

Abastecimiento histórico de agua al monasterio de El Paular: un qanat en la Sierra del Guadarrama (Madrid, España)

Fernando López Vera y Bernardo López-Camacho

Universidad Autónoma de Madrid. Facultad de Ciencias.C-06. 28049 Madrid.
fernando.lopez-vera@uam.es
blopezcamacho@hotmail.com

RESUMEN

El qanat es un ingenioso sistema de captación y conducción de agua subterránea cuyo origen se sitúa en la zona conocida hoy como Armenia hace 3000 años y ampliamente difundida en Persia hacia el 600 aC. La expansión del Islam difundió esta técnica desde China a la Península Ibérica, donde ha estado muy extendida, conocida con diversos nombres locales. En Madrid, fue muy utilizada para el abastecimiento de agua desde el siglo IX hasta mediados del siglo XX, recibiendo en los últimos siglos el castizo nombre de “viaje de agua”.

Sin embargo, el entorno geológico y socio-económico de la Sierra del Guadarrama, no es, ni ha sido, el adecuado para la implantación de este tipo de captación, lo que dota de originalidad al qanat de abastecimiento de la antigua cartuja de Santa María de El Paular que muestra una tipología muy similar a los “viajes de agua” construidos en Madrid entre los siglos XVI y XIX. Se han localizado en el entorno del Monasterio, tres capirotos y un arca de distribución in situ y otro capirote más, utilizado como elemento ornamental en el antiguo Hotel de El Paular.

En este artículo presentamos los resultados obtenidos en campo y en los archivos sobre este “viaje de agua”, su contexto dentro del abastecimiento antiguo al monasterio, la caracterización de su agua por su calidad, así como diversas consideraciones hidrológicas e hidráulicas. Sus constructores debieron ser “fontaneros” de Madrid del siglo XVII, sufriendo diversas modificaciones en el siglo XVIII.

Palabras clave: arqueología hidráulica, captación de agua, patrimonio geológico, qanat, Sistema Central Español

Historical water supply to The Monastery of El Paular: a “qanat” in the Guadarrama mountain range (Madrid, Spain)

ABSTRACT

The “qanat” is an ingenious system of collecting and conducting groundwater to a supply point. Its origin dates back to 3000 years ago in the area known today as Armenia, and it had spread widely throughout Persia by 600 BC. The expansion of Islam spread this technique from China to the Iberian Peninsula, where it has received various local names. In Madrid, the technique was widely used for water supply from the ninth century until the mid-twentieth century, and in recent centuries received the name “Viajes de agua”.

However, the geological and socio-economic environment of the Sierra de Guadarrama in Madrid is not, and has never been, appropriate for the implementation of this type of water catchment. This is why the qanat supply of the former Charterhouse of Santa María de El Paular (Rascafría), which shows a very similar typology to the “Viajes de agua”, modified or constructed in Madrid between the 17th and 19th centuries, is so original. Three “capirotos” (hoods) and a “distribution ark” have been located “in situ” in the vicinity of the Monastery and another “capirote” is used as an ornamental element in the courtyard of the old Hotel El Paular.

In this paper we present the results obtained in the field study and files on this “Viaje de agua”, its context within the old Monastery supply, its water quality and various hydrological and hydraulic considerations.

Its builders must have been “plumbers” from Madrid in the seventeenth century and it underwent several modifications during the eighteenth century.

Keywords: geological heritage; hydraulic archaeology; “qanat”; Spanish Central System; water catchment

ABRIDGED ENGLISH VERSION

Physical and social context

The construction of a water supply system requires two conditions: the existence of demand and sufficient economic capacity, which will be more important the bigger and more complex the construction work required. Both conditions were met in the Charterhouse of Santa María de El Paular in the 16th and 17th centuries.

This Charterhouse is located some 100 kms to the north of Madrid in the Valley of the River Lozoya (Fig. 1). It was founded in 1390, when John I of Castile donated his Palaces of Poblár.

Since its foundation, the Charterhouse, which was finished in 1442 during the reign of John II, was generously provided for by the King and diverse Papal bulls, and continued to enjoy the patronage of the Royal Family and the Castilian nobility during the following centuries. El Paular eventually became one of the most powerful charterhouses in Europe.

