

# PARQUE NACIONAL DE SIERRA NEVADA

## CLIMA E HIDROLOGIA

**Antonio Castillo Martín**

*Hidrogeólogo. Investigador del C.S.I.C. Instituto del Agua (Universidad de Granada)*

Como ya es conocido, el Parque Nacional ocupa la alta montaña del macizo de Sierra Nevada, generalmente por encima de los 1.500 m de altitud. A esas alturas no existen prácticamente núcleos habitados y el acceso en los meses invernales se ve muy dificultado por la nieve. Ello viene a cuento de señalar que son muy escasas las estaciones de medida climatológica e hidrológica situadas en el interior del Parque, lo que dificulta, como es lógico, la caracterización del clima y la hidrología de la que podríamos denominar “alta Sierra Nevada” o “Zona central del macizo” (Parque Nacional).

Mejor conocida es la media y baja montaña de Sierra Nevada, ya dentro de los límites, sobre todo, del actual Parque Natural (alrededor del Nacional); ello se debe a que entre las cotas 900 a 1.200 se localizan la mayor parte de las estaciones meteorológicas y de afloramientos de ríos. En cualquier caso, la densidad de información es todavía insuficiente, debido a que Sierra Nevada, como todas las altas montañas, presenta importantes contrastes orográficos, que condicionan a escala local la climatología y, consecuentemente, también la hidrología. Una vez expuestas estas salvedades, se presenta a continuación un esbozo del clima y la hidrología del Parque Nacional, para el que son suficientes los conocimientos disponibles hasta el momento. La climatología de Sierra Nevada ha sido tratada, entre otros, por Castillo Requena (1981) y Rodríguez Martínez et al. (1981). Sobre la hidrología del macizo pueden consultarse los trabajos de Castillo (1985 y 1993) y de Castillo et al. (1996a).

### CLIMA

El Parque Nacional de Sierra Nevada se sitúa en una región de clima eminentemente mediterráneo, si bien su condición de alta montaña le confiere también características propias de un clima continental frío. La temperatura media anual puede estimarse en alrededor de la media docena de grados, con fuertes oscilaciones térmicas, día-noche, y mínimos invernales, en ocasiones, por debajo de los 35 grados bajo cero. Las precipitaciones medias son del orden de 800 mm, de las que el 75 % lo son en forma de nieve por encima de los 2.000 m de cota. Los estiajes, no obstante, se pueden considerar largos, secos y cálidos.

En cualquier caso, y como se apuntaba anteriormente, existe una importante variabilidad espacial, principalmente impuesta por la alineación Oeste-Este del macizo y la disposición transversal de muchos de sus valles. El Parque Nacional abarca dos grandes vertientes, la Norte o atlántica y la Sur o mediterránea, separadas por la línea de crestería del macizo. Estas vertientes presentan una clara diferenciación climática, manifestada en multitud de evidencias hidrológicas, botánicas y faunísticas, y también en las formas heredadas del

modelado glaciario; la vertiente Norte es más fría, con menos horas de insolación, lo que influye en los procesos de invasión y deshielo. Durante los episodios glaciares cuaternarios ello afectó muy directamente al modelado de ambas vertientes, abrupto para la cara Norte y suave para la Sur, así como a la generación de formas y depósitos glaciares; todo ello influye decisivamente en el comportamiento hídrico de la alta montaña de Sierra Nevada. De este modo, la vertiente Norte siempre se ha identificado con la Sierra Nevada más típica o genuina, recibiendo la Sur la denominación genérica de La Alpujarra, aunque ambas conforman, como es de sobra conocido, el macizo de Sierra Nevada.

