

El agua en la Sierra de Guadarrama

Water in the Guadarrama Mountain range

Miguel Mejías Moreno¹, Jesús del Pozo Tejado¹, Lourdes Albacete Carreño² y Fermín Villarroya Gil³

1. Instituto Geológico y Minero de España, C/ Ríos Rosas, 23, 28003 Madrid, España.

m.mejias@igme.es, j.delpozo@igme.es

2. *lourdesalbacetecarreno@gmail.com*

3. Departamento de Geodinámica. Facultad de Ciencias Geológicas, C/ José Antonio Novais nº 12, 28040 Madrid, España. *ferminv@ucm.es*

Recibido: 18-enero-2017. Aceptado: 21-abril-2017. Publicado en formato electrónico: 9-mayo-2017

PALABRAS CLAVE: Agua, Hidrología, Parque Nacional, Manantial, España

KEY WORDS: Water, Hydrology, National Park, Spring, Spain

RESUMEN

La Sierra de Guadarrama guarda riquezas geológicas, geomorfológicas, hidrológicas, forestales, de fauna y de paisaje en general, que la hacen merecedora de pertenecer a la Red de Parques Nacionales de España desde 2013. Sus senderos, vías pecuarias, bosques, praderas y roquedos han sido transitados, desde hace más de siglo y medio, por un público cada vez más sensibilizado y cautivado por su rico patrimonio. Presta también unos impagables servicios ecosistémicos y de bienestar a la ciudadanía. Este artículo se detiene en el agua de sus ríos y en el agua subterránea que da lugar a sus manantiales. La red fluvial obedece a tres diferentes tipos de regímenes: pluvio-nival, pluvial y nivopluvial, y de morfología de los ríos: Moros, Eresma, Pirón, Cega, Guadarrama, Manzanares, Guadalix, y Lozoya. El artículo identifica hasta nueve posibles orígenes de los manantiales de la sierra vinculados a coluviones, fallas, diques, aluviales y terrazas, procesos glaciales, etc. El conjunto de recursos hídricos constituye un rico patrimonio hidráulico y arquitectónico (viaductos, puentes, molinos, azudes, batanes, pozos de nieve...) y de usos y costumbres como lo fue en su día las maderadas en el valle de Valsain. Todo ello confiere a la Sierra de Guadarrama valores notables que requieren ser protegidos y dotarles así de una garantía de sostenibilidad ambiental que pasa por la formación y sensibilización de la ciudadanía.

ABSTRACT

The Guadarrama mountain range, situated very close to Madrid and Segovia – and with more than 6.5 million inhabitants-, is home to important geological, geomorphological, hydrological, forestry, wildlife and general landscape features, that make it worthy of being integrated into the Spanish Network of National Parks by the Law 7/2013 (Fig. 1). Students from grade school to university level are also using this entire natural heritage for educational purposes. Paths, trails, forests, grasslands, rocks and lands have been visited for over a century and half, by an increasingly aware public, captivated by its rich heritage. It also provides priceless ecosystem services and welfare to citizens. The geological uniqueness of the Park is due to its lithological constitution, composed almost exclusively of hard rocks (igneous and metamorphic with very low permeability), the development of landscapes characterized by granitic rocks and forms (La Pedriza), and glacial and periglacial modeling at high summits (Peñalara Lake). Its highest elevations and deep valleys are due to a combination of horst and graben (Figs. 2, 6). This article is devoted mainly to rivers and springs, that is, to blue water. The water quality is excellent both from the springs and from the upper basin of the rivers. The main meteorological characteristics have an average annual temperature of 6.9 °C and an average precipitation of 1,220 mm/year (Figs. 3, 4, 5 and Table I). In addition, the water dividing line produces the existence of rivers that drain into the Duero basin on the northern slope, the Tagus in the southern part, provides the water necessary to support winter sport facilities relatively close to Madrid, and a large storage of solid water that feeds the rivers thanks to the snow regime. The river network obeys three different types of regimes: rain-snow, rain, and snow-rain that form the rivers of the Segovia slope; Moros, Eresma, Cega and Pirón; the Madrid slope; Manzanares, Guadalix, Lozoya and their tributary streams (Figs. 7, 8). Surface water collected in reservoirs is used to provide for more than six million people (Fig. 9 and Table II). These reservoirs are located at strategic points in a basin that takes advantage of a series of features like the impervious terrains, a significant rainfall, pristine waters, and a high altitude. This, in turn, facilitates water transport by gravity to the consumption points. This paper identifies nine possible origins of the Guadarrama mountain range springs (Fig. 10) linked to: colluvium, discontinuities and faults, dykes, foliation, alteration and weathering, alluvial formations, terrace deposits that break the permeability between lithologies, and finally, springs associated with glacial and periglacial processes. These springs are highly appreciated by visitors to

the National Park. The entire set of water resources of the Guadarrama is has a rich hydraulic and architectural heritage (aqueducts, bridges, Fig. 11). This also includes water infrastructure whose remains can still be found today such as mills, weirs, snow storage wells and uses and customs like the *maderadas* in the Valsain valley (Fig. 12). All this gives the Guadarrama mountain range features to be protected under the legal figure of The National Park Service to guarantee environmental sustainability in the future based on training and awareness of citizenship values.

1. INTRODUCCIÓN

El topónimo Sierra de Guadarrama hace referencia a uno de los principales sectores montañosos que forman parte del Sistema Central español, situado entre Somosierra y la Sierra de Gredos. Sobre la etimología de la palabra Guadarrama hay división de opiniones: para unos proviene del latín *aquae dīrrama* aludiendo al carácter dominante de divisoria de aguas; para otros, proviene del término árabe *wad-ar-Raml*, o río del arenal, que da el nombre también al río homónimo. Por su ubicación, centrada en la Península Ibérica, y por haber constituido durante siglos una agreste e inhóspita barrera entre las dos mesetas castellanas, se ha comportado más como lugar de paso que como asentamiento de población, facilitando así la preservación de sus valores medioambientales. Esta cordillera experimentó su último levantamiento orogénico durante el Cenozoico, aunque su origen se remonta a la orogenia Varisca, que tuvo lugar entre finales del Devónico y principios del Pérmico, entre 380 y 280 millones de años antes del presente.

La sierra engloba tres tipos de paisajes principales y característicos: las altas cumbres, incluyendo formas de origen glaciar, las vertientes rocosas modeladas sobre rocas graníticas y metamórficas y los extensos pinares de *Pinus sylvestris*, que cubren las vertientes serranas (SANZ-HERRÁIZ & MARTÍNEZ DE PISÓN, 2015). Pero sin duda, en la Sierra de Guadarrama, y en cualquier cadena montañosa de una elevación considerable en relación con su entorno, lo primero que llama la atención son sus cumbres, sus picos más altos, muchas veces coronados por un manto de nieve, y sorprende al observador la inmensa mole pétreo que rompe el horizonte, que segmenta el paisaje. Al acercarse al punto de observación comienzan a distinguirse las rocas y la vegetación, y la mirada se centra en los robledales, los pinares y los bosques caducifolios, los prados y pastos o los matorrales de alta montaña. Ya en este grado de acercamiento, el caminante fija también su atención en el agua que discurre por los torrentes de alta montaña, en los ríos que esculpen lentamente los valles o en los manantiales que apagan la sed del caminante.

Así, el agua constituye un elemento esencial de la sierra, que está presente desde las cumbres hasta los valles, modela su paisaje, sustenta la vida y discurre tanto por la superficie como por el subsuelo. No solo está presente en estado líquido, sino también en el sólido, en forma de hielo, nieve, ventisqueros y, en un pasado no demasiado remoto, en sus glaciares.

En este artículo se pretende resaltar la importancia del agua, básicamente en estado líquido, sus principales ríos y arroyos, y el agua subterránea y sus singularidades en los terrenos montañosos, aunque también se hará mención a las principales peculiaridades del agua en estado sólido. Asimismo, se tratará el agua como parte de la identidad cultural de la Sierra de Guadarrama, que ha dado lugar a tradiciones y a infraestructuras hidráulicas tan conocidas como el acueducto de Segovia o a aprovechamientos tan singulares como las maderadas.

Desde el punto de vista geográfico, el artículo se centrará en el ámbito territorial del Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama (Fig. 1), declarado por Ley 7/2013 de 25 de junio, tras más de 90 años transcurridos desde los primeros intentos para establecer una figura de protección medioambiental en su entorno, convirtiéndose así en el decimoquinto Parque Nacional de España. El Parque Nacional ocupa una extensión de 339,6 km², y una Zona Periférica de Protección de 626,87 km², de los que 70,11 km² corresponden a los Montes de Valsain, que cuentan con un régimen jurídico especial. Su delimitación engloba la zona menos antropizada de la sierra y se considera, para los objetivos de este artículo, como los límites de referencia para los ríos que nacen en sus dos vertientes. No obstante, dada la importancia del agua procedente de la Sierra de Guadarrama para el abastecimiento de los núcleos de población de las provincias de Madrid y Segovia, el presente artículo recogerá también los aspectos más reseñables y las principales características de los embalses que regulan los ríos de las vertientes serranas.

El ciclo hidrológico, o ciclo del agua, es el proceso continuo del movimiento del agua en la superficie de la Tierra. Como tal ciclo no tiene ni un principio ni un final, sino fases por las que pasa el agua en sus tres estados (líquido, sólido y gaseoso). Si se toma como uno de los posibles inicios del ciclo hidrológico la precipitación del agua sobre la superficie del terreno, una parte queda retenida en la vegetación, pequeñas depresiones de las rocas aflorantes, edificaciones, etc., y constituye la definida como agua de intercepción y de retención superficial; otra parte circula sobre la superficie dando lugar a los torrentes, arroyos y ríos, denominada escorrentía superficial; otra fracción penetra bajo la superficie del terreno, la infiltración, que está gobernada por diversos factores entre los que cabe destacar: la litología, la presencia de vegetación, la compactación del terreno, la pendiente, el estado previo de humedad, etc., y que determinan el volumen anual de infiltración; finalmente, otra parte vuelve a la atmósfera por

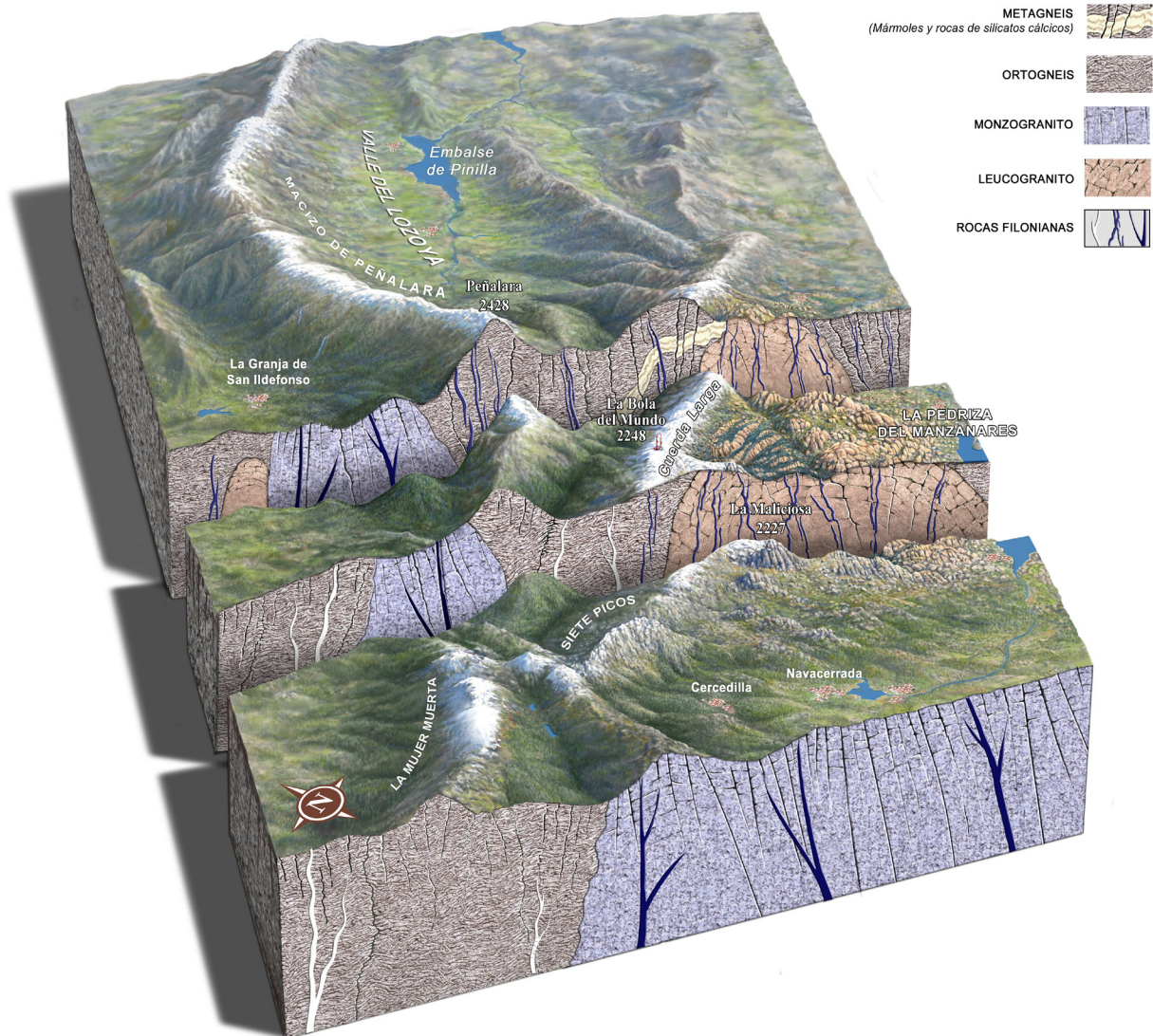


Figura 2. Corte geológico de la Sierra de Guadarrama siguiendo la traza del túnel del AVE (VELASCO & CARCAVILLA, 2015).

— Geological Cross Section of the Guadarrama mountain range tunnel following the line of the AVE (VELASCO & CARCAVILLA, 2015).

agua, a adivinar en el paisaje las huellas que el líquido elemento ha dejado en el continuo y constante paso por sus laderas, a contemplar el esculpido ejercido por el agua sólida en las altas cumbres, a apagar la sed de las caminatas serranas en los manantiales surgidos de esas aguas subterráneas que recorren de manera oculta y silenciosa el interior de la sierra, pero que brotan de forma inesperada entre las grietas de sus rocas: fría y pura, humilde y callada.