The archaeological and restoration work carried out at El Paular (IPCC, 1985 and 1996) have had different stages of construction which correspond to changes in the whole of the Monastery (Barceló et al, 2013). Finally, the Monastery suffered a period of abandonment and destruction between the ‘Desamortización’ (the Dissolution of Church property) in 1835 and its declaration as a National Monument in 1876, but it was not until 1954 that it recovered its activity as a monastery, this time used by Benedictine monks.

Throughout all of these stages of construction, there were hydraulic interventions. During the 1490-1590 period of construction, there was an extension and renovation of the complex hydraulic system, with two water catchment points in the Arroyo (Stream) of Santa María (Fig. 3), one aimed at irrigating the orchards and another one that served other areas of the Monastery, both through a system of stone walled irrigation channels, subterranean passages and ditches, and a third catchment point with better quality water, aimed at consumption by the community, which also came from a spring and via the subterranean passages. This is the water system that we have identified as a “qanat”.

From this period there are also significant hydraulic engineering works from the manufacturing centres that were established next to the Charterhouse and whose supply source was the River Lozoya, such as the paper mill of the Batanes, where they made the paper used to print the first edition of Don Quixote.

The El Paular Charterhouse is located in the central part of the Guadarrama Mountain Range, part of the Central System, and is in the highest part of the Valley of the River Lozoya, composed of the Carpetanos Hills to the north and a part of the Sierra Larga Mountains to the south. To the west, the bottom of the valley is composed of the conjunction of both foothills, dominated by the peak of Peñalara (2428 metres above sea level) and open to the east, part of the natural setting of the Guadarrama National Park.

The area we are dealing with is set on glandular orthogneisses which are covered with calcareous and detrital sediments that range from the Cretaceous period to the Holocene (Fig. 2).

On the vertical side of the Charterhouse we find, according to the geophysical profiles made with vertical electric sounding by Olivier (1991) and with the support of the data from a 39m deep sounding, in a property next to the Monastery, the following materials:

- 0 – 5 m of man-made filling, superimposed on blocks, stones and sand that correspond to an alluvial fan from the Pleistocene-Holocene Period.*
- 5- 17 m of conglomerates of polymictic stones and blocks from the Paleocene – Eocene Period.*
- 17-39 m of marlstones, dolomites and sandstones with dolomitic cement from the Lower Cretaceous Period, overlying the Pre-Hercynian glandular orthogneisses.*

The fracture tectonics during the Alpine orogeny is the cause of the horst and the graben of the Upper Valley of the Lozoya. The Cretaceous limestones and dolomites have a karst covered with plentiful manifestations of dolines, drains and sinks.

The qanat of El Paular

The Arabic word “qanat” (in plural, qanawat) is used in Arabic countries to refer to underground tunnels built to capture rainwater in permeable layers which lie on top of other more impermeable layers. They

are generally at a depth of between 5-15 m, although in some cases this depth may be over 30 m (López-Camacho, 2001).

Along its length, the qanat has a series of wells used during its construction to withdraw the materials from the digging of the tunnel which are usually covered in different ways (Fig. 4).

Outside of the Monastery itself, there are still three granite pyramids (known in Madrid as "capirotes" or hoods) which cover the wells, they are perfectly aligned (Figs. 6 and 7), and set the course of this possible qanat (Fig.5), on the surface of the alluvial fan to which we have previously referred. The nearest pyramid is some 60m from the northern wall of the Monastery, the second one is at a distance of 245m and the furthest one is 330 m. The "capirotes" have a pyramidal shape with a square base that is 0.7-0.8 m wide and 0.8-0.9 m high. The weight of each is around 400 kg. They are similar to those used in the aforementioned 'water journeys' (the local name given to qanats in Madrid), which can be seen in numerous places.