Sin embargo, en la distribución de la precipitación, ambas vertientes no tienen una influencia tan decisiva; en este caso, el control lo ejerce fundamentalmente la alineación Oeste-Este del macizo, coincidente con la dirección de los frentes de precipitación atlánticos (los más frecuentes en el área); debido a ello, los valles occidentales (Oeste) son los más húmedos y los más secos los orientales, muy próximos a las depresiones almerienses, dominadas ya por climas semiáridos (p.e. Desierto de Tabernas). También se ha barajado aquí la diferenciación de otras dos sierras nevadas, la occidental (hasta el meridiano del Picón de Jérez aproximadamente), generalmente cubierta de nieve (unos cuatro meses al año) y la oriental, de menor altitud y con nevadas menos persistentes. Este comportamiento doblemente dual del macizo en dos vertientes, la Norte (fría) y la Sur ("cálida"), y dos mitades, la occidental (húmeda) y la oriental ("seca") influye en la percepción que el viajero se lleva de esta Sierra, identificando preferentemente a Sierra Nevada con la vertiente Norte en su terminación occidental (cuencas de los ríos Dílar, Monachil y Genil); coincide, además, que esa es la zona visible desde la ciudad de Granada y la de acceso más rápido y fácil hacia las altas cumbres, fundamentalmente a través de la Carretera del Veleta (estación de esquí de Solynieve), considerada como la más alta de Europa.

## **Precipitaciones**

El Parque Nacional de Sierra Nevada posee unas precipitaciones difíciles de caracterizar aún, debido al déficit de pluviómetros adecuados en su zona de alta montaña; los totalizadores, escasos, funcionan mal en ese dominio, en el que, como se ha comentado, la mayor parte de la precipitación se produce en forma de nieve, y donde son frecuentes las ventiscas y tormentas de nieve. No existen nivómetros, entre otras razones, por la escasez de emplazamientos idóneos que permitan su mantenimiento y control. Ahora empiezan a disponerse de algunos datos fiables en la cuenca alta del Monachil (2.200-2.800 m), en la estación de esquí de Solynieve. Otra cuestión es la representatividad espacial de las observaciones, en un Parque con más de 60 km de línea de cumbres, con alineación Oeste-Este y numerosos valles transversales; además, a esta variabilidad espacial habría que añadir la temporal, característica de los mecanismos de precipitación de tipo mediterráneo, que también tienen su impronta en Sierra Nevada, sobre todo en su vertiente Sur.

A raíz de un amplio trabajo de recopilación pluviométrica, con la disponibilidad final de 44 pluviómetros con series de más de 20 años de registro (Castillo, 1985) se elaboró el mapa de isoyetas (líneas de igual precipitación) que se acompaña (figura x), en el que aparecen superpuestos los límites aproximados del actual Parque Nacional; para la zona de alta montaña se utilizaron los datos corregidos de los totalizadores existentes, junto con criterios de extrapolación basados en los gradientes pluviométricos más razonables para cada sector, superiores a 70 mm/100 m en el occidental y del orden de 40 mm en el oriental.

Las máximas precipitaciones medias anuales, algo superiores a los 1.000 mm, se producen en las cabeceras de las cuencas comprendidas entre los picos de El Caballo (3.013 m) y La Alcazaba (3.366 m). Especialmente expuestos a los frentes atlánticos (del Oeste) están

los valles de los ríos Lanjarón, Dúrcal, Torrente, Dílar, Monachil y Genil. Por el contrario, las precipitaciones más bajas, el orden de 450 mm, se producen en el extremo oriental del Parque, a cota próxima a los 1.000 m. Por lo que respecta a la distribución intra-anual, y con las lógicas salvedades de representatividad espacio-temporal ya señaladas, los meses de mayor pluviometría son los de Diciembre (sobre todo en la vertiente Sur) y Marzo, seguidos, con cantidades de precipitación muy similares, por los de Noviembre, Febrero y Enero. Por el contrario, el mes más seco es Julio, seguido por Agosto.

Las precipitaciones se producen mayoritariamente en forma sólida, si bien el porcentaje varía también, a igualdad de altitud, de unas vertientes y valles a otros. En la fachada occidental del Parque, más del 75 % de la precipitación se produce en forma de nieve por encima de los 2.000 m de altitud, porcentaje que decrece hacia el Este. Por encima de los 2.200 m de altitud en la fachada occidental del Parque, la persistencia de un manto prácticamente continuo de nieve es del orden de cuatro meses (de Diciembre a Marzo), persistencia que se va haciendo más efímera nuevamente hacia el Este. La existencia de nieves perpetuas en Sierra Nevada es ya historia, en contraste con las descripciones que se conservan de los naturalistas del siglo XIX, que incluso reconocían la existencia de un pequeño glaciar en el Corral del Veleta, a cota 3.100-3.200 (el que calificaron como el más meridional de Europa); actualmente sólo se llegan a conservar pequeños neveros fini-estivales en la pared Norte de La Alcazaba, El Mulhacén y, sobre todo, El Veleta (Corral del Veleta). Muy probablemente, todo ello tenga que ver con un cambio climático, demasiado acelerado para ser natural, que se está dejando notar en glaciares y neveros de todo el mundo.