2. CLIMATOLOGÍA

El conjunto de variables climatológicas es el factor clave que determina la presencia de agua en

la montaña y la forma en que esta se presenta, ya sea en forma de lluvia, de nieve, de hielo, escarcha o incluso en forma de niebla. Consideraremos este punto como el desencadenante del ciclo hidrológico, al menos desde la perspectiva de la superficie del terreno, sobre la que inciden las diferentes variables climatológicas. De las formas de llegada de agua a la superficie se tratarán las más importantes en cuanto al volumen de agua aportada, que son las precipitaciones en forma de lluvia y de nieve.

Las variables climatológicas que intervienen en los eventos de precipitación son múltiples y de un funcionamiento extremadamente complejo. El análisis pormenorizado de estas variables se escapa del objetivo de este artículo. Se opta por ofrecer

Tabla I. Estaciones meteorológicas estudiadas y datos de interés (coordenadas UTM referidas al ED50, huso 30). Fuente: AEMET.
 — Meteorological Stations studied and data of interest (referred to ED50 UTM coordinates, zone 30). Source: AEMET.

Código	Vertiente	Nombre	X UTM	Y UTM	Altitud (m s.n.m.)	Inicio registro	Fin registro	P med. anual (mm)
3264G	MADRID	CERCEDILLA (FUENFRÍA)	409331	4512872	1.350	1977	2016	941
3184	MADRID	MANZANARES EL REAL	426997	4508976	908	1945	2016	603
2462	MADRID	NAVACERRADA PUERTO	414745	4516276	1.894	1946	2016	1.223
3104	MADRID	RASCAFRÍA (EL PAULAR)	425300	4526757	1.159	1960	2016	811
2468D	SEGOVIA	EMBALSE DEL PONTÓN ALTO	407655	4523256	1.180	1997	2016	465

una visión simplificada de las variables más relevantes a la hora de cuantificar el agua disponible en la Sierra de Guadarrama (precipitación y temperatura), así como su variabilidad a lo largo del tiempo.

El clima de Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama se clasifica como *mediterráneo continental de montaña*. Según la clasificación de Köppen-Geiger el clima de la Sierra de Guadarrama se clasifica como tipo *Dsb: frío con verano seco y templado* (MMAMRM & AEMET, 2011). Se caracteriza por presentar una marcada variabilidad de precipitación y de temperatura en el tiempo. El carácter de alta montaña (pico de Peñalara 2.428 m s.n.m.), hace que se alcancen temperaturas extremadamente bajas en invierno, y relativamente suaves en verano. Las precipitaciones, por su parte, presentan una magnitud elevada en comparación con las zonas de llanura situadas aguas abajo de los relieves serranos.

Existen otros factores que intervienen en la climatología, tales como la latitud, la altitud, el patrón de vientos dominante, la vegetación, la orientación de la ladera con respecto al sol y a los vientos, etc. De estos factores secundarios domina la altitud, de forma que las precipitaciones aumentan notablemente a medida que asciende la cota topográfica. La temperatura, por el contrario, tendrá una relación inversa con respecto a la altitud, siendo más baja a medida que asciende la cota topográfica.

En el entorno del Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama existen varias estaciones meteorológicas de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). De todas las estaciones existentes se han recopilado y analizado los datos de 5 ellas (Tab. I), siendo la estación N° 2642 *Puerto de Navacerrada* (1.894 m s.n.m.) la más representativa de las condiciones climatológicas de la Sierra de Guadarrama, en la zona que abarca el Parque Na-

cional. En esta estación se registra un valor de precipitación anual media de 1.223 mm, y una temperatura anual media de 6,9 °C.

A priori, se puede afirmar que las precipitaciones aumentan con la altitud, si bien esta relación no es lineal. Se entiende que en este aspecto intervienen factores relacionados con la posición de la estación respecto al patrón de circulación meteorológico (vertiente serrana, orientación de la ladera, aislamiento orográfico, etc.).

En la Figura 3 se identifican dos periodos húmedos durante el año: uno más intenso, de octubre a enero, y otro más moderado en el periodo primaveral, de marzo a mayo. Destaca, por un lado, que el periodo húmedo primaveral es más intenso en las estaciones de mayor altitud (Puerto de Navacerrada y Cercedilla/Fuenfría). Por otro, la estación de la vertiente segoviana de El Pontón Alto, presenta valores de precipitación similares en ambos periodos húmedos identificados. Durante los meses veraniegos se reducen notablemente las precipitaciones, con valores medios en torno a los 20 mm, durante julio y agosto.

Se identifica también el factor altimétrico en los datos de precipitación mensual, al menos en la vertiente madrileña. Así, la precipitación mensual media más elevada corresponde a la estación de Puerto de Navacerrada (1.894 m s.n.m.), seguida de la estación de Cercedilla/Fuenfría (1.350 m s.n.m.), Rascafría/El Paular (1.159 m s.n.m.) y Manzanares El Real (908 m s.n.m.). La estación de El Pontón Alto (1.180 m s.n.m., vertiente segoviana) presenta los valores de precipitación más bajos de las estaciones consideradas, pese a encontrarse a una altitud similar a la estación de Rascafría/El Paular madrileña. La dinámica de las variables meteorológicas con respecto a la orografía de la Sierra de Guadarrama juega un papel importante en este comportamiento.

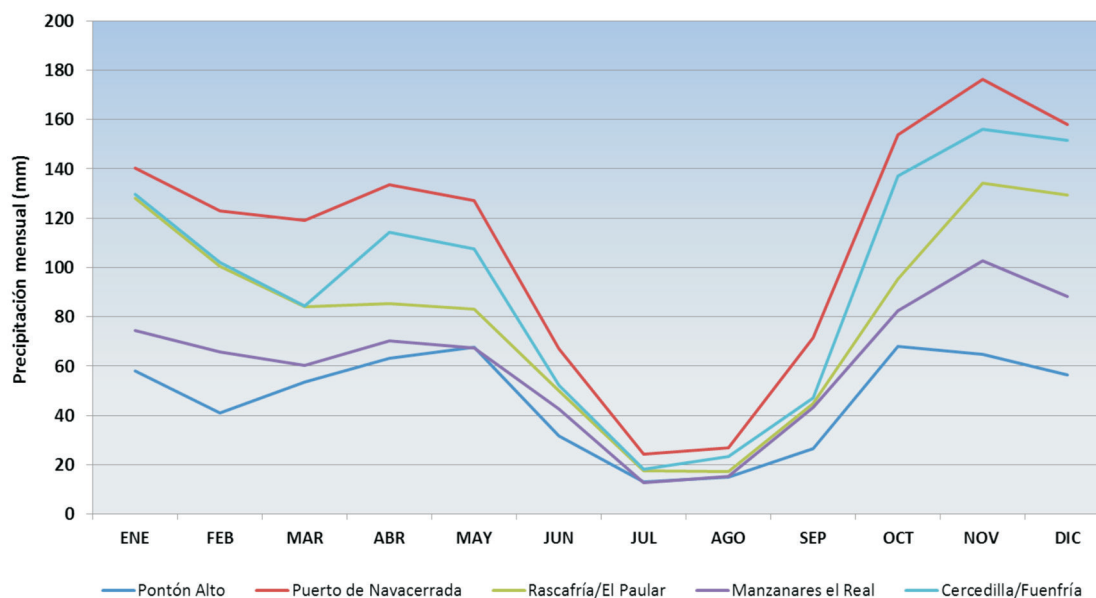


Figura 3. Distribución de la precipitación mensual a lo largo del año en las estaciones meteorológicas estudiadas (fuente AEMET, elaboración propia).

— Distribution of monthly rainfall throughout the year in meteorological studied stations (Source AEMET, own elaboration).

Otro aspecto a destacar en la Figura 3, en relación a la altitud topográfica, es el hecho de que la diferencia de precipitación entre los periodos húmedos identificados y el periodo estival es tanto más acusada cuanto más alto se sitúa el punto de observación. Por citar los dos casos extremos: en la estación del Puerto de Navacerrada en verano se registran valores medios de precipitación mensual de 20 mm aproximadamente, mientras que en el periodo húmedo primaveral se registran valores medios de 140 mm, y 180 mm en el periodo húmedo invernal; por el contrario, en la estación de Manzanares el Real, mientras que en el periodo estival la precipitación media mensual es de 20 mm igualmente, los dos periodos húmedos presentan valores de 70 y 100 mm, en primavera y otoño-invierno, respectivamente.

En lo que respecta a las precipitaciones en forma de nieve, se analiza la media de días de precipitación de nieve registrados en las diferentes estaciones. Las precipitaciones de nieve tienen en la altimetría un factor diferencial en su ocurrencia, dado que este fenómeno meteorológico está íntimamente ligado a la temperatura, parámetro a su vez directamente relacionado con la altimetría.

En la Figura 4 se aprecia una gran diferencia entre los días con precipitación nival en la estación del Puerto de Navacerrada (1.894 m s.n.m.) con hasta 13 días de media en los meses de enero y febrero, y los de la estación de Manzanares el Real (908 m s.n.m.), con 1-2 días de nieve de media únicamente en los meses de diciembre, enero y febrero. Las estaciones restantes, situadas a una altitud intermedia entre ambos extremos, no superan los 5 días de media de nieve durante los meses invernales.

En la estación del Puerto de Navacerrada no se han registrado nunca precipitaciones de nieve durante los meses de julio y agosto. En el resto de estaciones los meses de ausencia de precipitación nival se incrementan en función de la altitud de la estación.

A partir de la comparativa de las temperaturas mensuales medias de las estaciones de Puerto de Navacerrada y Rascafría/El Paular (1.894 y 1.159 m s.n.m. respectivamente) se observa que el incremento de temperatura máxima y mínima mensual es progresivo a lo largo del año, hasta alcanzar los valores máximos en los meses de julio y agosto (Fig. 5). A partir de agosto el descenso vuelve a ser progresivo hasta los meses de enero y febrero en los que se alcanzan los valores mínimos.

Llama la atención que la temperatura mínima mensual media es prácticamente coincidente en ambas estaciones a lo largo del año, a diferencia de la temperatura mensual máxima que sí presentan valores diferenciados (5 °C de media a lo largo del año). Además hay una cierta inversión de temperatura mínima con componente estacional: en los meses de verano, la temperatura mínima en la estación del Puerto de Navacerrada es varios grados más alta que en la estación de Rascafría. Por el contrario, durante el periodo que abarca los meses de octubre a junio, la temperatura mínima es varios grados menor en la estación del Puerto de Navacerrada.

Por último, cabe destacar que mientras que en la estación de Puerto de Navacerrada la diferencia entre la temperatura máxima y mínima media es de 5 °C aproximadamente, en la estación de Rascafría/El Paular la diferencia es del 10 °C.

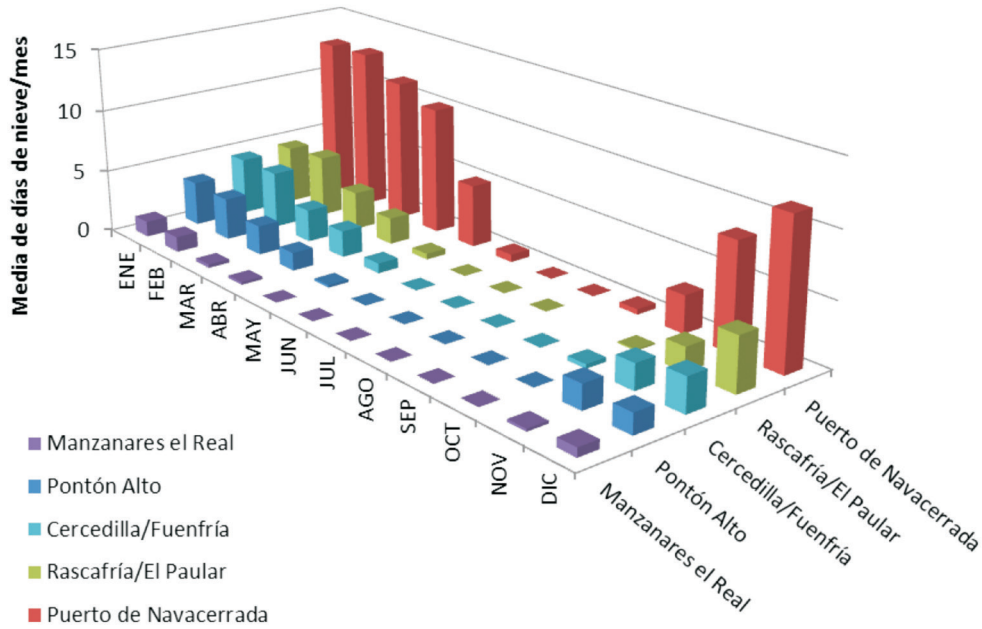


Figura 4. Distribución de las precipitaciones de nieve mensuales a lo largo del año en las estaciones meteorológicas estudiadas (Fuente: AEMET, elaboración propia).
 — Distribution of monthly snow throughout the year in meteorological studied stations (Source: AEMET, own elaboration).

