, arroyos y torrentes, hasta llegar a los ríos principales.

Durante todo el recorrido, el ciclo del agua seguirá actuando, produciendo la evaporación e infiltración de una pequeña parte de la misma. Pero será al llegar a las partes bajas del macizo, donde los materiales dolomíticos y calizo-dolomíticos permeables, cuyos afloramientos cortan transversalmente, durante varios kilómetros, el curso de los ríos: Torrente, Dúrcal, Dílar, Monachil y Aguas Blancas, producirán una infiltración importante, que irá a alimentar el embalse subterráneo existente bajo ellos. El agua, así embalsada, sufrirá un cambio brutal: oscuridad absoluta y circulación lenta y silenciosa. Volverá a ver la luz en los manantiales de Padul, o al incorporarse a algunos ríos en sus tramos más bajos.

La que no se infiltró al pasar por los materiales dolomíticos, tendrá otra oportunidad

El Charcón, construido por el Duque de San Pedro y hoy en ruinas.



Cuenca del río Lanjarón.

en su caminar hacia el mar, al atravesar los materiales detríticos permeables de las depresiones del borde, pero la mayor parte escapará superficialmente, canalizada ya por grandes ríos y ramblas, como el Guadiana Menor, Genil, Guadalfeo, Adra o Andarax.

Otras aventuras vendrán a sumarse en su recorrido por estos ríos. Unas aguas quedarán atrapadas, o retenidas, al fin, por algún embalse de superficie (Iznájar, Béznar, Benínar...) y otras se perderán definitivamente en el mar. De llegar a algún mar, éste será el Mediterráneo, ya que el viaje hacia el Atlántico, canalizado por los ríos Guadiana Menor y Genil, y, en última instancia, por el Guadalquivir, se verá obstaculizado por numerosas presas, que, afortunadamente, retendrán el preciado líquido.

Otra suerte muy distinta podrán correr las aguas caídas en la vertiente mediterránea, cuyo camino hacia el mar será corto y abrupto, y las posibilidades de retención humana muy limitadas. Lo normal será que las aguas alcancen el mar, sobre todo las

caídas en las cuencas de los ríos Lanjarón, Chico, Mulhacén-Poqueira, Trevélez, Bérchules y Andarax, que no encontrarán ninguna obra de retención. Una última posibilidad de frustración, en su camino hacia el mar, la encontrarán al discurrir sobre los materiales detríticos permeables de las vegas de Motril-Salobreña, Adra y Andarax, donde podrán infiltrarse o ser derivadas por acequias y canales para riego. Pero fatalmente, un resto importante se perderá definitivamente en el mar, cerrando así un ciclo que se irá repitiendo hasta el fin del mundo.

3. La situación geoeconómica que la haga lo más rentable posible.

Si el sistema es hidrogeológico (existencia de rocas permeables), importará también mucho la cantidad de agua que haya almacenada por debajo del nivel de sus aliviaderos naturales (reservas), a fin de planificar racionalmente su explotación interanual.

*Pantaneta de Albuñán,
en el Marquesado.*



VI. RECURSOS

La importancia de un sistema hídrico se reconoce por tres factores fundamentales, como son:

1. La cantidad de agua que puede proporcionar al año (recursos).

2. La calidad de la misma para los diversos usos.

Una vez hecha esta pequeña introducción, es el momento de abordar el tema, poco conocido, de los recursos hídricos de Sierra Nevada, para analizar después la calidad de sus aguas.

Los recursos de cualquier sistema provienen, casi siempre, de la cantidad de agua de lluvia, no evaporada (lluvia útil), caída directamente sobre su superficie.

Sierra Nevada posee una precipitación media muy superior a la del entorno en que se halla ubicada, y una considerable superficie, que la sitúa a la cabeza, en cuanto a recursos hídricos, dentro de los sistemas de Andalucía.

Si a estos unimos la excelente calidad de las aguas, y su buena situación geoeconómica, "a caballo" entre las vegas de Granada y Guadix, y los invernaderos de frutos y cultivos extratempranos de parte de la Costa del Sol, no será aventurado asegurar que es, posiblemente, el sistema hídrico más importante de Andalucía.