The qanat enters the part of the Monastery known as the Patio de Matalobos, and terminates by the man-hole covers in the Patio de San Pedro, near to the ruins of the cell of the archive keeper. In line with what was indicated in the map made by Olivier (1991), there was as an old entrance for drinking water (Fig. 8), which was prolonged underground through the inside of the Charterhouse (Figs. 9 and 10)

Construction of the qanat of El Paular

The River Lozoya, a tributary of which is the Arroyo de Santa María, is the true hydric supplier of Madrid. Its waters have a very low mineralization and some salt content which, measured through electric conductivity, and do not usually have more than 50 microsiemens per cm. In the primitive irrigational supply channel of the Arroyo de Santa María, the measurements taken in situ gave the figure of 45.2 microsiemens per cm (3/02/2016). On the contrary, the content of dissolved salts in the underground waters in the area of the Charterhouse is notably higher. In the fountain-drinking trough, located at the start of the underground water catchment, the electric conductivity measured was 300 microsiemens per cm. This conductivity is the same as that of the well built at a depth of 39m which is located outside the Monastery complex, next to its southern angle, which gave a measurement of 225 microsiemens per cm. Therefore, with modern quality criteria, the construction of such a sophisticated work of water catchment is quite surprising.

Apart from the symbolic value that capturing water from a spring could have had for the monks, there would be other more objective reasons. The River Lozoya and its tributaries are subject to strong seasonal water levels, apart from the dragging of leaves and plant residues as the basin of the stream is a wooded area and, therefore, underground water is part of the guarantee of clean water. Moreover, in the case of El Paular, there is an added advantage: these waters are somewhat more mineralized in comparison to the excessively "pure" waters of the stream, which might be difficult to digest.

In order to understand the criteria of "water quality" in the period we are dealing with, we can consult various studies from that period, such as that by Doctor Alfonso Limón, a Professor of Medicine from the University of Alcalá de Henares, in his work *Espejo Cristalino de las Aguas de España [Crystaline Mirror of the Waters of Spain]* from 1679 (López Vera, 1982), in which he argued in favour of the excellence and superiority of the most mineralized underground waters.

As an analogy with the qanats of Madrid, we estimate that their construction was in the first third of the 16th century or the beginning of the 17th century, and the work was possibly carried out by "plumbers" from Madrid, since at that time with the permanent establishment of the Royal Court in Madrid in 1561 and its subsequent declaration as the national capital in 1606, the remodelling and extension of the "water journeys" received a major boost.

Contexto histórico y económico

La ejecución de un abastecimiento de agua requiere dos condiciones, la existencia de una demanda y una capacidad económica suficiente, que será más importante cuanto mayor y más complejas sean las obras a realizar. Y sin lugar a dudas, en la antigua cartuja de Santa María de El Paular se dan ambas circunstancias y las obras hidráulicas ejecutadas son de una enorme complejidad.

La cartuja de El Paular, situada en el municipio de Rascafría a 90 km al norte de Madrid en el valle del río Lozoya (figura 1), fue fundada en el año 1390, al donar a la orden cartujana Juan I de Castilla sus palacios del Poblado. La principal fuente documental de la fundación y primera época del monasterio es "El Libro Becerro" (1565), verdadera memoria de las vicisitudes de este periodo. Según este documento, la motivación de esta fundación fue un acto de contrición de Enrique II de Trastámara expresada en

cláusulas testamentarias. Para el R.P. Ildelfonso M^a Gómez prior del monasterio (1970-2003) y autor de numerosas publicaciones sobre El Paular, las verdaderas causas se inscriben en el “movimiento reformista que tuvo lugar en la corte de Juan I y que tomó cuerpo en las *Constituciones*, promulgadas en las Cortes de Palencia por el delegado papal, el cardenal don Pedro de Luna”. (Gómez, 2004)

Desde su fundación, la cartuja concluida en 1442 bajo el reinado de Juan II, fue generosamente dotada por el rey y diversas bulas papales, y siguió gozando del favor real y de la nobleza castellana en los siglos posteriores. Entre otros beneficios figuraba el uso del Río Lozoya hasta lo que hoy es la cola del embalse de Pinilla. El Paular se convirtió en una de las cartujas más poderosas del continente europeo. Esta pujanza económica fue también la causa de que a lo largo de su existencia sufriera diversas reformas y ampliaciones, llegando al extremo de que en 1476 el prior fue censurado en el Capítulo General por considerarlas excesivas y contrarias al espíritu de la Orden.