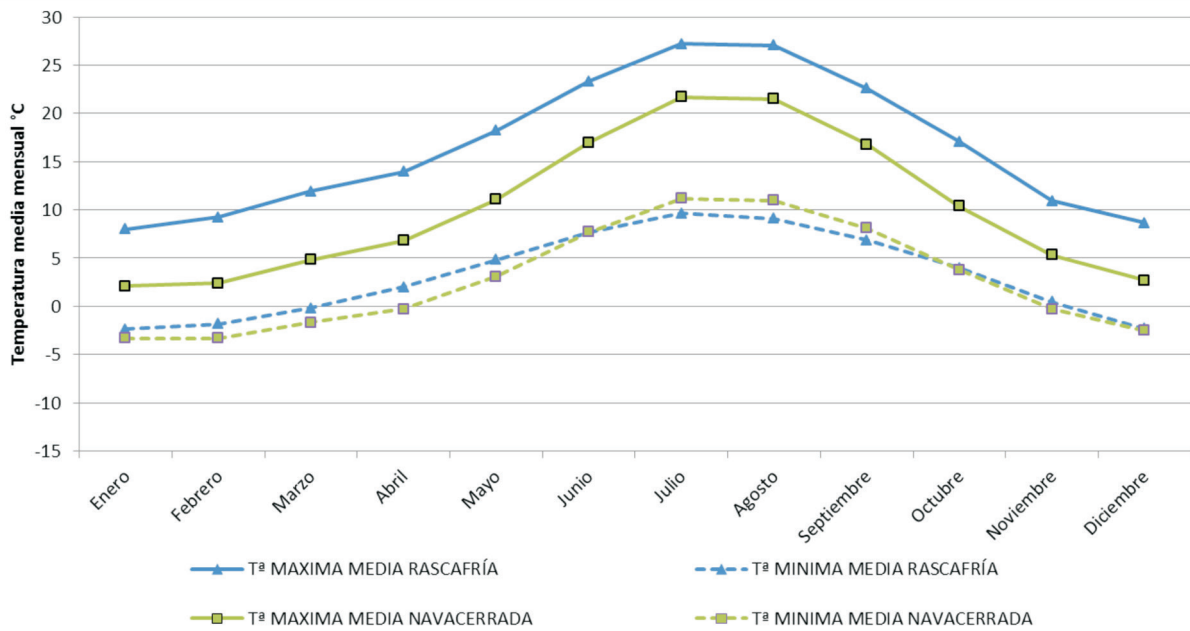


Figura 5. Temperaturas máxima y mínima medias en las estaciones Puerto de Navacerrada y Rascafría/El Paular (fuente AEMET, elaboración propia).
 — Maximum and minimum average temperatures in the Puerto de Navacerrada and Rascafría/El Paular stations (Source AEMET, own elaboration).

Dicho de otro modo, se da una mayor diferencia de temperatura diurna y nocturna a altitudes relativamente bajas que en la zona de cumbres.

3. LOS RÍOS DE LA SIERRA DE GUADARRAMA: FUENTE RENOVABLE DE AGUA

Ríos y arroyos constituyen la expresión visible de la circulación del agua superficial, desde las cotas serranas más altas, 2.200 m s.n.m., nacimiento del río Manzanares, hasta las zonas más bajas de llanura, normalmente por debajo de 1000 m s.n.m., en las que los cursos fluviales se amanisan y discurren apacibles en su camino hacia la confluencia con ríos de mayor entidad.

Si nos ceñimos al entorno del Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama, los cursos fluviales tienen carácter de río de montaña (*ríos de montaña mediterránea silicea*, según la nomenclatura aplicada en la planificación hidrológica). Se caracterizan por presentar cauces de morfología dendrítica, energéticos, tortuosos, con frecuentes saltos de agua, dadas la elevada pendiente y la diferente dureza de los materiales sobre los que discurren (fundamentalmente granitos y gneises). Sus aguas presentan una mineralización débil, procedentes en su mayoría de la escorrentía directa del agua meteórica sobre terrenos de origen ígneo y metamórfico.

Hablar de ríos o arroyos de montaña es sinónimo de estampas de gran belleza y de aguas puras y cristalinas. En la Sierra de Guadarrama este precepto se cumple fielmente. Se constituyen ecosistemas únicos, en los que habitan gran variedad de especies de flora y fauna serranas, asociadas a los abundantes regatos y riachuelos.

El origen del agua en el curso alto de los ríos tiene que ver, fundamentalmente, con factores meteorológicos. Las precipitaciones en áreas de montaña son cuantiosas, mayoritariamente en forma de lluvia y nieve. Normalmente, las áreas montañosas están constituidas por rocas de baja permeabilidad, en las que el agua meteórica se evacúa de forma rápida mediante escorrentía superficial y subsuperficial. La interacción con el sustrato es muy reducida por lo que la carga mineral del agua es escasa.

El caudal de los ríos de montaña se caracteriza por su intermitencia anual, presentando caudales importantes a raíz de los episodios de precipitación y periodo de deshielo, y caudales muy reducidos o nulos durante el periodo estival. Únicamente mantienen un caudal mínimo a lo largo del año aquellos ríos que cuentan con manantiales que drenan el agua de los diferentes acuíferos existentes en las áreas de montaña. Así ocurre, por ejemplo, en el río Pirón, cuyo caudal de nacimiento proviene de la Fuente del Mojón.

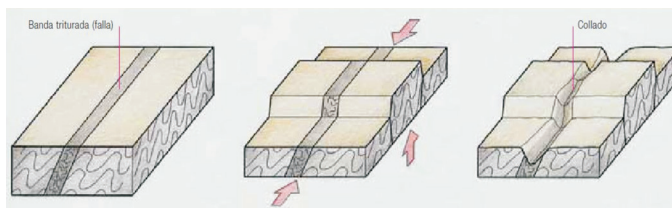


Figura 6. Esquema del encajamiento de un río en un plano de debilidad asociado a una falla (DÍEZ-HERRERO & MARTÍN-DUQUE, 2005).

— Scheme of river deepening in a plane of weakness associated with a fault (DÍEZ-HERRERO & MARTÍN-DUQUE, 2005).

3.1. El funcionamiento de los ríos de montaña

Existen numerosos factores que controlan el comportamiento, la posición e incluso la morfología de los ríos de montaña. A continuación se hace una breve mención a los factores más relevantes, así como a la influencia que estos tienen en los ríos de la Sierra de Guadarrama.

3.1.1. Variables meteorológicas

La distribución de las precipitaciones a lo largo del año determina el régimen dominante en el caudal de los ríos de montaña. En este sentido, cabe citar como factores influyentes el tipo de precipitación (en forma de lluvia o nieve), la orientación de la cuenca con respecto al sol (laderas de solana y umbría), la distribución e intensidad de las precipitaciones a lo largo del año hidrológico, etc.

Todos estos factores determinan el comportamiento hidrológico de los ríos de montaña a lo largo del año hidrológico (MARTÍN-DUQUE *et al.*, 2010):

- Corrientes de régimen pluvio-nival: se caracterizan por presentar máximos de caudal en los meses de enero, febrero y marzo consecuencia de las lluvias invernales, y posterior deshielo de las nieves más altas; presentan mínimos en agosto y septiembre, en época de estiaje. A este patrón se ajustan la mayoría ríos de la vertiente segoviana.

- Régimen pluvial: presentan máximos de caudal en los meses de diciembre y enero debido a las precipitaciones del otoño y comienzos del invierno, caudal que progresivamente va disminuyendo hasta los mínimos de los meses veraniegos. Este comportamiento se asocia a la mayoría de los ríos de la vertiente madrileña.

- Régimen nivo-pluvial: los ríos que presentan este régimen cuentan con dos periodos de máximos de caudal: uno primero tras las lluvias otoñales y de principios del invierno (noviembre-diciembre); y un segundo periodo en abril y mayo, coincidiendo con las precipitaciones primaverales y la fusión de la nieve acumulada durante el invierno en las cotas más altas. Ejemplo de este

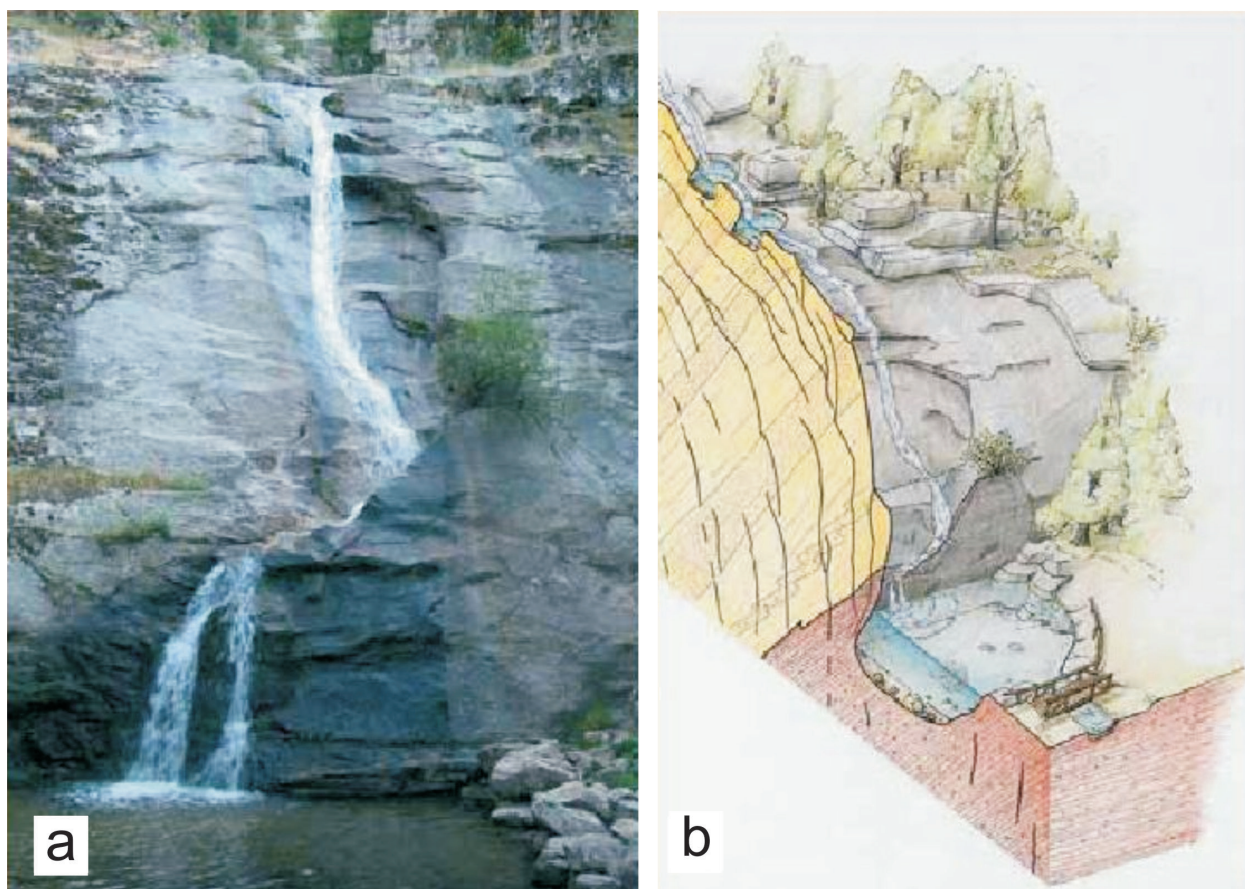


Figura 7. a. Imagen de una típica chorrera de la Sierra de Guadarrama. b. Esquema geológico interpretativo de la formación de una “chorrera” y poza, en el contacto de rocas de diferente dureza (DÍEZ-HERRERO & MARTÍN-DUQUE, 2005).

— a. Image of a typical “chorrera” of the Guadarrama mountain range. b. Schematic geological interpretation of the formation of a “chorrera” or waterfall and pond in contact of rocks of different hardness (DÍEZ-HERRERO & MARTÍN-DUQUE, 2005).

comportamiento lo encontramos en el río Lozoya, en el valle de El Paular (vertiente madrileña).

3.1.2. Condicionantes tectónicos y estructurales

La estructura tectónica de la Sierra de Guadarrama ejerce una gran influencia sobre la morfología del trazado de los ríos de montaña. El grado de encajamiento de un río se encuentra fuertemente determinado por su interceptación con los planos de debilidad de las formaciones geológicas que atraviesa (fallas, diaclasas, etc.), afectando, básicamente, a la pendiente longitudinal del río y a su poder erosivo.

Los valles de algunos de los principales ríos discurren a favor de bloques hundidos (grabens y semigrabens), mientras que sus ríos y arroyos tributarios discurren a través de los bloques elevados periféricos (horst tectónicos) que constituyen su cuenca de alimentación. Ejemplos de la influencia estructural en ríos los encontramos en los ríos Eresma y Moros en la vertiente segoviana, y el Lozoya en la vertiente madrileña (MARTÍN-DUQUE *et al.*, 2010).

A su vez las fracturas y fallas del Sistema Central actúan como ejes de concentración de ríos y arroyos. Suponen zonas de debilidad en las que las rocas duras se encuentran fracturadas y trituradas por efecto de los esfuerzos tectónicos (Fig. 6). El agua que circula desde las cotas más altas aprovecha estos planos de debilidad más fácilmente erosionables, para encajarse a su favor, y avanzar hacia cotas más bajas con un gasto mínimo de energía. Así, encontramos que la morfología de los ríos en planta presenta direcciones características propias de la estructura tectónica del Sistema Central (N 70-80° E y N 160-170° E), y cambios bruscos en la dirección en la medida que interfieren diferentes planos estructurales.