Los recursos de Sierra Nevada se han estimado en base a los caudales específicos medios (caudal en litros/segundo que suministra una cuenca por km² de superficie), medidos para cada una de las grandes cuencas hidrográficas en las que se ha dividido.

Los caudales, publicados por la Dirección General de Obras Hidráulicas, se han obtenido a partir de los aforos realizados en los ríos de Sierra Nevada.

Atendiendo a este sistema de evaluación de los recursos, válido para macizos con escasa escorrentía subterránea, se puede decir que la cuenca del río Guadalfeo, con sus 309 Hm³/año, es la más rica. A ella le siguen en orden de importancia las de los ríos: Genil (202 Hm³/año), Guadiana Menor (80 Hm³/año), Adra (28 Hm³/año), y Andarax (14 Hm³/año). Otro tema muy diferente será conocer qué tanto por ciento de estos recursos se está regulando y aprovechando en la actualidad.

En un estudio hidrogeológico clásico, los recursos podrían haberse denominado "en-

Sierra Nevada es el mejor embalse de Granada y su entorno.



tradas". Por definición, las "érradas" de agua de un sistema corresponden a los recursos del mismo, y, generalmente, se calculan en base a la precipitación media del macizo, descontada la evapotranspiración (pérdida de agua a la atmósfera). Pero este sistema de evaluación, válido para todo tipo de sistemas perfectamente individualizados, no ha podido utilizarse con garantía en Sierra Nevada. Primero, por el desconocimiento de la precipitación media, al carecer de una adecuada distribución de estaciones pluviométricas por altitud, además de por la poca fiabilidad de los datos aportados por los pluviómetros totalizadores, que se hallan situados a cotas superiores a los 2.000 m.; y en segundo lugar, por la ausencia, casi total, de estaciones termométricas, que permitan calcular las evapotranspiraciones.

No se sabe con certeza qué precipitaciones se están produciendo en Sierra Nevada por encima de los 2.000 m. Esto se ha puesto de manifiesto en los diversos ensayos de confección de mapas de isoyetas realizados (líneas de igual precipitación en litros por metro cuadrado), en los que nunca se ha llegado a la convergencia de dichas líneas, según diversas interpretaciones. A título informativo ofrezco los siguientes datos: en los Planes Hidrológicos la isoyeta más alta llega a ser de 2.500 litros por metro cuadrado, reflejando una interpretación literal de los valores aportados por los pluviómetros totalizadores de las cumbres del Veleta y Mulhacén. La interpretación media dada por Rodríguez (1981), valora la isoyeta más alta en 1.600 litros por metro cuadrado, mientras que la interpretación más conservadora se recoge en el Mapa Hidrológico de Andalucía (1982), cuya isoyeta superior alcanza 1.200 litros por metro cuadrado.

El estudio pluviométrico que he realizado, y puede observarse sintetizado en el mapa de isoyetas, junto a la tabla de precipitaciones y estaciones, en la fig. 2, refleja una interpretación muy parecida a la anterior. Esto no quiere decir que sea la más correcta, sino que debe considerarse como una más, a la espera de disponer de una mayor dotación de estaciones, en cotas superiores a

los 2.000 m., y en la mitad oriental del macizo, a la vez que se asegure una mayor fiabilidad para las mismas.