Los trabajos arqueológicos y de recuperación de El Paular (IPCC, 1985 y 1996) han diferenciado varias fases constructivas que corresponden a periodos con

transformaciones significativas del conjunto monacal (Barceló *et al.*, 2013), siendo de destacar las obras realizadas por el arquitecto Juan Guas, en época de Isabel la Católica y las transformaciones realizadas por Rodrigo Gil de Hontañón, así como la construcción de la capilla del sagrario, la torre y la reparación de los daños causados por el terremoto de Lisboa de 1755 (Instituto Geográfico Nacional, 2001). Por último, el monasterio sufrió un periodo de abandono y destrucción entre la desamortización de 1835 y la declaración de monumento nacional en 1876, pero hasta 1954 no se recuperaría la vida monástica, esta vez por monjes benedictinos.

A lo largo de todas las etapas constructivas estuvieron presentes las actuaciones hidráulicas. Desde los primeros momentos con la desviación del cauce del arroyo de Santa María, que discurría originalmente por la mitad de los terrenos ocupados por el monasterio, llevándolo a rendir sus aguas al Lozoya aguas arriba de su desembocadura primitiva. El agua era un elemento esencial para la localización de las cartujas y estaba presente en muchos ámbitos del conjunto y también en los jardincillos y huertos individuales de las celdas. Además de desempeñar las funciones necesarias de riego y aseo, el “agua viva” tenía un importante valor simbólico en la orden cartujana.

A la fase constructiva de 1490-1590 corresponde la ampliación y renovación del complejo sistema hidráulico, con dos captaciones en el arroyo de Santa María, una destinada al riego de las huertas y otra que da servicio a otras áreas del monasterio, ambas a través de un sistemas de caces de sillería, galerías subterráneas y acequias. Todo ello en la mejor calidad constructiva y dotadas de los elementos hidráulicos complementarios (Barceló *et al.*, 2013). Según el mismo autor, “una tercera captación y de mejor calidad de agua, destinada a consumo de la comunidad, es la procedente, también a través de galerías subterráneas, de un manantial situado a dos kilómetros”. Ésta es la conducción que hemos identificado como un qanat.

También a esta época corresponden las importantes obras de ingeniería hidráulica de los centros productivos que se establecen junto a la cartuja, que tienen como fuente de suministro el río Lozoya, como el molino de papel de los Batanes, donde se fabricó el papel en la que se imprimió la primera edición del Quijote, la edición prínceps.

Pero es en la fase constructiva de 1690 a 1836, el periodo en el que la cartuja alcanza su máximo esplendor y sufre las mayores transformaciones, con el asentamiento y consolidación del poder político y económico de la orden.

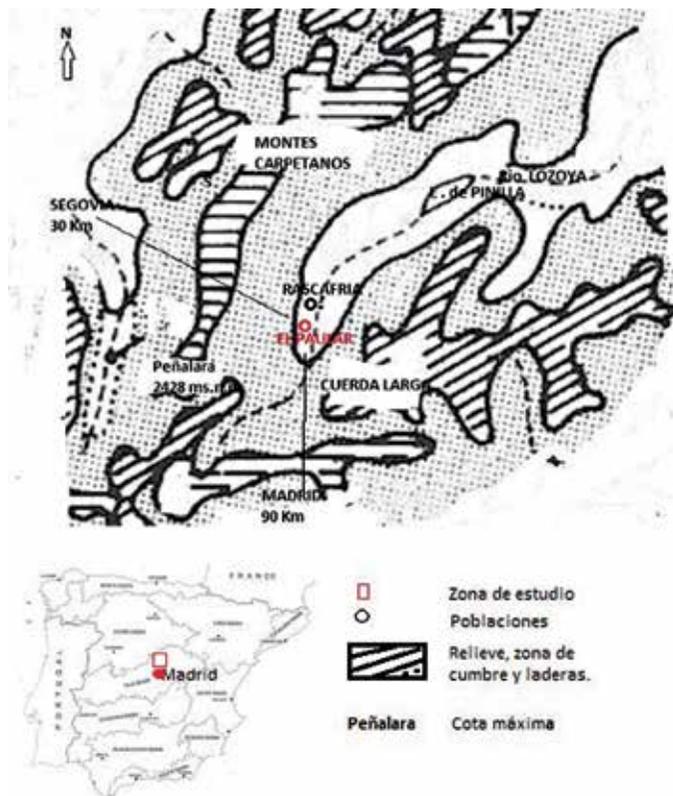


Figura 1. Localización del Monasterio de Santa M^a de El Paular.
Figure 1. Location of the Monastery of Santa María de El Paular.