3.1.3 Variables litológicas

La litología es el último de los factores que, a menor escala, tiene influencia en la dinámica de los ríos de montaña. A nivel genérico la Sierra de Guadarrama se compone de rocas de tipo metamórfico e ígneo fundamentalmente, si bien en detalle estas rocas presentan multitud de variedades

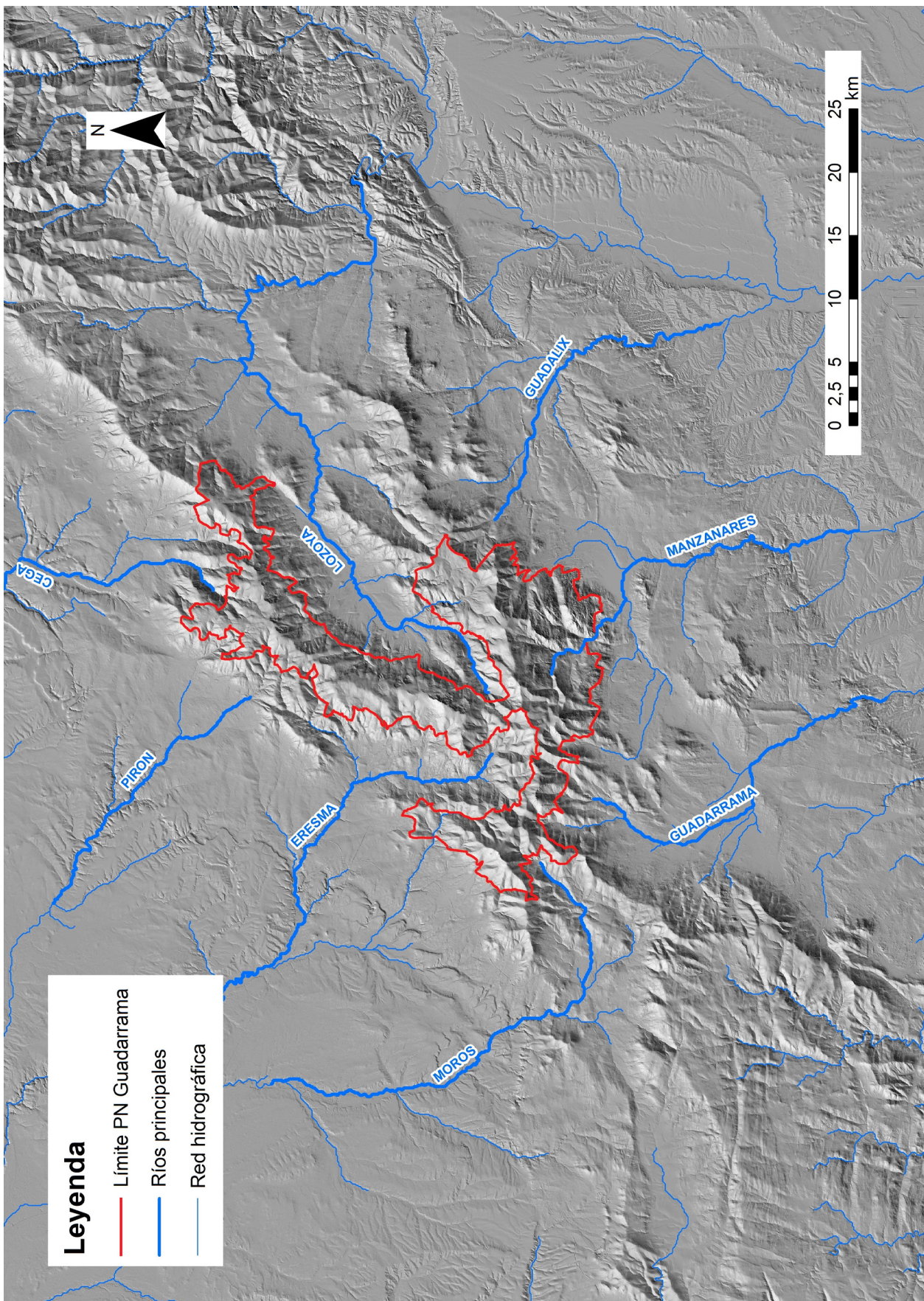


Figura 8. Localización de los principales ríos de la Sierra de Guadarrama (J. del Pozo).
 — Location of the main rivers of the Guadarrama mountain range (J. del Pozo).

composicionales y/o texturales que influyen en el trazado de los ríos de montaña (MARTÍN-DUQUE *et al.*, 2010).

Los ríos tienden a encajarse y discurrir por la tipología de rocas más “blanda” o fácilmente erosionable. En los casos en que el río discurre entre una zona de roca más dura y otra más blanda, se produce una erosión diferencial en la zona de contacto, formándose típicamente un salto de agua sobre la litología más dura y la formación de pozas sobre la litología más blanda (Fig. 7a y b).

3.2. Descripción de los principales ríos

La Sierra de Guadarrama actúa de límite entre las demarcaciones hidrográficas del Duero, al norte, y del Tajo, al sur, ambas pertenecientes a la vertiente atlántica de los ríos que surcan la Península Ibérica. La divisoria de aguas entre ambas cuencas se traza a partir de una línea de cumbres que discurre por el interior del Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama. Esta divisoria hidrográfica, a su vez, coincide con el límite administrativo entre las comunidades autónomas de Madrid y Castilla y León (afectando exclusivamente a la provincia de Segovia entre las provincias castellanas).

Se diferencian, por tanto, ríos de la Sierra de Guadarrama que discurren por su vertiente septentrional (vertiente segoviana, hacia el río Duero), y ríos que discurren por la vertiente meridional (vertiente madrileña, hacia el río Tajo).

En la selección de los ríos se considera un radio de 20 km alrededor de los límites del Parque Nacional, puesto que una descripción completa de los cursos fluviales se escapa de los objetivos del presente artículo.

3.2.1. Ríos de la vertiente segoviana

En la vertiente segoviana son cuatro los ríos principales cuya cuenca hidrográfica tiene su origen en el Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama: de oeste a este son los ríos Moros, Eresma, Pirón y Cega. El río Moros es afluente del Eresma, al igual que el río Pirón lo es del Cega. Su confluencia se produce en el interior de la cuenca del Duero alejada de los límites serranos, por lo que, a efectos del drenaje de la Sierra de Guadarrama, se consideran cuencas hidrográficas diferentes (Fig. 8).

Río Moros

El río Moros conduce el agua de escorrentía del sector más occidental de la Sierra de Guadarrama hacia las poblaciones segoviana de El Espinar y Vegas de Matute. Nace a partir de los arroyos Tirobarras y de Los Ojos, a una altitud de 1.650 m s.n.m., en el valle de orientación SO conformado por los picos del Pasapán, Peña del Oso, la Pinareja, Montón de Trigo, Cerro Minguete y Peña Bercial. Su principal afluente es el río Gudillos.

Estructuralmente el río, en su nacimiento, presenta dirección suroeste a favor de un conjunto de fracturas de dirección N40E en materiales de tipo gnéisico, pasa a dirección E-O en el contacto con rocas de tipo ígneo hacia la fosa de El Espinar y, a partir de aquí, se encaja en la red de fracturas de dirección preferente N-S hacia el norte, atravesando rocas graníticas de tipo adamellita. En el entorno de la población de Vegas de Matute el río se adentra en la cuenca sedimentaria del Duero (IGME, 2006).

Río Eresma

El río Eresma nace al pie de los Montes de Valsain, a partir de la confluencia de los arroyos del Venero, del Puerto del Paular y el de las Cárcavas del Valle, principalmente. Posteriormente se incorporan los arroyos del Telégrafo, Minguete y Peñalara que aportan agua al cauce principal, aparte de otros arroyos menores.

El tramo inicial del nacimiento del río Eresma tiene apertura al NO, y el valle está conformado por el Cogorro de Maravillas, el Puerto de Navacerrada, Alto de Guarramillas (Bola del Mundo), Peña del Águila, El Altozano y el Cerro de Dos Hermanas. Inmediatamente aguas abajo de este primer tramo, el río Eresma adquiere entidad, convirtiéndose en uno de los ríos principales de la vertiente segoviana. Recoge las aguas que fluyen por las laderas de la vertiente occidental de los Montes Carpetanos, y la oriental de la Mujer Muerta y Montes de Valsain. Cuenta con importantes ríos afluentes como son el río Cambrones, por su margen derecha, en el término municipal de La Granja de San Ildefonso, y el río Milanillos, del que a su vez es afluente el río Frío (llamado de la Acebeda aguas arriba del embalse de Los Angeles de San Rafael).

El río Eresma se caracteriza por presentar en su curso más alto un trazado rectilíneo de dirección S-N, encajado en las rocas graníticas del complejo plutónico de La Granja. Esta intrusión ígnea conforma un valle alargado, de dirección N-S, limitado por los relieves metamórficos de los Montes Carpetanos al este y Montes de Valsain/La Mujer Muerta al oeste (ITGE, 1998a; IGME, 2006).

Los ríos Cambrones y de La Acebeda/Río Frío son dos ríos de cierta importancia de la vertiente segoviana, aunque afluentes del Eresma. En el primero confluyen las aguas del valle conformado por El pico de Cabeza Melera, Cerro de las Cardosillas, Puerto de Malagosto, Puerto de las Calderuelas y el Pico de El Cancho, de apertura hacia el suroeste. Su curso discurre encajado próximo a una falla regional con dirección SO, sobre rocas metamórficas (ortogneises glandulares). En el contacto con el complejo plutónico de La Granja, la dirección del río pasa a ser E-O, a favor de la dirección de los diques porfídicos intruídos en las rocas graníticas. A continuación, atraviesa de nuevo las rocas metamórficas del encajante,

hasta prácticamente su llegada a la ciudad de Segovia, con una dirección NO propia de las últimas estribaciones de la Sierra de Guadarrama en la cuenca del Duero.

El río de La Acebeda/Río Frío por su parte, recoge la escorrentía de las vertientes occidentales de los Montes de Valsaín y de la Mujer Muerta por el valle de la Fuenfría, en el sector más occidental. Nace a los pies del Cerro de la Camorca y, prácticamente desde su inicio, presenta la dirección dominante hacia el NO, propia de los ríos de la Cuenca del Duero, sobre rocas metamórficas de tipo ortogneis glandular.

Río Pirón

El río Pirón nace en el sector septentrional del Parque, a gran altitud, prácticamente en el límite entre las provincias de Madrid y Segovia. El nacimiento del río se haya perfectamente localizado al pie de un muro de piedras, coincidente con la divisoria de agua entre las cuencas segoviana y madrileña (Fuente del Mojón, 2.110 m s.n.m.). Destaca de este río la particularidad de su nacimiento en un punto concreto, a una altitud tal que su cuenca de alimentación, aguas arriba de su nacimiento, tienen una extensión reducida. Se localizan varios depósitos de origen coluvionar en el entorno del nacimiento, factor que posibilita la acumulación de agua en forma de pequeños acuíferos colgados y el mantenimiento del caudal de la Fuente del Mojón durante gran parte del año (ITGE, 1991; ITGE1998a).

Las rocas sobre las que se desarrolla el cauce del río Pirón son metamórficas, concretamente de tipo ortogneis con intercalaciones de leucogneis y paragneis. La dirección del río SE-NO sigue la principal directriz tectónica de los ríos de la vertiente segoviana.

Río Cega

El río Cega nace en el extremo más septentrional de los Montes Carpetanos. Su nacimiento como río Cega se produce a partir de la confluencia de los arroyos Artinuelo y de las Vueltas. Este río, conjuntamente con el río de las Pozas (afluente del Cega aguas abajo), conducen el agua del extremo septentrional de la Sierra de Guadarrama. La cuenca drenada por ambos ríos presenta apertura hacia el norte, y está conformado por la Loma de la Majadilla del Queso, Loma de las Mesillas, Alto del Porrinoso, Pico del Nevero y Cerro del Reajo Capón.

Los ríos Cega y de las Pozas presentan dirección S-N y discurren sobre rocas metamórficas, con un claro componente estructural en la dirección de sus cauces. El cauce de ambos ríos se encaja a favor de fallas que constituyen planos de debilidad en la roca más fácilmente erosionables. Así, las direcciones N45E y N0E iniciales pasan a N135E a partir de la interferencia de una fractura transversal. Ambos ríos confluyen en el in-

terior de la fosa tectónica de San Pedro/Pedraza de dirección NE-SO, en la que afloran sedimentos mesozoicos. En esta cubeta el río Cega presenta dirección N15E sobre materiales sedimentarios, más fácilmente erosionables. Una vez alcanzado el extremo septentrional de la fosa, el río Cega adquiere la dirección típica del margen castellano de la Sierra de Guadarrama, N135E (IGME, 2004a).

3.2.2. Ríos de la vertiente madrileña

En la vertiente madrileña destacan otros cuatro ríos cuyas cuencas hidrográficas se alimentan de las aguas del Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama. Estos ríos son, de oeste a este, el río Guadarrama, el Manzanares, el Guadalix (afluente del Jarama) y el Lozoya (Fig. 8).

Río Guadarrama

El río Guadarrama toma este nombre en la localidad de Los Molinos, a partir de la confluencia del arroyo de la Venta y el río de las Fuentes (formado a su vez por la confluencia de los ríos Pradillo y Navalmedio aguas arriba). La cuenca del río Guadarrama recoge el agua de escorrentía superficial del valle configurado por el Puerto de Guadarrama, Pico de la Peñota, Cerro Minguete, Puerto de la Fuenfría, ladera sur de Siete Picos, Puerto de Navacerrada y la Cuerda de las Cabri-llas.

Geológicamente, el río Guadarrama y sus afluentes discurren a través de rocas de origen ígneo, pertenecientes a diferentes cuerpos plutónicos intrusivos (IGME, 2006). La red fluvial asociada a este río se encaja en el sistema de fallas y fracturas existente, presentando las direcciones típicas de cada uno de los cuerpos plutónicos. Las diferentes intrusiones magmáticas se producen en fases sucesivas, asociadas a diversas fases tectónicas con diferentes tensores de deformación. En consecuencia, el río Guadarrama y sus afluentes cambian de dirección a medida que atraviesan los diferentes cuerpos plutónicos, adaptándose a la red de fracturación dominante (planos o zonas de debilidad en la roca).

Río Manzanares

El río Manzanares tiene su nacimiento a gran altitud (2.200 m s.n.m.), a los pies del alto de Guarramillas (Bola del Mundo) en su vertiente sur, y recoge las aguas de relieves de gran altitud (la mayoría alcanzan los 2.000 m s.n.m.). Junto con el río Samburiel, afluente del río Manzanares, y el río Navacerrada, afluente del primero, conforman la principal red fluvial del sector meridional de la Sierra de Guadarrama. La red fluvial de la cuenca del río Manzanares tiene diferentes factores de control, como son el litológico y el de tipo tectónico-estructural.

Las cuencas de los ríos Samburiel y Manzanares están separadas por la sierra de los Porro-

nes, constituida por rocas graníticas (leucogranitos tipo “La Pedriza-Peguerinos”), al igual que los relieves graníticos que constituyen La Pedriza del Manzanares. Este tipo de rocas graníticas, de mayor dureza que otros granitos de la zona, hace que la red fluvial presente direcciones acordes con esta condición: los ríos Navacerrada y Manzanares presentan cauces encajados en los granitos “más blandos”, circundando los relieves constituidos por formaciones graníticas más resistentes (IGME, 2004b; IGME, 2006).

El río Samburiel se encaja en una gran fractura regional N75E, a favor de la cual afloran sedimentos mesozoicos. Más al este, otra fractura da lugar a la fosa o graben inverso de Guadalix de la Sierra-Torrelaguna.

A partir del embalse de Manzanares el Real (o de Santillana), el río Manzanares toma dirección sur de nuevo a través de rocas graníticas, encajándose en la red de fracturas dominante N-S hasta su llegada al embalse de El Pardo, ya en la cuenca sedimentaria del Tajo.