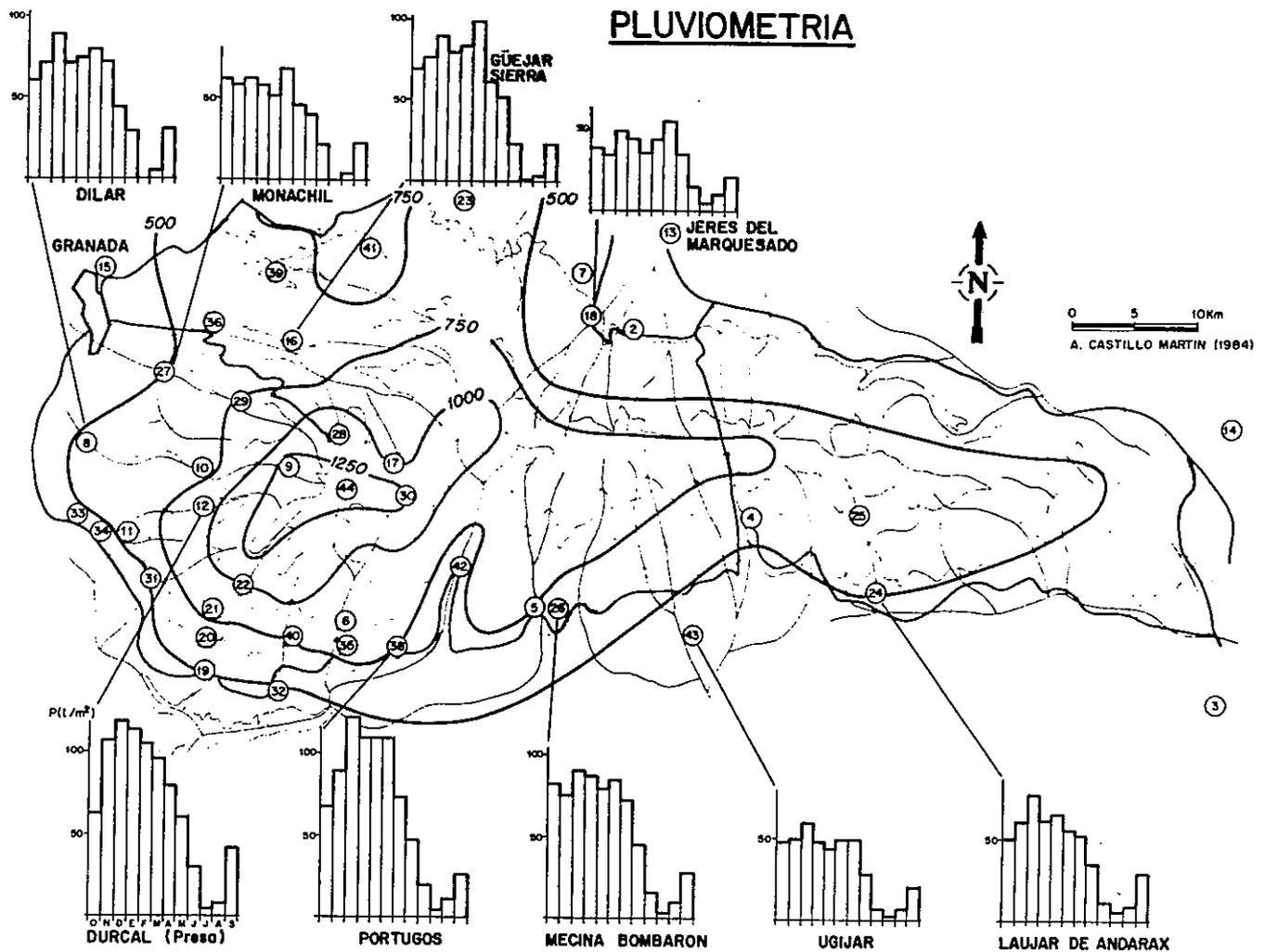
Mucho podría hablarse de la climatología de Sierra Nevada, pero tratándose de un estudio general del agua, sólo estaba justificado dar una ligera pincelada al tema de las precipitaciones. En la relación bibliográfica se citan algunos trabajos relacionados con este tema.

VII. SALIDAS

Prácticamente toda el agua que cae sobre la Sierra sale superficialmente, canalizada a través de sus principales ríos, dentro del mismo año, con la excepción de las aguas subterráneas, cuyo ciclo de circulación es interanual.

El cansado caminante, que dejó atrás el Guarnón y la Mina de la Justicia, cuando menos lo espera, se encuentra sorprendido con esta cascada.





De forma sistemática, la Dirección General de Obras Hidráulicas viene publicando, por años hidrológicos, los datos de aforo de la Red Oficial que posee el Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo (M.O.P.U.).

A partir de estos "anuarios de aforo" he confeccionado los gráficos de la figura 3. Observando dicha figura, se verá que se ha dividido Sierra Nevada según las distintas cuencas hidrográficas que se disputan sus aguas, las cuales corresponden a las de los ríos más importantes. Los gráficos que rodean el mapa, o hidrogramas, no son más que la representación del caudal medio (ordenadas), por meses (absisas), que circula por cada uno de ellos a la altura de una estación de aforo determinada.