Marco geográfico, geológico e hidrológico del valle del Lozoya

Mal se entendería el ingenioso y bien diseñado sistema de abastecimiento del monasterio y sus dependencias si previamente no hiciéramos una breve descripción del marco geográfico, geológico e hidrológico. El monasterio de Santa María de El Paular se encuentra en la parte central de la Sierra del Guadarrama, perteneciente al Sistema Central, en el valle alto del río Lozoya, configurado por los montes Carpetanos al norte y un ramal de la Cuerda Larga al sur. Al oeste, el fondo de saco del valle está formado por la conjunción de ambas estribaciones, dominado por el pico de Peñalara (2428 m.s.n.m) y abierto al este (figura 1). En esta cabecera de valle, también conocido como Valle del Paular, se sitúa el Monasterio a la cota 1153, perteneciendo al municipio de Rascafría (Madrid).

La cuenca alta del Lozoya se caracteriza por un particular microclima que alberga gran variedad de paisajes y recursos naturales. Su relieve accidentado, así como la existencia de diferentes puertos de montaña de difícil paso, han dado lugar a la inaccesibilidad de estos lugares, lo que ha contribuido favorablemente a su conservación. Todo ello constituye un importante enclave natural que forma parte del

Parque Nacional de la Sierra del Guadarrama. La naturaleza predominantemente granítica (hercínica) y metamórfica (prehercínica) del Sistema Central y su característica forma de horst que rodeando a la fosa tectónica o graben del valle de Lozoya, son claramente visibles, ocupando El Paular una posición central, dentro del denominado geológicamente, dominio central de la Sierra del Guadarrama (figura 2).

La zona que nos ocupa se asienta sobre ortoneises glandulares, que se encuentran recubiertos por sedimentos calcáreos y detríticos de edades que van del Cretácico al Holoceno. Existen multitud de trabajos sobre esta zona, como el realizado por el IGME y el Organismo Autónomo Parques Nacionales (IGME-OAPN, 2015). Los rasgos fundamentales fueron expuestos por Casiano de Prado (1864), encontrándose entre los trabajos pioneros los de Fernández Navarro (1899 y 1915). Para su descripción seguimos fundamentalmente el Mapa Geológico de España E: 1:50.000, hoja nº 483 (L 18-19) de Segovia (IGME, 1998) y nuestros reconocimientos de campo.

En la vertical de La Cartuja encontramos, según los perfiles geofísicos realizados con sondeos eléctricos verticales por Olivier (1991) y con el apoyo de los datos de un sondeo de 39 m de profundidad, en una propiedad colindante con el monasterio, los siguientes materiales:

- 0 – 5 m de rellenos antrópicos superpuestos a bloques, cantos y arenas que se corresponden con un cono de deyección de edad Pleistoceno-Holoceno.
- 5- 17 m de conglomerados de cantos y bloques polimícticos de edad Paleoceno – Eoceno.
- 17-39 m de margas, dolomías y areniscas con cemento dolomítico del Cretácico Inferior, suprayacente a los ortoneises glandulares prehercínicos.

La tectónica de fractura durante la orogenia alpina es la causante del horst que origina las elevaciones montañosas y el graben del valle alto del Lozoya. Esta fracturación compartimenta en bloques irregulares no solo el basamento sino también la cobertera de los materiales de edad cretácica, preservados en el fondo del valle. Los materiales cretácicos son permeables y el Servicio Geológico de Obras Públicas perforó pozos de captación de agua subterránea en diversos municipios del valle (Lopez Camacho y Octavio de Toledo 1982). Sin embargo, la compartimentación en bloques, en ocasiones muy intensa, limita la continuidad hidráulica entre los mismos.