Río Guadalix

El río Guadalix, junto con el Lozoya, son afluentes del río Jarama. Por el primero circulan las aguas del sector más oriental del Parque Nacional, a través de un valle de apertura hacia el sureste. El valle en el que nace este río está configurado por el Pico de la Najarra, el Puerto de la Morcuera, el Alto de la Genciana y el Cordal de la Vaqueriza.

En origen, tiene su nacimiento en materiales metamórficos de tipo ortogneis glandular, con dirección SE. Pasa a continuación a circular sobre un lecho de rocas ígneas de menor relieve que los terrenos metamórficos que le preceden. En este tramo varía su dirección a prácticamente E-O, una de las principales directrices de fracturación que presentan este tipo de rocas. Se dirige a continuación hacia la fosa o graben de Guadalix. Aquí el río Guadalix, junto con otros arroyos, da lugar al embalse de Pedrezuela o de El Vellón, cuyo cierre se ubica sobre rocas metamórficas de tipo esquistoso, situadas al sur del embalse. A partir de aquí discurre encajado en estos materiales metamórficos, con un trazado irregular hasta su salida a la cuenca del Jarama (IGME, 2004b).

Río Lozoya

El río Lozoya (de las Angosturas en su tramo inicial) es un ejemplo claro de río de montaña condicionado por variables de tipo tectónico-estructural. Su nacimiento se produce a partir de la confluencia de los arroyos Cerradillas, Guarramillas y Cotos, principalmente, y en él confluyen las aguas procedentes de las cumbres de Peñalara, Puerto de Cotos, Alto de Guarramillas, y de la vertiente septentrional de Cuerda Larga, en un valle de apertura hacia el este.

Este río actúa de colector del agua de escorrentía superficial de las cumbres más importantes de la Sierra de Guadarrama por ambos márgenes. Por su margen izquierda recibe el

Tabla II. Principales embalses en los ríos de la Sierra de Guadarrama.
— Main reservoirs in the rivers of the Guadarrama mountain range.

Vertiente	Cuenca del río principal	Río/arroyo	Embalse	Capacidad Útil (hm ³)
Cuenca del Tajo/madrileña	Lozoya	Lozoya	Puentes Viejas	50
		Lozoya	El Villar	23
		Lozoya	Riosequillo	50
		Lozoya	El Atazar	426
		Lozoya	Pinilla	38
	Guadalix	Guadalix	El Vellón/Pedrezuela	41
	Manzanares	Manzanares	Santillana/Manzanares	91
		Manzanares	El Pardo	45
		Navacerrada/Samburiel	Navacerrada	11
	Guadarrama	Guadarrama	Las Nieves	0,2
		La Jarosa/Guatel 2º	La Jarosa	7
		Navalmedio	Navalmedio	1
			Total capacidad (hm ³)	783,2
C. Duero/segoviana	Pirón	Pirón	Torrecaballeros	5
	Eresma	Eresma/Cambrones	Pontón Alto	7,3
		Río Frío	Puente Alta/Revenga	2,5
	Moros	Moros	Los Ángeles	1,6
			Total capacidad (hm ³)	16,4

agua de los Montes Carpetanos/Macizo de Peñalara y, por su margen derecha, de la vertiente septentrional de la línea de cumbres que constituyen la Cuerda Larga y los Altos de la Morcuera. Ambas vertientes están constituidas por rocas metamórficas de tipo ortogneis glandular, y el río se encaja a favor de la directriz principal de fracturación N45E. En el punto en que alcanza la fosa tectónica del Lozoya (bloque hundido o graben inverso de dirección NE-SO), este río sufre un cambio brusco de dirección N10W, a favor de la falla transversal que delimita el bloque hundido en su margen occidental.

El río Lozoya se adentra en el valle homónimo con dirección N45E, similar a la directriz tectónica que marca la dirección de la fosa. En el extremo oriental del valle, en el cierre tectónico-litológico de la propia fosa, el río pasa a discurrir a través de una sucesión de materiales metamórficos de tipo gnéisico, adoptando la dirección de las principales directrices tectónicas N45E y N90E principalmente (ITGE, 1998b).

El importante caudal de agua conducido por el río Lozoya, consecuencia del drenaje de la esorrentía superficial de dos los principales macizos del Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama, determina el intenso aprovechamiento de sus aguas, mediante la construcción de una sucesión de embalses que acumulan un gran volumen de recursos hídricos.

3.3. *Aprovechamiento de las aguas superficiales*

El agua de los ríos de montaña es, en sí misma, un valioso recurso natural que el hombre aprovecha desde los orígenes de la civilización, de forma más precaria en sus comienzos, mediante represas de piedra y ramas, y mediante auténticas obras de ingeniería en los tiempos modernos. El objetivo es siempre el mismo: la retención y acumulación de agua en las áreas serranas, para su aprovechamiento posterior en la misma zona o en cotas más bajas. La calidad de estas aguas es excelente, con bajo contenido mineral, tal y como se ha explicado anteriormente.

Las presiones antrópicas determinan las formas de aprovechamiento del agua. En este caso, destaca por encima de todas la presión demográfica, en tanto que la numerosa población de la comunidad de Madrid requiere de un gran volumen de recursos de agua para diferentes usos (abastecimiento de agua potable e industrial, principalmente), sustancialmente mayor que los de la provincia de Segovia. La población de la Comunidad de Madrid asciende a 6,4 millones de habitantes, por los 157.000 habitantes de la provincia de Segovia (INE, 1 de enero de 2015).

Otra función que desempeñan los embalses es la de regulación y laminación de avenidas. Las presas se utilizan como sistema regulador del caudal de los ríos, evitando la incidencia de caudales punta de avenida, capaces de generar graves da-

ños materiales e importantes inundaciones aguas abajo.

La distribución de embalses es heterogénea en relación a la vertiente de la Sierra de Guadarrama considerada, tanto por el número de embalses como por su capacidad (Fig. 9). En la Tabla II se reflejan los principales embalses ligados a los ríos cuyo nacimiento se produce en el entorno del Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama, considerando un radio de 20 km con respecto a sus límites.

Además de los embalses de la Tabla II, existen numerosos embalses menores en los arroyos y ríos en ambas vertientes de la Sierra de Guadarrama. Únicamente se han contabilizado aquellos cuya capacidad de almacenamiento se puede considerar como un recurso de agua significativo.

El volumen de agua útil acumulado en la vertiente madrileña es de 780 hm³, mientras que en los embalses contabilizados en la vertiente segoviana este volumen es de apenas 16 hm³. De la capacidad total de agua embalsable en la Comunidad de Madrid (945,8 hm³), el 84% se acumula a partir de ríos de la Sierra de Guadarrama que nacen en el entorno del Parque Nacional. Una vez más se pone de manifiesto la importancia estratégica de la Sierra de Guadarrama con respecto a los recursos hidráulicos.

De todos los embalses considerados destaca el de El Atazar, con 426 hm³ de capacidad, volumen que cuadruplica el del siguiente embalse en capacidad (Santillana, 91 hm³).

Es destacable la adecuada ubicación de los embalses para aprovechar al máximo las potencialidades que ofrece la sierra: se localizan en cuencas muy poco permeables lo que garantiza pocas pérdidas por infiltración; en las regiones donde más llueve y/o nieva y donde la evaporación es menor; en zonas originalmente poco o nada contaminadas, de excelente calidad del agua y topográficamente muy altas con respecto a los puntos de demanda, por lo que el agua se deriva por fuerzas de gravedad con escasa impulsión.

4. EL AGUA SUBTERRÁNEA: SUS CAMINOS EN LA ALTA MONTAÑA

Desde el punto de vista de la componente subterránea del ciclo del agua, la fracción proveniente de la infiltración es la que determina el almacenamiento y movimiento del agua subterránea en el subsuelo. Una parte importante de esta agua infiltrada se queda almacenada en la zona no saturada, constituyendo el agua edáfica, de donde vuelve a la atmósfera por evapotranspiración. El movimiento del agua en el subsuelo se debe fundamentalmente a la acción de la gravedad, interviniendo en la zona no saturada otras fuerzas, como la tensión superficial, que retienen buena parte de agua en los poros del subsuelo. El agua que no queda retenida en la zona no saturada continúa su camino y alcanza el nivel freático, dando lugar a

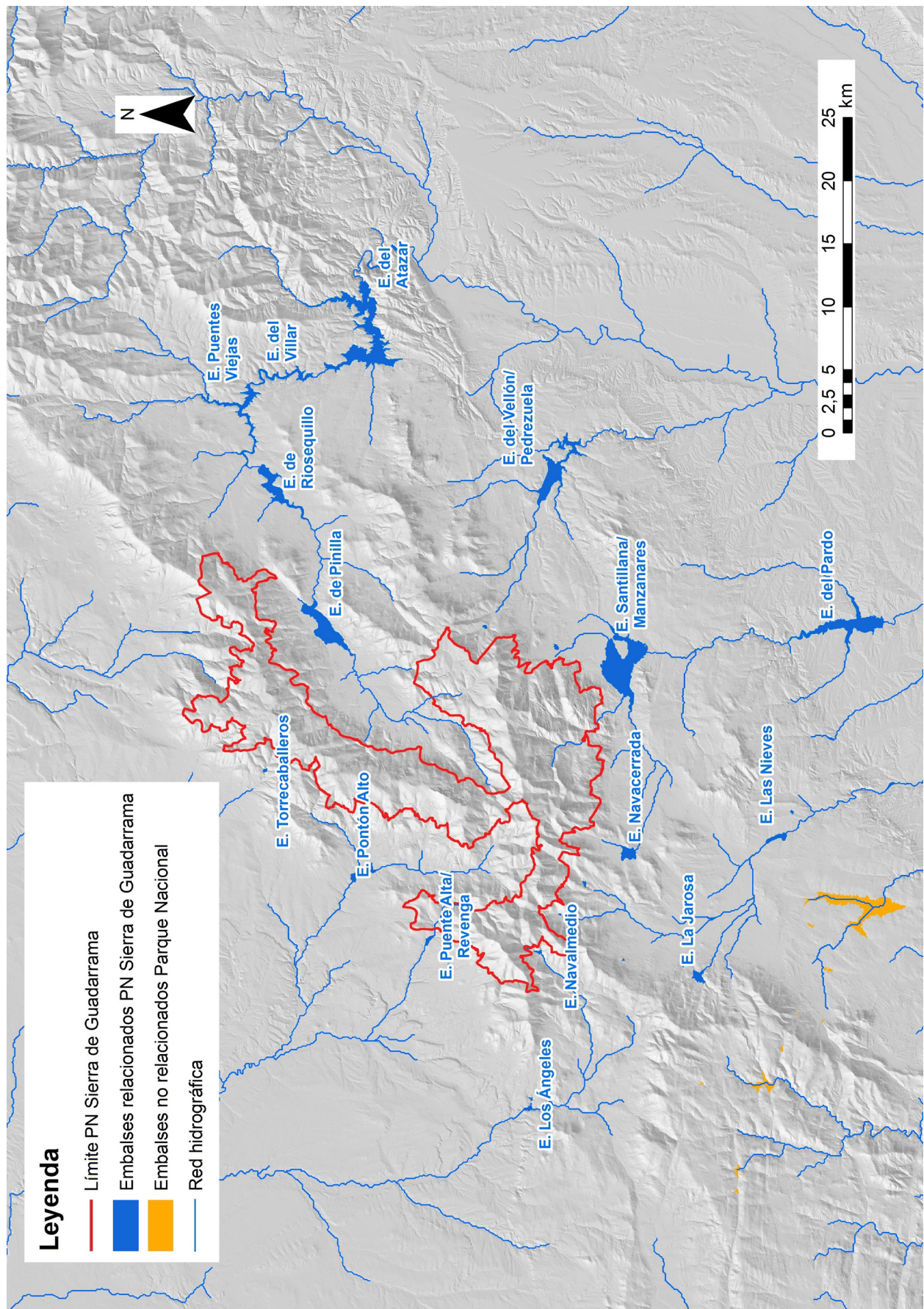


Figura 9. Localización de los principales embalses de la Sierra de Guadarrama (J. del Pozo).
 — Location of the main reservoirs in the Guadarrama mountain range (J. del Pozo).

lo que se denomina lluvia eficaz e iniciando su movimiento como flujo subterráneo, hasta volver a la superficie en forma de surgencias difusas y manantiales, o conectar con otras masas de aguas superficiales como ríos, lagos y embalses.

Por tanto, parte del agua que se infiltra en el terreno da lugar a una escorrentía subterránea rápida y subsuperficial, que tiene una relativa mayor importancia en zonas de alta montaña constituidas por rocas ígneas y metamórficas. Esta agua no llega a alcanzar el nivel freático regional, sino que se desplaza por pequeños niveles acuíferos colgados saturados en agua, de carácter efímero, y relacionados con precipitaciones intensas o con los procesos de fusión de la nieve. La capacidad de almacenamiento de estos acuíferos colgados es muy limitada y su surgencia en la superficie se produce con rapidez en relación al flujo subterráneo más profundo.

Otra fracción del agua infiltrada continúa su camino hasta alcanzar el nivel freático regional y queda almacenada en acuíferos de mayor entidad, incorporándose a partir de ese momento al flujo subterráneo que, tras un tiempo de residencia variable, acabará surgiendo en superficie o alcanzando el cauce de un río o un lago. Esta componente del ciclo hidrológico da lugar a la denominada escorrentía de base, formada por la escorrentía subterránea y la superficial diferida, que mantiene durante un tiempo los caudales de base de los cursos de agua superficiales, aunque no se produzcan precipitación o fusión de nieve desde un tiempo antes.

Uno de los elementos más significativos de la Sierra de Guadarrama relacionados con el agua subterránea son sus manantiales. Un manantial puede definirse como un punto o zona de la superficie del terreno en la que, de modo natural, fluye a la superficie una cantidad apreciable de agua, procedente de un acuífero (CUSTODIO & LLAMAS, 1996). A veces la descarga de agua subterránea no se identifica en un punto concreto, sino en una zona diseminada de rezume donde el agua surge por diversos puntos que pueden ir variando en el tiempo. Las características de un manantial vendrán determinadas por los parámetros geométricos e hidráulicos del acuífero y por su área de recarga.