El examen de los hidrogramas ofrece una información valiosa sobre el régimen de descarga de los ríos. Así se observa que existen grandes variaciones de caudal a escala mensual (también anual), propias de ríos de cabecera, con régimen torrencial. Es también notorio el perfil que estos gráficos presentan, dando los "picos" en los meses de Mayo-Junio, comportamiento propio de ríos con régimen marcadamente nival. En ellos el máximo caudal se da en el ciclo del deshielo, no en los meses de mayor pluviosidad, generalmente el mes de Diciembre.

Se sale fuera de esta clasificación el río Nacimiento (provincia de Almería), que no es torrencial a escala interanual (aunque puede

dría poner, es su escasa mineralización, menos de 300 mg/l. de sales disueltas, lo que las convierte prácticamente en "destiladas". Concentraciones salinas algo superiores, entre 500 y 750 mg./l. realizarían su calidad, tanto para el uso agrícola, como para el de consumo humano.

De todos es conocido el fenómeno de las aguas de Alta Montaña: no apagan la sed más bien parecen aumentarla. Esto se debe al escaso contenido en sales minerales que éstas poseen. Los iones dominantes son los bicarbonatos y el calcio.

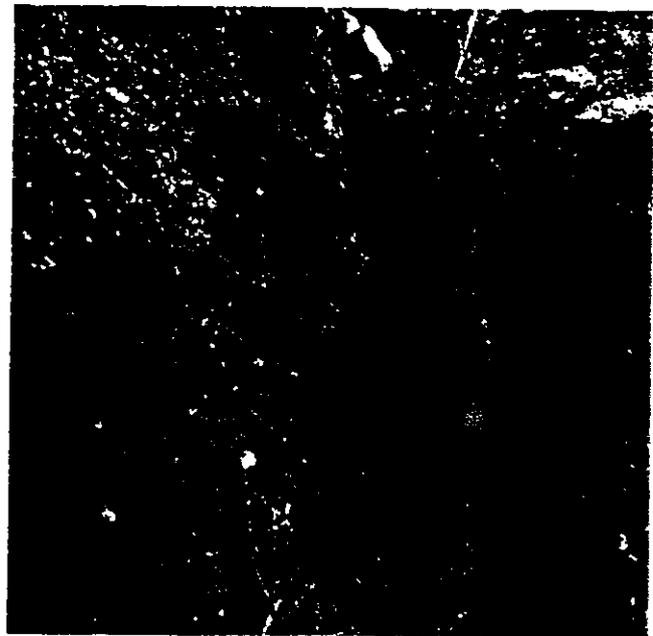
La naturaleza de las rocas dominantes: los micasquistos, que son muy poco solubles, las bajas temperaturas de las aguas, que no favorecen los procesos de disolución, y el rápido drenaje de las mismas, provenientes de Sierra Nevada, manteniendo poco tiempo en contacto roca y agua, son los principales factores responsables de la escasa mineralización de las aguas.

Algunas de estas aguas de escasa mineralización que llevan los principales ríos, pasan a infiltrarse, aguas abajo, en las dolomías "periféricas" de la unidad Alpujárride, que, por ser rocas bastante solubles, dan a las mismas un mayor contenido salino, aumentando considerablemente las concentraciones de bicarbonatos, sulfatos, calcio y magnesio. Un ejemplo de este tipo de aguas son las que manan en el borde norte de la depresión de Padul.

Las aguas que a partir de los ríos se infiltran más abajo, en los materiales detríticos permeables de las distintas "terrazas", vegas y deltas, ya comentadas, como las de Guadix, Granada, Adra, Motril-Salobreña..., pierden su identidad poco salina, al mezclarse con otras aguas más salinas que estas vegas poseen. También el mayor tiempo de contacto agua-roca y las temperaturas más elevadas de las mismas, favorecerían los procesos de disolución. Terminan, en muchos casos, manchando su inmaculada calidad los aportes contaminantes, propios de la "civilización" con la que las aguas de montaña acaban de ponerse en contacto, como son los desechos urbanos e industriales de

ciudades y pueblos y los fertilizantes utilizados en la agricultura.