Las cantidades de agua interceptadas o condensadas por el terreno y la vegetación en el Parque Nacional deben ser importantes, sobre todo desde el punto de vista cualitativo (vegetación), pero no están medidas, ya que escapan al control de los pluviómetros convencionales; son muchos los días en los que las nubes entran en contacto con el terreno (nieblas), especialmente en la vertiente Sur. Por otra parte, las fuertes y rápidas oscilaciones térmicas provocan procesos de condensación no menos importantes. Este tipo de aportaciones ("ocultas") fueron invocadas por algunos ilustres botánicos del pasado para explicar la pervivencia de bosques caducifolios de altas exigencias hídricas, mayores que las conocidas para sus enclaves de Sierra Nevada.

## **HIDROLOGIA**

La hidrología (superficial y subterránea) del Parque Nacional está directamente condicionada por las variables que controlan la innivación y el deshielo, así como con el comportamiento hidrogeológico de los materiales aflorantes. En este último aspecto, el Parque Nacional presenta una relativa homogeneidad, ya que la mayor parte de su superficie se asienta sobre micasquitos (pizarras, lastras, en el argot local); estos materiales metamórficos, de edad paleozoica, pertenecen, desde el punto de vista geológico, al Complejo Nevado-filábride (Zona Interna de las Cordilleras Béticas); se trata de materiales poco permeables, si bien en la parte alta de Sierra Nevada presentan tal grado de alteración que posibilitan la infiltración de las aguas de deshielo y escorrentía. Alrededor de estos materiales, y aflorando a cotas más bajas, hay una potente serie de dolomías y calizo-dolomías, generalmente muy fracturadas, de edad triásica; pertenecen, en este caso, al Complejo Alpujárride, situado sobre el anterior, pero desmantelado por erosión de las partes más altas del macizo; estos materiales aparecen solamente en el borde occidental del Parque Nacional, en la media y baja montaña de Dúrcal, Dílar y Monachil; se trata de materiales permeables, en los que la escorrentía superficial es poco frecuente. La geología del Parque puede consultarse en los principales mapas geológicos a escala 1:50.000 que cubren dicho espacio: Güéjar-Sierra (IGME, 1979), Lanjarón (IGME, 1980) y Aldeire (IGME, 1981). Para la hidrología general pueden consultarse

los trabajos de Castillo (1985 y 1993) y de Castillo et al. (1996a). La hidrogeología de los materiales alpujarrides es tratada en Diputación e ITGE (1990) y Pulido (1980).

## **Aguas superficiales**

La morfología alargada del macizo de Sierra Nevada, en sentido Este-Oeste, permite repartir sus aguas entre dos grandes vertientes hidrográficas: la Norte, que drena al río Guadalquivir, con desembocadura en el Océano Atlántico (Cuenca Hidrográfica del Guadalquivir), y la Sur, que es drenada por varios cursos independientes hacia el Mar Mediterráneo (Cuenca Hidrográfica del Sur de España).

La vertiente mediterránea (la Sur) es la más extensa, y está drenada por tres grandes cuencas, que son las del Guadalfeo, Adra y Andarax. La del Guadalfeo está integrada, entre otros, por los ríos Dúrcal, Torrente, Lanjarón, Chico, Poqueira, Trevélez y Cádiar. La cuenca del Adra la integran los ríos Mecina, Válor, Nechite, Laroles, Bayárcal y Alcolea. Por último, la cuenca del Andarax, está compuesta únicamente por los ríos Láujar y Nacimiento; éste es el más oriental de Sierra Nevada y, como curiosidad, es el único río de la vertiente Sur que drena aguas recogidas en la vertiente Norte.