En el caso de la Sierra de Guadarrama, los manantiales y fuentes, entendiéndose por estas últimas la construcción antrópica que adorna o regula de alguna manera la surgencia natural de agua, resultan muy abundantes y se encuentran ubicados a cotas muy variables. En general aportan agua de excelente calidad con temperatura de surgencia baja.

La gran mayoría de estos manantiales son de pequeño caudal, sobre todo los situados a cotas más altas, ya que su área de recarga es muy limitada, si bien al tratarse de zonas generalmente lluviosas, acompañadas de aportes por deshielo, pueden alcanzar caudales de algunos litros por minuto.

En la Figura 10 se representa un corte geológico sintético idealizado de la Sierra de Guadarrama, entre las poblaciones de Segovia y Soto del Real (Madrid). En ella se resumen, de manera didáctica, las principales formas de interacción del agua subterránea con el medio geológico en esta zona considerada como de alta montaña y las manifestaciones en superficie que produce la interacción del flujo subterráneo con la topografía. Probablemente, la manifestación de agua subterránea más conocida y valorada por los caminantes que transitan por las trochas y calzadas de la sierra, y por la sociedad en general, sean los manantiales.

Surgen en las depresiones en los que el techo de la zona saturada es cortado por la topografía. Cuanto más baja relativamente sea la cota, y mayor el área de recarga, los manantiales darán lugar a cursos de agua más caudalosos y permanentes, constituyendo por tanto el nacimiento de los ríos que discurren por los valles. El caudal de los manantiales de alta montaña varía considerablemente en función de las variaciones en la recarga y, en el caso de la Sierra de Guadarrama, dada la escasa capacidad de almacenamiento de las rocas, pueden permanecer secos durante los meses de estiaje.

Los manantiales de menor entidad y caudal son los que tienen su alimentación a partir de acuíferos pequeños, colgados con respecto al nivel freático regional, y surgen en las zonas de contacto entre formaciones geológicas con contrastes de permeabilidad.

En el caso de la Sierra de Guadarrama son muy típicas las surgencias de agua formadas a partir de pequeños acuíferos constituidos por los materiales sueltos que forman los coluviones, aluviones y depósitos torrenciales (Fig. 10, detalle 1), depósitos sedimentarios que cubren las laderas y rellenan los valles formando taludes más o menos tendidos.

La tectónica también tiene su influencia en el almacenamiento y distribución de estos pequeños acuíferos someros. Las formas generadas en la evolución del relieve, vinculadas a discontinuidades tectónicas o zonas de preferente fracturación de las rocas, influyen en la morfología de las laderas y los piedemontes, dando lugar a rellanos de extensión algo mayor, denominados “navas”, o menor, conocidos localmente como “poyos”. Las “navas” y “poyos” aparecen con frecuencia asociados a topónimos de la sierra (Navacerrada, Hoyo Poyales, Navas del Marqués, etc.), constituyendo formas planas y abiertas capaces de almacenar agua en pequeñas cantidades.

Otro tipo de manantiales comunes en la sierra son los constituidos por la descarga de agua subterránea a favor de discontinuidades en el macizo rocoso, básicamente fallas (Fig. 10, detalles 2 y 3) y los asociados con los diques que intruyen en las rocas plutónicas y metamórficas, y que a veces actúan como zona de drenaje y otras como barrera de baja permeabilidad, en función de la permeabilidad relativa con la roca encajante (Fig. 10, detalle 4).

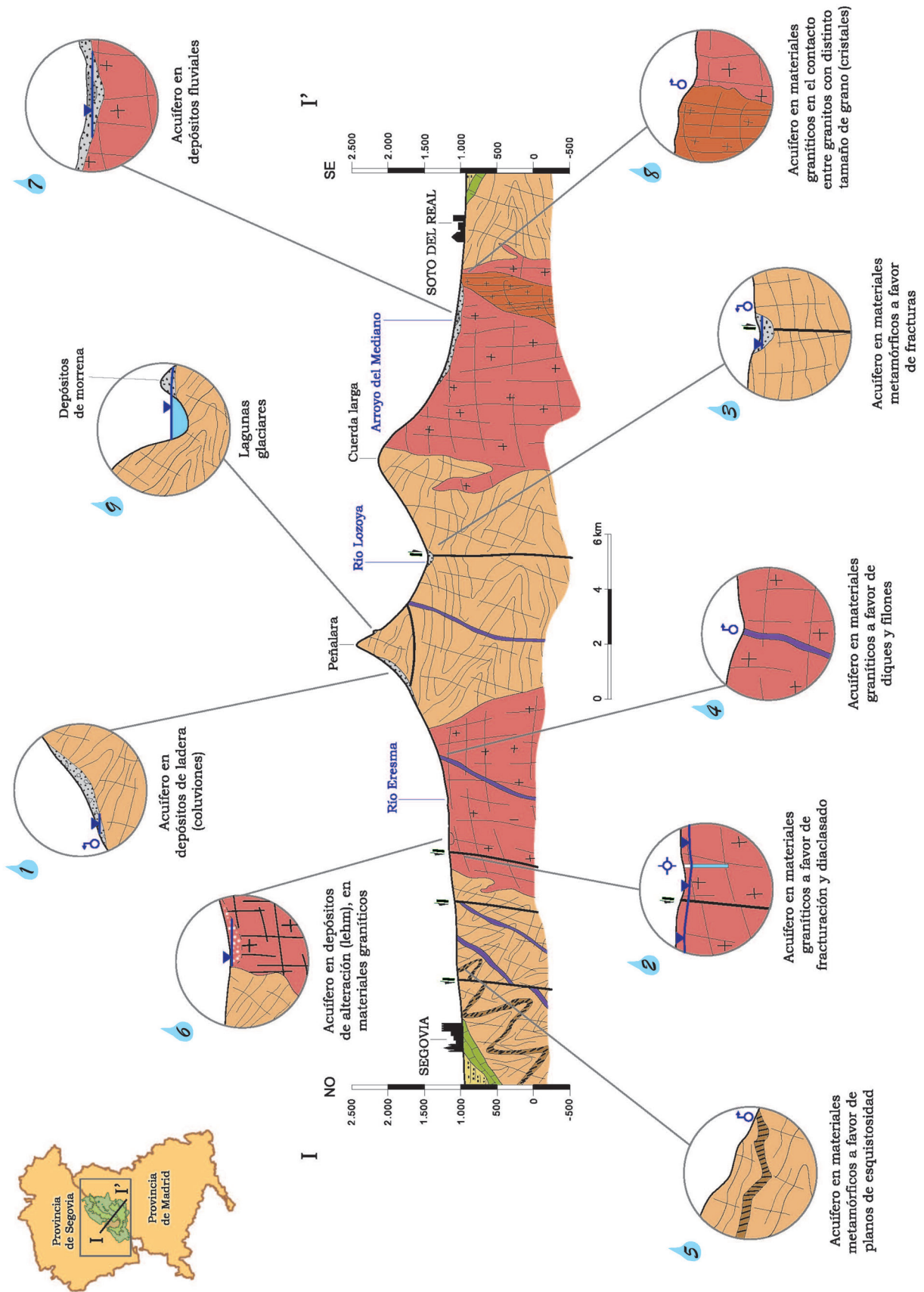


Figura 10. Corte geológico idealizado y detalle de las situaciones de almacenamiento y surgencia de agua subterránea en la Sierra de Guadarrama (modificado de A. García de Domingo, en MEJÍAS *et al.*, 2015).
 — Geological idealized cross section and detailed situations of storage and flowing of groundwater in the Guadarrama mountain range (modified from A. García Domingo, in MEJÍAS *et al.*, 2015).

También se forman acuíferos colgados de pequeña entidad en los planos de esquistosidad de las rocas metamórficas, que descargan en superficie mediante surgencias en general difusas y de escaso caudal (Fig. 10, detalle 5).

Uno de los tipos de acuífero de mayor importancia en las zonas de montaña, constituidas por rocas metamórficas y, sobre todo, plutónicas, son los depósitos en las zonas superficiales de alteración, que dan lugar a suelos arenosos de notable porosidad y buena capacidad de almacenamiento, denominados *lehm*. Su mayor desarrollo aparece en los valles e interfluvios. Pueden llegar a tener espesores importantes, de algunas decenas de metros, y constituyen siempre un lugar de preferencia a la hora de llevar a cabo estudios para abastecimiento con aguas subterráneas en este tipo de materiales geológicos (Fig. 10, detalle 6).

Otro lugar preferente de acumulación del agua subterránea son los materiales transportados por los ríos en forma de bloques, cantos, gravas, arenas, limos y arcillas, erosionados a partir de las rocas plutónicas y metamórficas, que forman un tapiz de hasta varios metros de espesor y en el que se almacenan pequeños volúmenes de agua subterránea (Fig. 10, detalle 7). Resultan de especial interés las terrazas fluviales que constituyen la base de magníficos prados en el valle del Lozoya.

También pueden aparecer pequeños afloramientos de agua subterránea en zonas de contacto entre rocas graníticas con distinto tamaño de grano, en las que los contrastes de permeabilidad favorecen la surgencia de agua (Fig. 10, detalle 8).

Otro aspecto a destacar en relación con el agua en la Sierra de Guadarrama es la existencia de depósitos detríticos como consecuencia del glaciario cuaternario en las zonas topográficamente más altas, que constituyen los denominados canchales periglaciares y morrenas de cierre de los circos glaciares pleistocenos. Estas últimas forman cubetas en las que se almacena el agua de la precipitación y del deshielo, a la vez que los depósitos periglaciares y glaciares favorecen un discreto almacenamiento de agua subterránea y una escorrentía subsuperficial que, en conjunto, da lugar a la formación de lagunas de alta montaña (Fig. 10, detalle 9), en las que el pequeño volumen de agua subterránea y escorrentía subsuperficial contribuye a su mantenimiento en los periodos de estiaje. En la Sierra de Guadarrama hay un total de 20 lagunas de origen glaciar (MEJÍAS *et al.*, 2015) de las que la más conocida es la laguna Grande de Peñalara, ubicada en el macizo homónimo en cuya vertiente meridional existe un espectacular circo glaciar que alberga varias de estas lagunas, mientras que la cara septentrional conforma un relieve menos accidentado.

Como hemos visto, el agua subterránea se almacena principalmente en las zonas meteorizadas, las fallas, los diques y las diaclasas de las rocas. La meteorización y la fracturación resultan más intensas cerca de la superficie y decrecen con la profundidad. En las rocas intrusivas, metamórfi-

cas y filonianas influye más la impronta dejada por la meteorización y la fracturación que la propia litología de la roca o las dimensiones del macizo rocoso. La litología de los diferentes tipos de rocas ígneas y metamórficas no es un factor que condicione de manera determinante sus recursos hídricos subterráneos, ya que no existen diferencias significativas en su grado de consolidación. Todas se consideran “rocas duras”, es decir muy compactas, con reducida capacidad de almacenamiento y muy baja porosidad primaria, siendo la porosidad secundaria la que condiciona su almacenamiento (FCIHS, 2009).

La meteorización se produce por cambios físicos (variaciones de temperatura, dilataciones, congelación del agua almacenada en la roca, etc.) y químicos (hidrólisis, disolución y oxidación) que cambian, transforman o modifican el tamaño y tipo de los minerales que forman las rocas. La meteorización química penetra más en climas tropicales que en los templados o fríos y puede llegar a multiplicar por 10 o 20 la porosidad primaria de una roca, la fracturación no aumenta la porosidad en la misma proporción, en general no es superior a un 2 a 5% (CUSTODIO & LLAMAS, 1996).

La permeabilidad primaria de las rocas ígneas y metamórficas es muy reducida, en cambio la secundaria, la producida por la meteorización y la fracturación, multiplica la permeabilidad de los macizos rocosos al menos por tres o cuatro órdenes de magnitud. Los valores de permeabilidad en rocas plutónicas y metamórficas pueden variar considerablemente, desde ser prácticamente cero en bloques no alterados ni fracturados a varios centenares de metros/día en bloques con grietas abiertas y limpias, también tiene una importante heterogeneidad vertical y disminuye al aumentar la profundidad.

Así, por ejemplo, en estudios de detalle de caracterización hidráulica de formaciones graníticas, tipo monzogranitos y leucogranitos biotíticos, ubicado en el sector oriental del Sistema Central, obtenidos mediante ensayos hidráulicos específicos de baja permeabilidad (ensayos de inyección en régimen transitorio a caudal o nivel constante, pulso y slug) se obtuvieron valores mínimos de conductividad hidráulica de 4×10^{-12} m/s, máximos de 3×10^{-7} m/s, siendo los más comunes en el entorno de 1×10^{-10} m/s (MEJÍAS *et al.*, 2005).

Las fracturas en las rocas son de diversos tipos y génesis: las fallas conllevan desplazamiento y suelen ser debidas a movimientos tectónicos; las diaclasas, además de un origen tectónico, pueden deberse a la descompresión por episodios de compensación isostática de los macizos rocosos, a la descompresión durante el proceso de enfriamiento del magma o a la esquistosidad de la roca. Ambas aumentan la porosidad y la permeabilidad de las rocas. La apertura de las diaclasas puede tener algunos milímetros en superficie y estar cerradas en profundidad, mientras que las fallas pueden alcanzar grandes profundidades y ser las vías prefe-



Figura 11 Diferentes vistas del acueducto del Puente de los Canales (M. Mejías).

— Different views of the Puente de los Canales aqueduct (Bridge of Channels) (M. Mejías).

rentes para la circulación de flujos de agua subterránea profundos.

Esto hace que en este tipo de medios puedan coexistir sistemas de flujo a diferente profundidad, con tiempos de circulación muy variables y con relaciones entre los diferentes tipos de flujo que pueden ser casi nulas. Los valores de los parámetros hidráulicos tienen una representatividad próxima al entorno donde se obtienen, no resultando adecuado generalizar o extender estos valores a otras áreas del macizo rocoso dadas la alta heterogeneidad y anisotropía de estos materiales.