Queda por citar una familia de aguas muy característica de Sierra Nevada, de escaso interés en cuanto a sus caudales, pero de gran importancia por sus calidades, son las aguas minero-medicinales y termales. Me refiero especialmente a todas aquellas aguas de manantiales, fuentes, nacimientos, etc., que surgen por doquier en las partes, generalmente, bajas de la Sierra. Responden a un ciclo del agua muy particular, como es el de circulaciones de tipo superficial, ligadas al tramo meteorizado y alterado de las rocas metamórficas que componen la uni-



El agua al pasar por terrenos sulfurosos y óxidos de hierro, brota de la tierra con color de sangre.

dad Nevado-filábride, y, en algunos casos, más profundas, a través de las fracturas que dichas rocas poseen.

Estas aguas tienen una variabilidad fisico-química, y térmica, extraordinaria. Es muy frecuente que aguas que manan a escasa distancia posean características fisico-químicas muy diferentes, fruto de los distintos caminos recorridos hasta su salida (puede observarse este fenómeno en el Chorrerón de Portugos, o en Ferreirola). Son más salinas que



las de esorrentía superficial, y su temperatura más alta. En muchos casos se caracterizan por su alto contenido en hierro, o por su sabor algo "picante", debido a los gases que llevan en disolución (fuente agrilla, las llaman en los pueblos).

Como dato curioso y botón de muestra de estas aguas recorro al trabajo del Dr. Fernández Rubio (1981), donde se realiza un estudio de las calidades de 41 manantiales (análisis del IGME, 1968) del entorno de Llanja-rón, a partir del cual distingue tres clases de aguas:

a) Aguas poco mineralizadas (menos de 500 mg/litro) y de facies bicarbonatada o, más raramente, sulfatada, fundamentalmente cálcica.

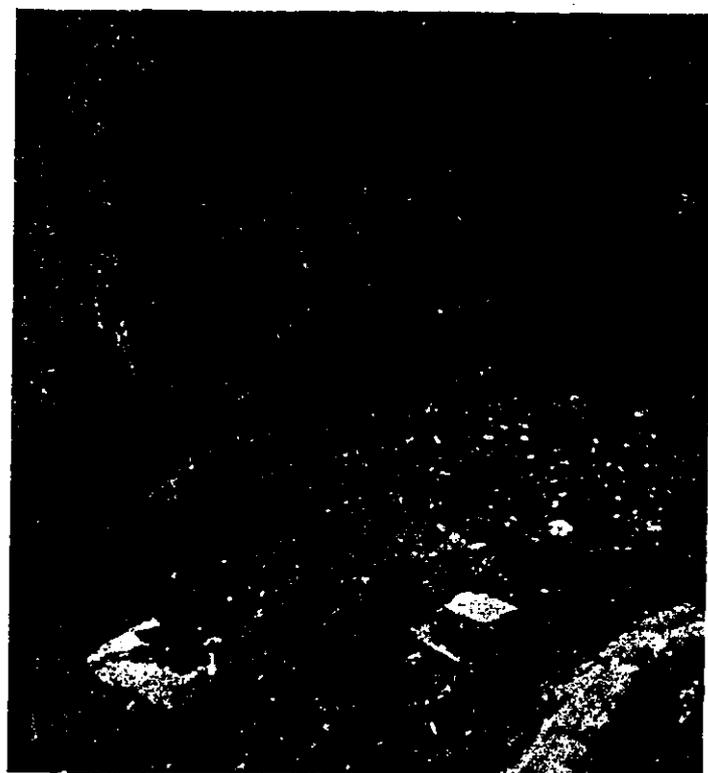
b) Aguas con mineralización entre 500 y 1.100 mg/litro y facies bicarbonatada o clorurada.

c) Aguas altamente mineralizadas (de 1.100 a 19.000 mg/litro) y facies clorurada sódica.

Entre los elementos minoritarios destacan los altos contenidos en sílice, litio, estroncio, bario, hierro, manganeso, aluminio y plomo (en algunos casos).