Un caso paradigmático de la intensa fracturación lo proporciona el estudio geológico llevado a cabo para la perforación del túnel ferroviario del Guadarrama por AITEMIN, donde se encontraron

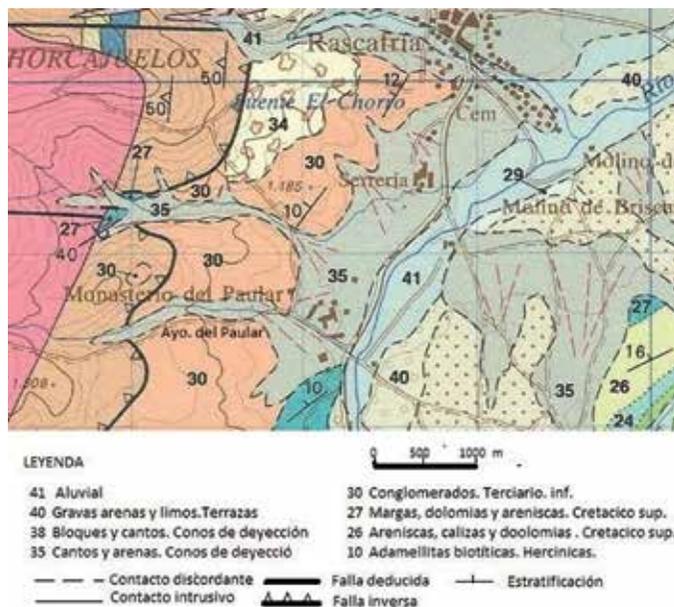


Figura 2. Detalle modificado del Mapa Geológico de España 1:50000, hoja 483 Segovia, en el entorno del Monasterio de El Paular (IGME, 1998).

Figure 2. Modified detail of the Geological Map of Spain, 1: 50000, number 483 Segovia, in the vicinity of the Monastery of El Paular (IGME, 1998).

materiales cretácicos en el paraje conocido como Valle de la Umbría entre 190 y 217 m de profundidad, pinzados entre los gneises glandulares (Carretero y Bueno 2004), mientras que esos mismos materiales, a poca distancia, se encuentran aflorando en superficie en el talud de la carretera de El Paular al puerto de Cotos.

En el mismo entorno, en las proximidades del monasterio, y a cota más elevada, se encuentra un bloque de calizas conocido localmente como "Peña de la Mora". Esta fracturación, menos evidente, se manifiesta también en los materiales terciarios e incluso cuaternarios que cubren los ortogneises y materiales cretácicos en el fondo del valle y los piedemonte de las laderas, como es el caso de la falla que parece afectar el ápice de cono de deyección del Arroyo Santa María, lo que implicaría una movilidad de dicha falla en época pleistocena y aun histórica (IGME, 1998).

Sin alejarnos del entorno del monasterio, existe una intensa actividad kárstica en las dolomías cretácicas. En el pinar de Ontalva existe un espectacular campo de dolinas subyacentes bajo un recubrimiento detrítico más moderno. En el mismo Arroyo Pedrosillo que cruza el pinar, su lecho discurre directamente sobre las dolomías y se observan numerosos sumideros y surgencias. El funcionamiento del acuífero cretácico lo ponen de manifiesto los caudalosos manantiales kársticos de San Benito y Molino de Briscas al sur de Rascafría, o el del Prado Grande próximo a la tapia este que limita la huerta del monasterio. En su Informe hidrogeológico, Olivier (1991) pone de manifiesto mediante aforos en el Arroyo de Santa María la importante alimentación por agua subterránea de su cauce, lo que evidencia una alimentación lateral a nivel local entre las diferentes unidades litológicas.

Sistema de abastecimiento de la Cartuja

La cartuja se sitúa sobre la superficie del cono de deyección generado por el arroyo de El Paular, también denominado de Santa María. El arroyo desciende desde los 2000 m de altitud en la divisoria de la Sierra de Guadarrama hasta los 1150 m del valle del río Lozoya. El ápice del cono de deyección se inicia a unos 650 m al oeste del Monasterio y llega a alcanzar el río Lozoya, al que afluye el arroyo. El cono de deyección alcanza un espesor de hasta 17 m de arenas y gravas (Olivier, 1991), que descansan sobre formaciones paleógenas y cretácicas.