5. EL AGUA COMO IDENTIDAD CULTURAL EN LA SIERRA DE GUADARRAMA

5.1. *El agua en la tradición local*

En la sierra, el agua no solo constituye un recurso natural o un agente modelador del paisaje, sino que es también parte importante de su cultura. Una singular y extensa cultura que abarca facetas diversas, desde la literatura y la pintura, hasta las corrientes científicas que surgen al amparo de sus paisajes a finales del siglo XIX. Así, el agua del Guadarrama se menciona en los escenarios de las andanzas de clásicos de la literatura, como *El Libro del Buen Amor*, del Arcipreste de Hita (1283-1350); es fuente de inspiración de poemas, como por ejemplo en los versos de Enrique de Mesa (1878-1929) relativos al arroyo de Garcisancho:

“Desde las cumbres, libre
ruedas por el monte abajo,
tus puros, limpios cristales
entre las piedras quebrando”

O, por citar algún ejemplo más, en el color y la plasticidad de las ondas concéntricas de agua surgidas desde la orilla de un río serrano en la obra pictórica de Enrique Simonet (1866-1927).

El ser humano ha mantenido una relación continua y necesaria con el agua como recurso natural y cultural, tanto para el consumo humano

directo, como para el desarrollo de la agricultura y, posteriormente, como fuente de energía en multitud de ingenios hidráulicos que aún perduran en la sierra como testimonio de esta relación secular.

En la Sierra de Guadarrama el agua y el ser humano forman un indisoluble entramado, una relación antigua y necesaria que, en un medio físico en ocasiones extremadamente hostil, ha dado lugar a diferentes usos y a tradiciones asociados que han facilitado las tareas cotidianas, haciendo posible la vida de sus moradores en este paraje natural. El uso primario y primordial del agua en la sierra es el abastecimiento de la población local, lo que implica, además, su transporte.

El problema de la canalización de las aguas procedentes de los ríos, para llevarlas hasta los asentamientos humanos, ya fue resuelto en la época del Imperio Romano mediante diversas conducciones hidráulicas, entre ellas los acueductos. Existen dos ejemplos en este entorno: el acueducto de Segovia y el del Puente de los Canales, este último del siglo XVI, situado en los Montes de Valsaín (Fig. 11). Junto a estas conducciones existen en el entorno del Parque Nacional otras canalizaciones de origen árabe, llamadas caceras o acequias, cuyo uso principal era el del riego de los campos.

El otro gran aprovechamiento del agua en la Sierra de Guadarrama es la obtención de energía hidráulica. Esta energía se consigue a partir de la potencial y cinética contenida en las masas de agua que transportan los ríos. Estas características hacen que su presencia haya sido significativa en la sierra, donde existe una combinación adecuada de precipitación, desniveles topográficos y orografía favorable para la construcción de embalses. Consecuencia de ello es que la Sierra de Guadarrama cuenta con un variado y rico Patrimonio Industrial formado por ingenios hidráulicos, maquinaria y edificios que en el pasado tenían como objetivo transformar la fuerza del agua en energía. Así, los ingenios hidráulicos han sido durante siglos instrumentos determinantes en la explotación

industrial de la economía forestal y agraria de la sierra, especialmente en sus áreas más agrestes.

5.2. Infraestructuras hidráulicas históricas

Por su singularidad y utilidad para el suministro humano, y aunque no tuviera el mismo origen y uso que las caceras de riego, merece la pena hacer mención a la canalización de agua más antigua de la que se tiene referencia en este territorio: el acueducto de Segovia. El origen de la ciudad de Segovia es anterior a la colonización romana, sin embargo fue durante esta época cuando se construyó una de las más impresionantes obras de la ingeniería civil de la antigüedad. Y con ello nos referimos no sólo al monumental y conocido puente acueducto, seña de identidad de la ciudad de Segovia, sino a todo el complejo sistema de abastecimiento que desarrolló la sociedad romana y del que tan orgullosos se sentían, como corroboran las palabras de Plinio (XXXVI, 15).

“... pero si alguien calculara cuidadosamente la cantidad de agua de los suministros públicos (...) y por la distancia que deben atravesar, los arcos construidos, las montañas perforadas, los valles nivelados; tendremos que confesar que nunca ha habido nada más maravilloso en todo el mundo.”

El acueducto, en toda su longitud, ha sufrido numerosas transformaciones a lo largo de los siglos, ya que estuvo en funcionamiento hasta el siglo XX, nada menos que a lo largo de más de dieciocho siglos. El azud que actualmente conocemos no es de factura romana, sino que probablemente pertenece a la restauración que se hizo en el siglo XV por orden de los Reyes Católicos. La corriente, tras pasar por el azud, llega a un decantador, en cuyo fondo quedan parte de los sólidos en suspensión que pudiera llevar consigo el agua. Después, es conducida por una cacera subterránea, entubada en el año 1929 mediante tubería de cemento, en lo que se conoce como el tramo extraurbano y periurbano del acueducto, hasta el primer desarenador. Actualmente este trazado constituye uno de los senderos señalizados más visitados en el Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama, partiendo de la misma ciudad de Segovia.

Otro de los acueductos que se pueden encontrar en la vertiente norte de la Sierra de Guadarrama es el que reposa sobre el conocido como Puente de los Canales. Este puente, situado en los Montes de Valsaín, fue levantado en 1552 bajo la dirección de Luis de Vega. Está construido en granito y consta de un solo arco en perfecto estado de conservación. Junto al puente hay una serie de pilastras sobre las cuales descansa un canal de madera por el que circulaba el agua, siendo utilizado como acueducto para llevar agua al Palacio de Valsaín desde el arroyo de Peñalara, pasando por encima del cauce del río Eresma, así como para el riego de la finca El Parque.

Pero si los romanos fueron grandes ingenieros hidráulicos para el abastecimiento de sus

ciudades, centros de la economía y la política del mundo antiguo, fue en la época musulmana cuando se desarrolló en la Península Ibérica la agricultura de regadío, al introducir cultivos propios de zonas tropicales y subtropicales que requerían de irrigación para prosperar en el clima mediterráneo. La introducción del regadío modificó así el paisaje, aprovechando las zonas más productivas con los nuevos cultivos orientales y mejorando la productividad de los cultivos autóctonos tradicionales.

Para aprovechar el agua de los ríos y llevarla hasta los lugares de consumo, se encontró una sencilla solución en lo que se conoce en muchos lugares de España como acequia, y que en la Sierra de Guadarrama se ha venido llamando cacera: “zanja o canal que se hace para sangrar algún caudal, y conducir agua para regar los campos, huertas y plantíos de árboles, que por otros nombres se llama caz y regadera” (*Dictionary of Greek and Roman Antiquities*, 1727). Pero las caceras, que debieron construirse, en su mayoría, a comienzos de la repoblación medieval (siglos XI y XII), son además un sistema social de organización, distribución y regulación del agua en la Sierra de Guadarrama y constituyen un elemento excepcional para entender el hábitat, el paisaje y una herencia irreplicable en el imaginario colectivo fraguada a lo largo de siglos de gobernanza del territorio (PINILLOS & MARTÍN, 2015).

Tanto en los acueductos como en las caceras, el agua se desvía de un cauce natural mediante una pequeña represa, denominada azud, que divide parte del agua hacia el canal de la cacera madre y cuya entrada se regula mediante una compuerta. A partir de ese punto, el agua discurre por gravedad a lo largo del canal excavado en el terreno, con una pendiente calculada con sorprendente precisión de manera que no fluya demasiado rápida, evitando los arrastres y la erosión del lecho, ni demasiado lenta, evitando su estancamiento.

La regulación del uso del agua dio lugar a la creación de Cabildos, Juntas o Comunidades de propietarios y regantes y a la aprobación de sus correspondientes Ordenanzas y Reglamentos para evitar contiendas y disputas entre los usuarios, dando lugar a las primeras estructuras de organización social, y mostrando el sentido solidario y colectivo del aprovechamiento de un bien común. La primera noticia de acuerdos para el aprovechamiento del agua mediante caceras para el riego de huertos, prados y linars data del año 1221, cuando se constituyó una Comunidad de Aguas para el uso del recurso que aportaba el río Viejo entre los pueblos de: Sotosalbos, Pelayos del Arroyo, La Cuesta, Losana de Pirón, Tenzuela, Santo Domingo de Pirón y Torreiglesias, todos ellos de la provincia de Segovia (PINILLOS & MARTÍN, 2005).

Las caceras cayeron en desuso debido a la extensión de la cultura urbano-industrial durante la segunda mitad del siglo XX, que condujo a la crisis agrícola, la desarticulación del sistema social y el ocaso de la cultura tradicional en pueblos

y campos, modificando radicalmente los usos del suelo y del paisaje.

Otra parte importante del paisaje cultural sobre los usos del agua en la Sierra de Guadarrama es el aprovechamiento de su energía, mediante diversos ingenios hidráulicos que facilitaban algunas de las tareas más pesadas que tenían que realizar sus pobladores. Estos ingenios se constituyeron en herramientas de gestión del medio natural y han transformado la fuerza del agua en energía. La rueda hidráulica y la máquina de vapor han permitido el funcionamiento de los molinos, las fraguas y los batanes, así como facilitar la explotación de la madera o del vidrio y el funcionamiento de las conocidas en la zona como “fábricas de luz”.

En Guadarrama, debido a sus características orográficas, se desarrolló una importante actividad molinera. Los molinos hidráulicos se situaban aprovechando lugares con un cierto desnivel, en las dos vertientes de la sierra, al lado de los ríos y arroyos que discurrían por sus valles y aprovechaban la energía del agua que era captada en las zonas más altas y se desviaba mediante una pequeña presa o azud. La conducción se realizaba por un canal o caz hasta un depósito de agua, donde se precipitaba con fuerza en las paletas del rodezno o la turbina, haciéndolos girar. La rueda se introducía en la corriente, y el giro era transmitido a través del eje a la estructura superior móvil.

Las posibilidades que ofrecía la energía hidráulica aplicada a la técnica molinar fueron cada vez más numerosas. Así, surgen varios tipos de molinos, por ejemplo los harineros o de papel, como el situado junto al río Lozoya, en la finca de Los Batanes (Rascafría), frente a la Cartuja del Paular. La historia del molino de papel de los cartujos, conocido como de “Los Batanes”, va unida a la de la Cartuja del Paular. Incluso con fecha anterior a la fundación de la Cartuja ya funcionaba como serrería para abastecer de madera a la construcción del Paular. Aunque no se tiene certeza de cuándo el molino pasa de ser serrería a fábrica de papel, consta por un privilegio de Doña Juana la Loca que, en el siglo XVI, este molino estaba dedicado a esa actividad. De él salió el papel en el que se imprimió la primera edición de *El Quijote* (AYUNTAMIENTO DE RASCAFRÍA, 2014).

Por otra parte, los molinos hidráulicos harineros, en los que se empleaba la rueda horizontal o rodezno, han tenido una presencia importante en ambas vertientes de la sierra. Así, existen más de una treintena en la vertiente segoviana, entre los que cabe destacar: el molino de Los Feos de Aldealengua de Pedraza, el molino de Los Tomasones en Navafría, cuyo edificio se encuentra en muy buen estado de conservación, el molino del Romo de Santo Domingo de Pirón, el molino del Concejo de Basardilla, o los tres molinos de Palazuelos de Eresma (CABERO *et al.*, 2006).

No menos importantes son los molinos harineros de la vertiente madrileña, como el de Becerril de la sierra o los ocho que llegaron a existir en Manzanares El Real, según el Catastro del Mar-

qués de la Ensenada del siglo XVIII, de los que solo quedan las ruinas del llamado “Molino de Cura”, ya recogido en un plano de Tomás López en 1724, y que llegó a utilizarse hasta después de la Guerra Civil, 1936/39.

Otro ejemplo preindustrial del uso de la rueda hidráulica es el martinete o aprovechamiento para batido y moldeado del cobre. El martinete es un claro ejemplo de cómo la aplicación de la rueda hidráulica y del sistema de levas permitió automatizar las costosas tareas de la forja de metales durante siglos. En la Sierra de Guadarrama el martinete mejor conservado es el de Navafría (Segovia), construido por los hermanos Abán a mediados del siglo XIX (SOLER, 2015; VÁZQUEZ, 2010).

Otro ejemplo serrano del uso de la rueda hidráulica es el batán. Los batanes son máquinas, generalmente hidráulicas, que tenían gruesos mazos de madera movidos por un eje, que golpeaban, desengrasaban y daban consistencia a los paños que se dedicaban a la confección de prendas de abrigo y que no tenían el cuerpo suficiente al salir del telar, ya que sus fibras no estaban convenientemente trabadas. El bataneo de los paños fue la primera operación en la industria textil que se logró mecanizar utilizando la rueda hidráulica.

Su existencia en la Sierra de Guadarrama está documentada desde finales del siglo XV hasta principios del XIX, cuando desaparecen. Los batanes se situaron también en ambos lados de la Sierra de Guadarrama; así, por ejemplo, en la vertiente madrileña, en el término municipal de Manzanares El Real existieron tres batanes, dos vinculados a la producción de paños de Colmenar Viejo y un tercero dependiente del Real Hospicio de Madrid, de cierta importancia en los años de Carlos III (AYUNTAMIENTO DE MANZANARES EL REAL, 2014).

También Segovia contaba con una importante industria textil y, por tanto, con la necesidad de batanes, de los que llegó a tener seis en funcionamiento durante la primera mitad del siglo XVI, en plena pujanza de la industria pañera, quedando en uso solo cuatro a finales del siglo XVIII (ÁLVAREZ *et al.*, 2012).

5.3. Transporte fluvial

Además del consumo humano y la obtención de energía hidráulica, otra forma básica de aprovechamiento del agua de los ríos de la Sierra de Guadarrama es el transporte fluvial. Se puede definir como: el transporte que, sin mecánica alguna, salvo el coraje de los hombres de la sierra, permitió llevar la madera por flotación de un lugar a otro (ALBACETE *et al.*, 2015).

La energía del agua de los ríos se ha utilizado durante siglos para transportar, de manera rápida y económica, materiales pesados que floten en este elemento. El caso más común y conocido es el transporte de troncos de árboles entre dos puntos más o menos distantes, siguiendo el curso



Figura 12. Recreación de maderada por el río Eresma. (J. L. López Saura en ALBACETE *et al.*, 2015).
— Recreation of a “maderada” by the Eresma river (author: J. L. López Saura in ALBACETE *et al.*, 2015).

de los cauces. De esta forma, el transporte fluvial, o maderada en la terminología local, conduce los troncos cortados de los bosques y pinares hasta el lugar de almacenaje, utilización o transformación de la madera. En el caso de la Sierra de Guadarrama, los troncos se trasladaban por flotación, bajo duras condiciones de vida, por las cuadrillas de gancheros, que eran los encargados de conducir la madera a lo largo del río Eresma (Fig. 12).