En cuanto a las temperaturas de salida, en el mismo trabajo se distinguen tres tipos de aguas:

a) Aguas que surgen aproximadamente con la temperatura que les corresponde, de



Aguas altamente mineralizadas, en el Chorrerón de Pórtugos. Detalle del Chorrerón. Las aguas, por las fracturas de las rocas, decantan el hierro y los minerales disueltos. Las paredes y suelo parecen heridas recién abiertas, el agua rojiza (ferruginosa) con un sabor fuerte y agrio, rezuma, entre las hierbas.

acuerdo con su altitud. Proceden de escorrentías más o menos superficiales.

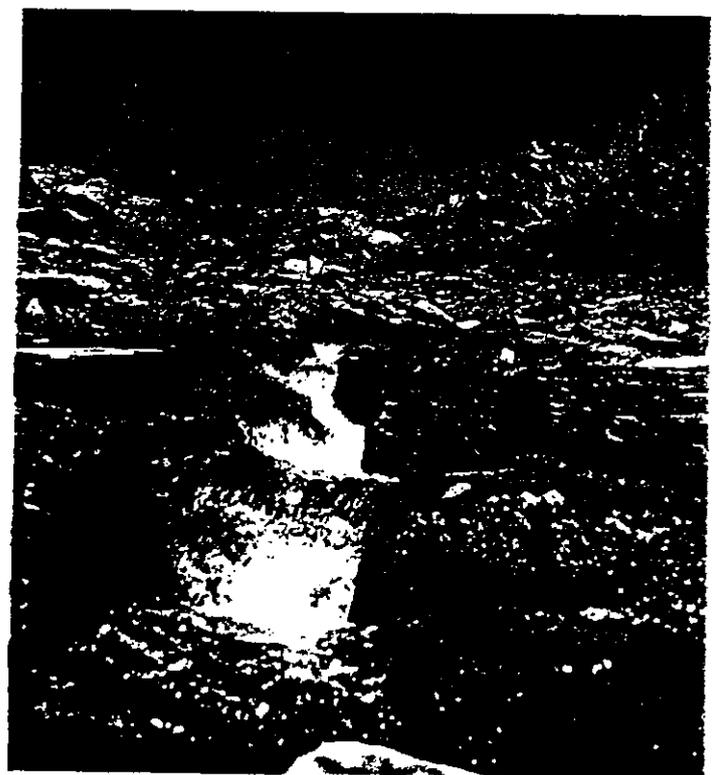
b) Aguas cuya temperatura supera ligeramente la media ambiental. Son termales de baja entalpía y proceden de circulaciones a través de fracturas que alcanzan cierta profundidad.

c) Aguas con temperatura de emergencia netamente termal (superior a $3,55^{\circ}\text{C}$ respecto a la media ambiental). Son termales de media entalpía, para ellas hay que invocar un origen profundo, en relación con algún contacto estructural.

El estudio de estas aguas es apasionante por sus especiales características hidrogeológicas y por sus aplicaciones minero-medicinales, y, en algunos casos, termales, por lo que existe una relativa abundancia de trabajos de investigación sobre las mismas. A ellos remito al lector interesado en el tema. Algunas citas las encontrará en el apéndice bibliográfico de este trabajo.

Sería muy prolija la cita de todas las aguas de este tipo presentes en Sierra Nevada, de las que existen más de 200 manantiales de interés. A continuación expongo una relación limitada, y a título puramente ilustrativo, de las poblaciones en que se encuentran: Lanjarón, Dúrcal, Ferreirola, Monachil, Válor, Aldeire, Los Bérchules, La Calahorra, Cáñar, Cástaras, Ferreira, Güejar Sierra, Huéneja, Mairena, Mecina Bombarrón, Mecina Fondales, Narila, Pitres, Portugos, Trevélez y Yegen.

No todo el agua que cae en Sierra de Nieve, corre después por sus arroyos, o ríos, gran parte se infiltra a través de los terrenos permeables y va a rellenar las cubetas que rodean la Sierra.