La vertiente atlántica (la Norte) está compuesta por dos grandes cuencas, las de los ríos Genil y Fardes, ambos afluentes del Guadalquivir por su margen izquierda. La cuenca del Genil drena la fachada occidental del macizo, a través de los Dílar, Monachil y Genil, este último el de cuenca más bella de todo el Parque Nacional, en cuyo anfiteatro están los picos más elevados del macizo, como El Mulhacén (3.482 m), El Veleta (3.398 m) y La Alcazaba (3.366 m). La cuenca del Fardes drena la mitad oriental, en este caso, a través de pequeños cauces, como el Morollón, Alhama, Bernal, Alhorí, Alcázar, Lanteira, Gallego y Hondo, entre otros de menor entidad.

Igual que se comentó para la climatología, los registros hidrológicos no son abundantes, y, en cualquier caso, se concentran generalmente a la salida de las diferentes cuencas, a cotas comprendidas entre los 900 y 1.200 m, por debajo de los límites actuales del Parque Nacional; por ello se vuelven a extrapolar los parámetros hidrológicos más representativos. Debido a que las aportaciones de los ríos proceden de las precipitaciones recibidas, los hidrogramas (gráficas caudal-tiempo) son diferentes según la altitud, latitud y orientación de los respectivos valles fluviales. Para los ríos occidentales, los máximos caudales mensuales se producen en Mayo, seguidos por los de Junio, Abril y Julio. Por el contrario, los mínimos son los de Septiembre, seguidos por los de Agosto y Diciembre. Los ríos más orientales (cuencas del Adra y Andarax) presentan deshielos más adelantados (y atenuados), con máximos de caudal en Febrero y mínimos en Septiembre.

Los parámetros hidrológicos ofrecen valores igualmente dispares. Así, los coeficientes de escorrentía (porcentaje de escorrentía superficial con respecto a la pluviometría recibida) oscilan en el Parque Nacional entre cerca del 75 % para ríos occidentales y menos del 30 % para los orientales, donde son máximas las pérdidas por evapotranspiración.

Otro parámetro ilustrativo es el caudal específico, caudal drenado por cada kilómetro cuadrado de cuenca vertiente. Este índice se relaciona muy estrechamente con la precipitación y la evapotranspiración, así como con el grado de derivación e importación de recursos. Los valores más altos de los que se dispone información (Castillo et al., 1996b) se dan, nuevamente, en los valles más occidentales, ríos Poqueira, Monachil, Dílar y Genil; a la salida del Parque Nacional, dichos valores se estiman comprendidos de 15 a 20 l/s por km<sup>2</sup>. En ríos orientales, como los de Ugíjar y Alcolea, se estima que el valor es del orden de 6 l/s por km<sup>2</sup>

Mención aparte (y destacada) merecen las lagunas de Sierra Nevada, como reliquias de los últimos episodios glaciares sufridos por Sierra Nevada (hace unos 12.000 años). Se localizan normalmente en antiguas cubetas de sobre-excavación o bien en depresiones y circos cerrados por diques morrénicos. Se trata de elementos del mayor valor paisajístico y ecológico del parque Nacional, sobre todo en primavera y verano. Su relación directa con el modelado glaciar las circunscribe a las zonas de altas cumbres, por encima de los 2.600 m de altitud. De las 42 existentes con aguas relativamente permanentes, la mayor parte se localizan en la vertiente Sur. Casi la mitad, unas 17, se conservan en la cuenca del río Trevélez, y 11 más en la cuenca del río Poqueira. En la vertiente Norte sólo existen unas 10, localizadas en las cuencas de los ríos Dílar y Genil.

La más alta de todas es la laguna Altera, en la cañada de Siete Lagunas (valle del Trevélez), situada a cota 3.146; la más grande es la de La Caldera (valle del Poqueira); la más profunda, la de Vacares (valle del Trevélez). El régimen hídrico de ellas no ha sido apenas estudiado; muy pocas tienen entradas de agua permanente, siendo algunas endorréicas, esto es, sin salida visible de aguas, mientras que la mayoría conservan aliviaderos, bien en forma de arroyos o de chorreras. A final de la primavera son visibles otras muchas lagunas y lagunillos, cuya principal característica es su menor tamaño y lo efímero de sus aguas, que no suelen alcanzar el final del estiaje.