En Valsain, la maderada constituyó, de 1755 a 1758, la principal forma de acarreo de los troncos que eran necesarios para el combustible de la fábrica de vidrio de San Ildefonso (MADRAZO, 2007).

6. EL APROVECHAMIENTO ECONÓMICO DE LA NIEVE

Al igual que en muchas otras montañas del mundo, y muy especialmente en las del ámbito geográfico mediterráneo, la extracción y venta de la nieve de los ventisqueros del Guadarrama llegó a convertirse en una importante actividad económica, favorecida en este caso por el establecimiento de la corte en Madrid en 1561. A lo largo del siglo XVII el comercio de la nieve de los ventisqueros de la sierra llegó a convertirse en una industria de primer orden, que logró poner en el mercado a precios asequibles un producto de primera necesidad. De estas viejas infraestructuras vinculadas al aprovechamiento de la nieve hoy se conservan unos pocos pozos de nieve, varios muros de mampostería levantados al pie de los ventisqueros para favorecer la acumulación de nieve y el drenaje de las aguas de fusión, y algunos restos de caminos de herradura utilizados para su transporte.

Todos los años, desde mediados de mayo a finales de agosto, los arrieros bajaban a lomos de

mulos cientos de serones cargados de nieve desde los ventisqueros del Ratón, del Algodón y de la Morcuera (VÍAS, 2007) hasta la pequeña localidad de Chozas de la Sierra (hoy Soto del Real), donde se construyó una casa desde la que organizar los trabajos de recogida y transporte hasta Madrid, con destino a los pozos de la calle de Fuencarral. Desde allí partían diariamente pesados carros tirados por cuatro mulas y cargados hasta los topes de nieve apisonada y convenientemente protegida del sol y del aire con pieles de cabra, un viaje que duraba dos días y durante el cual se fundía un tercio de la carga. Por su proximidad al puerto de la Morcuera, los ventisqueros más utilizados fueron el del Ratón y el del Algodón. El primero de ellos está situado en la cabecera del arroyo del Mediano, en lo más alto de la entonces llamada sierra de Chozas, donde todavía se conserva el tosco muro de mampostería levantado para facilitar la acumulación de nieve.

Para abastecer a la ciudad de Segovia y al palacio de Valsain fueron muy utilizados los neveros que se forman en la cabecera del arroyo Frío, en la vertiente norte de las Guarramillas, y el de Hoyo Minguete, en la vertiente oriental del cerro de este nombre. Muy cerca de este último se conservan las ruinas de la Casa Eraso, construida por Felipe II para servir de albergue en las jornadas reales por el camino de la Fuenfría y que fue conocida también con el nombre de «Casa de la Nieve», por tener unos pozos donde se almacenaba para servicio del monarca cuando se detenía allí en las jornadas reales hacia el palacio de Valsain.

Pero sin duda, los neveros más celebres y utilizados fueron el ventisquero de la Condesa y el de Hoyoclaveles. El primero de ellos, situado al pie de la cumbre de las Guarramillas, abasteció a la ciudad de Madrid durante siglos y recibió su nombre de la que fue su propietaria a mediados del siglo XVIII: María Francisca de Silva y Mendoza (1707-1770), undécima duquesa del Infantado, marquesa de Santillana y condesa de El Real de Manzanares. Conserva su viejo muro de grandes piedras que fue reconstruido a comienzos del siglo XX por la empresa Hidráulica Santillana, tras la construcción del embalse del mismo nombre, para facilitar la acumulación de nieve y retrasar en lo posible el estiaje del río. El segundo, también conocido en el Real Sitio de San Ildefonso con la enigmática denominación de nevero «de Ansias», es el ventisquero más extenso y nutrido de toda la sierra y uno de los más duraderos junto a los que se forman en los contrafuertes orientales del cercano risco de los Claveles.

La aparición del hielo industrial puso en jaque a la vieja actividad nevera en las últimas décadas del siglo XIX y no dejó ninguna opción de competencia a la nieve de la sierra. El «algodón llovido» de las cumbres del Guadarrama fue pronto sustituido por este nuevo producto artificial, elaborado en las primeras fábricas de hielo instaladas en la villa y corte. En 1894 todavía figuraban en los registros de la Cámara de Comercio e Indus-

tria de Madrid dos sociedades que se dedicaban al comercio de la nieve: la Compañía de Abasto y Consumo de Hielo y Nieve, situada en el 23 de la Ronda de Atocha, y la Compañía de las Neve- ras del Guadarrama, en Serrano 72. Apenas cinco años después ya no existían. A partir de entonces, los ventisqueros de la sierra dejaron de explotarse (MEJÍAS *et al.*, 2015).

Las infraestructuras hidráulicas construidas para acercar el agua a las poblaciones del entorno de la sierra y posibilitar sus múltiples usos, así como la organización de la gestión de tan preciado recurso, constituyen una muestra del amplio patrimonio natural y cultural de la Sierra de Guadarrama, que corre el peligro de desaparecer por el desuso, las concentraciones parcelarias y el desarrollo urbanístico incontrolado. Pero las caceras, los ingenios hidráulicos y los usos y costumbres asociados a ellos permanecen aún en la memoria colectiva de los pueblos de la Sierra de Guadarrama, desde los que se demanda su recuperación y puesta en valor, tanto a nivel ambiental como para potenciar los atractivos turísticos de las comarcas serranas. Sin duda aquellos hombres y mujeres cuyas vidas dependían del duro trabajo de la tierra, que convivían con sus animales y que veían de cerca cómo el agua era una importante fuente de energía, apreciaban mucho más el valor del agua como recurso que las sociedades actuales. A pesar de que hoy en día acueductos, caceras e infraestructuras hidráulicas, no desempeñen un papel protagonista como en épocas pasadas, siguen formando parte de la historia del Guadarrama, con unos valores culturales, naturales y paisajísticos que merecen la pena ser conservados y transmitidos.

7. LA SIERRA DE GUADARRAMA: UN LEGADO PARA LA POSTERIDAD

No cabe duda que la orografía y la climatología de la Sierra de Guadarrama han marcado los modos de vida y el desarrollo económico, social y cultural de la población que ocupa el territorio de sus dos vertientes. Históricamente, los moradores de ambas márgenes han aprovechado los abundantes recursos primarios que proporciona la sierra, destacando entre ellos el valioso papel del agua en todos sus estados. En la parte segoviana, el uso del agua, una vez satisfecha la demanda para abastecimiento, mucho menos importante que en la madrileña, es eminentemente productivo (agricultura, ganadería, industria). En la vertiente madrileña, en cambio, el gran desarrollo poblacional ha determinado que su uso principal sea el abastecimiento urbano y, en menor medida, el industrial, adquiriendo especial relevancia el uso deportivo y recreativo y el disfrute, por parte de los visitantes, de sus valores paisajísticos y medioambientales.

Asimismo, el anhelo expresado durante más de un siglo por excursionistas y naturalistas que frecuentaban la sierra, de ver guarnecidos los

valores paisajísticos de gea, flora, fauna y patrimonio cultural que conforman El Guadarrama, se hizo realidad con la Ley 7/2013 de 25 de junio, de declaración del Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama, la máxima figura de protección del paisaje existente en España que compatibiliza su conservación y disfrute. Su proximidad al gran núcleo de Madrid y por lo tanto la facilidad de acceso para cientos de miles de personas es su gran fortaleza y al tiempo su gran amenaza. La sensibilización y educación del gran público es fundamental para que los valores que la ha hecho merecedora de la figura de máxima protección, perduren en los siglos venideros.

BIBLIOGRAFÍA

- ALBACETE, L., DURÁN, J.J., RIQUELME, P. & SANJUAN-BENITO, P. 2015. Usos tradicionales del agua en la Sierra de Guadarrama. En: M. MEJÍAS, Ed. *El Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama: cumbres, paisaje y gente*. págs. 385-434. IGME-OAPN. Madrid.
- ÁLVAREZ, M.I., ALCÁZAR, M. & SOLER, J. 2012. *La senda de los Molinos. Patrimonio Industrial del río Eresma*. Rabalán, S.L. 70 págs. Segovia.
- AYUNTAMIENTO DE MANZANARES EL REAL. 2014. *Restos de antiguas construcciones hidráulicas y Oficios tradicionales en la zona*. Informe del Área de Turismo, 5 págs. Informe inédito.
- AYUNTAMIENTO DE RASCAFRÍA. 2014. *Historia de los usos tradicionales del agua en el municipio de Rascafría*. Informe de la biblioteca municipal, 5 págs. Informe inédito.
- CABERO, V., HORTELANO, L.A. & JABLONSKI, J. 2006. *Sierra de Guadarrama, Patrimonio histórico, artístico y cultural. Vol. 5. Inventario*. Plan de Ordenación de los Recursos Naturales "Sierra de Guadarrama". Universidad de Salamanca Departamento de Geografía. págs. 25-26. Segovia.
- CUSTODIO, E. & LLAMAS, M.R. 1996. *Hidrología subterránea*. 2 vols., 2.350 págs. Omega, Barcelona.
- DÍEZ-HERRERO, A. & MARTÍN-DUQUE, J.F. 2005. *Las raíces del paisaje. Condicionantes geológicos del territorio de Segovia*. Junta de Castilla y León, 464 págs. Valladolid.
- DONÉS, J., NICOLÁS, P.M. & CARCAVILLA, L. 2015. El Medio Físico. En: M. MEJÍAS, Ed. *El Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama: cumbres, paisaje y gente*. págs. 17-69. IGME-OAPN. Madrid.
- FCIHS. 2009. *Hidrogeología*. Fundación Curso Internacional de Hidrología Subterránea (FCIHS). 768 págs. Barcelona.
- IGME. 2004 a. *Mapa geológico de España, a escala 1:50.000. Hoja 458 Prádena*. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- 2004 b. *Mapa geológico de España, a escala 1:50.000. Hoja 509 Torrelaguna*. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- 2006. *Mapa geológico de España, a escala 1:50.000. Hoja 508 Cercedilla*. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- ITGE. 1991. *Mapa geológico de España, Hoja 457 Turégano*. Instituto Tecnológico y Geominero de España, Madrid.
- 1998 a. *Mapa geológico de España, a escala 1:50.000. Hoja 483 Segovia*. Instituto Tecnológico y Geominero de España, Madrid.

- 1998 b. *Mapa geológico de España, Hoja 484 Buitrago de Lozoya*. Instituto Tecnológico y Geominero de España, Madrid.
- LLAMAS, M.R. 2005. *Los colores del agua, el agua virtual y los conflictos hídricos*. [En línea]. Discurso de acceso a la Real Academia de Ciencias. Noviembre de 2005. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Madrid 30 PÁGS. <http://www.rac.es/ficheros/doc/00187.pdf>. [Consulta 7-07-2016].
- MADRAZO, G. 2007. *La evolución del paisaje forestal en la vertiente segoviana de la Sierra de Guadarrama*. Tesis doctoral. Departamento de Geografía de la Universidad Autónoma de Madrid. 195 págs. Madrid.
- MARTÍN-DUQUE, J.F., Díez-HERRERO, A., BODOQUE, J.M., ORTEGA, J.A. & BALLESTEROS, J.A. 2010. Torrentes sobre roca en las sierras de Guadarrama y del Valle, y sus piedemontes. En: J.A. ORTEGA, y J.J. DURÁN, Ed. *Patrimonio geológico: los ríos en roca de la Península Ibérica*. págs. 405-435. IGME. Madrid.
- MEJÍAS, M., BELLIDO, F., LOMBARDEO, M. & ARMENDÁRIZ, M. 2005. Caracterización hidráulica de formaciones de baja permeabilidad. Aplicación a un sondeo de reconocimiento perforado en materiales graníticos en el sector oriental del Sistema Central. *Boletín Geológico y Minero*, **116**(1): 79-96.
- MEJÍAS, M., FERNÁNDEZ-SAN MIGUEL, M., VÍAS-ALONSO, J., CASTRO-QUILES, A. & DEL POZO, J. 2015. El Agua: de las Cumbres a los Valles. En: M. MEJÍAS, Ed. *El Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama: cumbres, paisaje y gente*. págs. 151-227. IGME-OAPN. Madrid.
- MMAMRM & AEMET. 2011. *Atlas climático ibérico*. 79 págs. Agencia Estatal de Meteorología, Madrid.
- PINILLOS, M. & MARTÍN, D. 2005. *Caceras de la provincia de Segovia: un recorrido por la tradición*. XVI Premio de Medio Ambiente. Caja de Ahorros y Monte de Piedad de Segovia. Colección Naturaleza y Medio Ambiente. 188 págs. Segovia.
- PINILLOS, M. & MARTÍN, D. 2015. *Ecós del agua en la Sierra de Guadarrama*. Tenada del Monte S. Civil. 186 págs. Segovia.
- SANZ-HERRÁIZ, C. & MARTÍNEZ DE PISÓN, E. 2015. Paisajes de la Sierra de Guadarrama. En: M. MEJÍAS, Ed. *El Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama: cumbres, paisaje y gente*. Págs. 305-355. IGME-OAPN. Madrid.
- SOLER J.M. 2015. El Martinete de la fundición de cobre de Navafría. [En línea]. *El Adelantado de Indiana, N° 4*. <<http://patrimonioindustrialensegovia.blogspot.com>>. [Consulta 21-1-2015].
- VÁZQUEZ, C. 2010. Proyecto de Patrimonio Industrial del COIIM. El Martinete de Cobre de Navafría. *Revista informativa del Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid*. págs. 26-33.
- VELASCO, J.P. & CARCAVILLA, L. 2015. Cuatro colosos de piedra de la Sierra de Guadarrama: la Mujer Muerta, Siete Picos, Peñalara y La Pedriza. En: M. MEJÍAS, Ed. *El Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama: cumbres, paisaje y gente*. págs. 437-495. IGME-OAPN. Madrid.
- VIDAL BOX, C. 1976. *Guía de recursos pedagógicos de Madrid y sus alrededores*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. 579 págs. Madrid.
- VÍAS, J. 2007. Restos históricos de una antigua industria: el ventisquero de la Morcuera. *Revista municipal de Miraflores de la Sierra*, **58**: 8-9.