BIBLIOGRAFIA

Aguas superficiales y subterráneas en Sierra Nevada

Son muchos los trabajos de investigación relacionados, más o menos directamente, con el agua de Sierra Nevada. Doy a continuación una relación bibliográfica de algunos de ellos, relacionados especialmente con la hidrología, hidrogeología y climatología.

- ALMAGRO SANMARTIN, J. 1932, *Torrentes y pantanos en Sierra Nevada*. Madrid.
- BURGEAP. 1972, *Les problèmes de l'eau dans l'exploitation de la carrière du Marquesado. Perspectives apres les premières reconnaissances effectuées*. CAMSA (inédito).
- CAPEL MOLINA, J. 1979, *El clima de Almería*. Caja Rural Provincial de Almería.
- CARANDEL PERICAY, J. 1925. *Las grandes reservas hidráulicas de la Alpujarra (Sierra Nevada)*. Revista Ibérica n.º 574.
- CASAS RIPOLL, D. y FERNANDEZ-RUBIO, R. 1975. *Consideraciones hidrogeológicas sobre el alto Valle de Lecrín (Granada)*. V. Jorn. Min. Metalúr. III: 163-192. Bilbao.
- CASTILLO REQUENA, J. M. 1981. *Mecanismos de la precipitación en Sierra Nevada*. Cuadernos Geográficos n.º 11.
- CASTILLO MARTIN, A. 1982. *Estudio hidroquímico de la depresión del Padul*. Tesis de Licenciatura (inédita). Univ. Granada.
- CONFEDERACION HIDROGRAFICA DEL GUADALQUIVIR e INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL 1982. Mapa Hidráulico de Andalucía, a escala 1:400.000.
- CRUZ-SANJULIAN, J.; GARCIA ROSSELL, L. y GRANDA, J. M. 1979. *Nuevos datos sobre las aguas termales de la provincia de Granada*. II Simp. Nac. Hidrogeol. T. V. Pamplona.
- DIRECCION GENERAL DE OBRAS HIDRAULICAS. 1976. *Anuario de aforos de la cuenca del Sur de España. Hidrología de la Cuenca del Guadalquivir*.
- FABREGAS, J. 1978. *Estudio hidrogeológico de la cuenca baja del río Lanjarón (Granada)*. Trabajo monográfico (inédito). Departamento de Hidrología. Univ. Granada.
- FAO/IGME. 1972. *Proyecto piloto de utilización de aguas subterráneas para el desarrollo de la cuenca del Guadalquivir. Plan de utilización de aguas subterráneas para el desarrollo agrícola de la zona de Guadix*. Inf. Técnico n.º 3. Madrid.
- *Utilización de las aguas subterráneas para la mejora del regadío en la vega de Granada*. Inf. Técnico n.º 2. Madrid.
- FERNANDEZ-RUBIO, R.; DELGADO RODRIGUEZ, M. y RAMOS ONTIVEROS, J. M. 1974. *Investigación de aguas minero-medicinales en la provincia de Granada*. Agua 82. Barcelona.
- FERNANDEZ-RUBIO, R. 1975. *Identificación de hidrotermalismo y aplicación a la zona meridional de la provincia de Granada*. Tecniterrae. 7. Madrid.
- 1981. *Investigación hidrogeológica del sector de Lanjarón (Granada)*. (inédito). Departamento de Hidrogeología. Univ. Granada.