### **Aguas subterráneas**

Como se ha comentado, el Parque Nacional se asienta mayoritariamente sobre micasquitos paleozoicos del Complejo Nevado-filábride; estos materiales son poco permeables en su estado más usual, pero las duras condiciones climáticas de alta montaña a las que han estado sometidos en los últimos 15 millones de años, con varios episodios de glaciario reciente, han producido una fortísima alteración de estas rocas. Como consecuencia, aparecen fuertemente fracturadas y alteradas por encima de los 2.200 m de altitud, dando lugar a extensos campos de bloques, morrenas, lanchares, etc, en los que la fracción fina es poco abundante. Ello ha favorecido extraordinariamente los procesos de infiltración, ayudados por la lenta liberación de agua de deshielo; debido a ello, la red de drenaje es escasísima, mientras que son muy numerosas las manifestaciones de surgencias de aguas de muy diferente tipo (Fedeli y Castillo, 1998). Las surgencias de estos flujos subsuperficiales (también conocidos como "hipodérmicos") juegan un papel regulador de primera magnitud en el mantenimiento de los caudales finis-estivales (de base) de los ríos del Parque Nacional (Adarve et al., 1998), que gracias a ello son de aguas permanentes. Asociados a estos manantiales están los borreguiles, chortales y demás praderías de alta montaña, de tanto valor paisajístico y ecológico dentro del Parque Nacional.

Por debajo de los 2.200 m de cota, los materiales están menos alterados, y la fracción fina es mayor, en gran parte originada por procesos edáficos; como consecuencia de ello, las tasas de infiltración son menores, en favor de mayor escorrentía y erosión hídrica. Las altas pendientes de las laderas, y la deforestación del macizo provocó antaño importantes episodios erosivos e inundaciones devastadoras, sobre todo en la vertiente Sur (Almagro, 1932). Las actuaciones de corrección hidrológico-forestal en ambas vertientes de Sierra Nevada han sido decisivas para regular el ímpetu de las aguas y frenar la erosión. Además, la continua derivación del agua de los ríos, para riego de bancales o el careo simplemente de las aguas, ha sido una práctica ancestral en Sierra Nevada, de vital importancia también en la regulación de las aguas de deshielo y en la disminución de la erosión. En relación directa con ello, se ha generado una vegetación arbórea de gran valor paisajístico, frenado en parte la erosión y recargados los flujos subsuperficiales de las laderas, con generación de multitud de pequeños manantiales en las partes bajas, generalmente en el dominio más habitado del macizo, dentro

ya del Parque Natural.

La circulación más profunda, a través de fracturas y otros accidentes tectónicos es minoritaria y da lugar a manantiales localizados también a cotas más bajas que las del Parque Nacional; la importancia cualitativa de estas surgencias es grande, al tratarse muy frecuentemente de aguas minero-medicinales y/o termales, tan abundantes en la baja Alpujarra, y de las que son ejemplo bien conocido las de Lanjarón.

Las calizo-dolomías y dolomías del Complejo Alpujárride están representadas sólo en el borde occidental del Parque Nacional, en las sierras de Dúrcal, Dílar y Monachil. El comportamiento hidrogeológico de estos materiales es muy diferente al de los anteriores; en este caso se trata de rocas de indudable interés acuífero, intensamente fracturadas y moderadamente karstificadas, gracias a lo cual presentan una aceptable permeabilidad. Su descarga provoca surgencias difusas y a diferentes cotas a los cauces que las atraviesan, al tiempo que otra parte de sus recursos alimentan de forma oculta a depresiones detríticas del contorno.

## **BIBLIOGRAFIA**

Adarve, A.; Castillo, A. y Fedeli, B. (1998). Análisis de curvas de agotamiento en dos ríos de Sierra Nevada (Granada; España). *Geogaceta*, 23: 3-6

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

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

Castillo, A.; Gisbert, J. y Al-Alwani, G. (1996b). Caudales específicos característicos de Sierra Nevada (Granada y Almería); metodología de estimación de recursos hídricos. *Geogaceta*, 20 (6). 1.255-1.257

Castillo Requena, J.M. (1981). Mecanismos de la precipitación en Sierra Nevada. *Rev. Cuad. Geográficos*, 11

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

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

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

Rodríguez Martínez, F.; Frontana, J. y Goicoechea, M. (1981). Evolución y estado actual de los

conocimientos climáticos en Sierra Nevada. VII Col. Nac. de Geografía