- FERNANDEZ-RUBIO, R. y PULIDO-BOSCH, A. 1978. *Problemas hidrogeológicos que afectan a la explotación de la turbera de Padul (Granada, España)*. SIAMOS. Vol. 1. Granada.
- FRONTANA, J. 1979. *Régimen pluviométrico de la costa mediterránea andaluza 1946-1975*. Cuadernos Geográficos n.º 9.
- GARCIA ROSSELL, L. y VEGA DE PEDRO, R. 1980. *Caracterización e índices paramétricos de la red de drenaje de Sierra Nevada*. Tecniterrae 33. Madrid.
- GOICOECHEA, M. 1981. *Aproximación al estudio de la influencia del clima en la erosión. El caso de la Alpujarra alta granadina*. Cuadernos Geográficos n.º 11.
- GONZALEZ TAPIA, J. A. 1981. *Investigaciones hidrogeológicas en la rambla de Lanteira (Granada)*. Trabajo monográfico (inédito). Departamento de Hidrogeología. Univ. Granada.
- INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA. 1970. Mapa geológico a escala 1:200.000 y memoria de la hoja de Granada-Málaga.
- 1970. Mapa geológico a escala 1:200.000 y memoria de la hoja de Almería.
- LOPEZ DE AZCONA, J. M. y FERNANDEZ-RUBIO, R. 1980. *Consideraciones sobre los manantiales minero-medicinales de Lanjarón*. An. Real Acad. Farmacia 2. Madrid.
- MARTIN VIVALDI, M. E. 1980. *Paisaje físico y morfológico del valle del río Monachil (Sierra Nevada)*. Cuadernos geográficos, n.º 10.
- MEDINA SALCEDO, F. 1975. *Contribución al estudio hidrogeológico del Marquesado del Zenete (Granada)*. Tesis de Licenciatura (inédito). Univ. Granada.
- MEDINA, F.; FERNANDEZ-RUBIO, R. y GORDILLO, A. 1978. *Hidrogéologie de la plaine du Marquesado et influence de son drainage meridional (Depression de Guadix-Baza, Espagne)*.
- MESSERLI, B. 1965. *Beitrag zur Geomorphologie der Sierra Nevada (Andalusien)*. Zurich.
- MORELL EVANGELISTA, I. 1977. *Estudio hidrogeológico del curso medio del río Guadalfeo (Granada)*. Tesis de Licenciatura (inédito). Univ. Granada.
- PASCUAL MARTINEZ, A. 1975. *Estudio hidrogeológico de las cuencas medias de los ríos Monachil y Dílar (Granada)*. Tesis de Licenciatura (inédita). Univ. Granada.
- PEZZI, M. y GARCIA ROSSELL, L. 1978. *Análisis del medio físico de Sierra Nevada: ordenación de sus recursos y clasificación de unidades paisajísticas*. Cuadernos Geográficos, n.º 8.
- PEZZI, M. MARTIN VIVALDI, M. E. y CON MARTIN, J. J. 1981. *La red hidrográfica de Sierra Nevada (Granada): relación con las pendientes, análisis cuantitativo, determinación de caudales y regímenes*. Cuadernos Geográficos, n.º 11.
- PULIDO-BOSH, A. 1979. *Aportación al conocimiento de la hidrogeología de los Alpujárrides y sus bordes en el extremo occidental de Sierra Nevada*. Memoria (inédita). Beca March.
- RAMOS ONTIVEROS, J. M. 1974. *Aguas mineromedicinales de Lanjarón*. Not. Hidrogeol. 4. Granada.
- RODRIGUEZ MARTINEZ, F.; FRONTANA, J. y GOICOECHEA, M. 1981. *Evolución y estado actual de los estudios climáticos en Sierra Nevada*. VII Coloquio Nacional de Geografía. Vol. 5. Ponencia climas de montaña. Pamplona.
- RODRIGUEZ MARTINEZ, F. (en curso). *El clima de Sierra Nevada*. Cuadernos Geográficos, n.º 12.
- RODRIGUEZ GORDILLO, J.; VELILLA SANCHEZ, N. y FERNANDEZ-RUBIO, R. 1981. *Hidroquímica y termalismo de las aguas de Lanjarón (Granada)*. Simp. Agua Andalucía-Granada.
- ROPERO, M. L. 1981. *Calidad de las aguas corrientes de Sierra Nevada (Granada)*. Tesis de Licenciatura (inédita). Univ. Granada.
- SANS DE GALDEANO, J. M. 1981. *Estudio hidrogeológico de la cuenca del río Beas*. Trabajo monográfico (inédito). Departamento de Hidrogeología. Univ. Granada.
- VELILLA, N. 1976. *Estudio hidrogeológico de la cuenca del río Aguas Blancas (Granada)*. Tesis de Licenciatura (inédita). Univ. Granada.
- YAGUE BALLESTER, A. 1975. *Estudio hidrogeológico de la cuenca media de la cabecera del río Genil (Granada)*. Tesis de Licenciatura (inédita). Univ. Granada.