A la vista del entorno hidrológico del monasterio, no cabe duda de que el emplazamiento elegido

para su fundación en el siglo XIV tuvo que ver con la abundancia de cursos de agua de sus alrededores. Además del río Lozoya, que discurre a cota más baja y fue aprovechado para el molino de los batanes y los estanques de piscifactorías fuera del recinto propiamente dicho de la cartuja, el abastecimiento principal de agua, tanto de las dependencias como de los huertos de los cartujos, el molino harinero y las extensas huertas adyacentes, se efectuó a partir del arroyo de Santa María, que discurre a cotas más elevadas, viniendo por el oeste del Monasterio (figura 3).

Tres son los sistemas de abastecimiento principales, dos de los cuales tienen sus tomas en el propio arroyo. Del tercero –subterráneo– nos ocuparemos más adelante. El más antiguo se inicia en una caseta de captación, que recoge una parte del caudal del arroyo y lo conduce hacia las huertas situadas al norte del edificio principal por medio de un caz de sillería de gran calidad constructiva, dotado de varios elementos funcionales como compuertas, aliviaderos, areneros y estanques de reposo. El agua se aprovechaba por un molino harinero, siguiendo su curso por galerías abovedadas hacia las huertas y terminando su recorrido en un gran estanque con muros de sillería y, después de recorrer otras balsas, desagua directamente al río Lozoya. Dentro de este primer sistema, y en la misma caseta de distribución, existe otra canalización, de menor caudal que la anterior, con otros elementos de decantación, que a través de galerías subterráneas da servicio a otras áreas del monasterio.

La segunda captación en el arroyo se produce aguas arriba de la primera y data de los años 50 del siglo pasado. Su objeto se limita a proporcionar agua al actual hotel anexo al monasterio y al mismo monasterio, mediante una conducción enterrada que discurre al sur del caz descrito anteriormente. Su trazado es sensiblemente paralelo al mismo en el tramo de entrada al recinto de la Cartuja.

Por fin, existe una tercera conducción subterránea, cuyo trazado discurre al norte de las anteriores y que pasaremos a describir con mayor detalle a continuación. Pero antes diremos unas palabras sobre los qanats.

La técnica de los qanats

La voz árabe qanat (originariamente en plural, qanawat) es empleada en los países de esa cultura para designar galerías subterráneas, túneles o minas construidas para captar las aguas de lluvia retenidas en capas permeables que descansan sobre otras más impermeables. La profundidad a la que discurren las



Fig. 3. Captación de agua en el Arroyo de Santa María.
Figure 3. Water catchment of the Arroyo de Santa María.

galerías se encuentra en general entre 5-15 m, existiendo algún caso en que superan los 30 m (López-Camacho, 2001).

A lo largo de su recorrido, el qanat tiene una serie de pozos debidamente espaciados (entre 5 y más de 40 m), utilizados durante su construcción para la retirada de los materiales de la excavación de la galería. La longitud de las galerías es variable, superando en algún caso, como en Irán, la centena de kilómetros. En la figura 4 se reproduce un croquis ilustrativo del funcionamiento de un qanat.

Cuando la galería salía a la superficie se prolongaba mediante canales formados por muros corridos y, a veces, por medio de arcos o acueductos, a través de los cuales llegaba a cisternas, albercas, depósitos o fuentes monumentales que podían contar con lavaderos y abrevaderos.

Muy propios de las regiones desérticas, estas galerías subterráneas para abastecimiento fueron conocidas siglos antes de la era cristiana en la Arabia

preislámica, Armenia y Persia. Las primeras que se conocen se sitúan en Armenia, yendo desde el lago Van hasta las fuentes del Tigris. En Irán se estima que aún existen unos 50 000 sistemas de qanats con una longitud total del orden de 270 000 km, con predominio en la meseta de Yazd, que contaba con 3193 sistemas activos en 2005 (Sachar and Labbaf, 2013).

Es difícil inclinarse por el origen y transmisión de las técnicas de este sistema de captación y suministro de agua, pues existen referencias tanto en la cultura romana como en las prearabígas. En los monumentales tratados de Fernández Casado (1983) y Pavón Maldonado (1990) pueden encontrarse multitud de ejemplos de galerías prerromanas, romanas, islámicas y medievales, en ocasiones a modo de palimpsesto. Según el segundo de los autores citados, las galerías de los qanats, en lo que afecta al arte específico de su construcción, presenta paralelos muy marcados en Teherán, Madrid y Marrakus, si

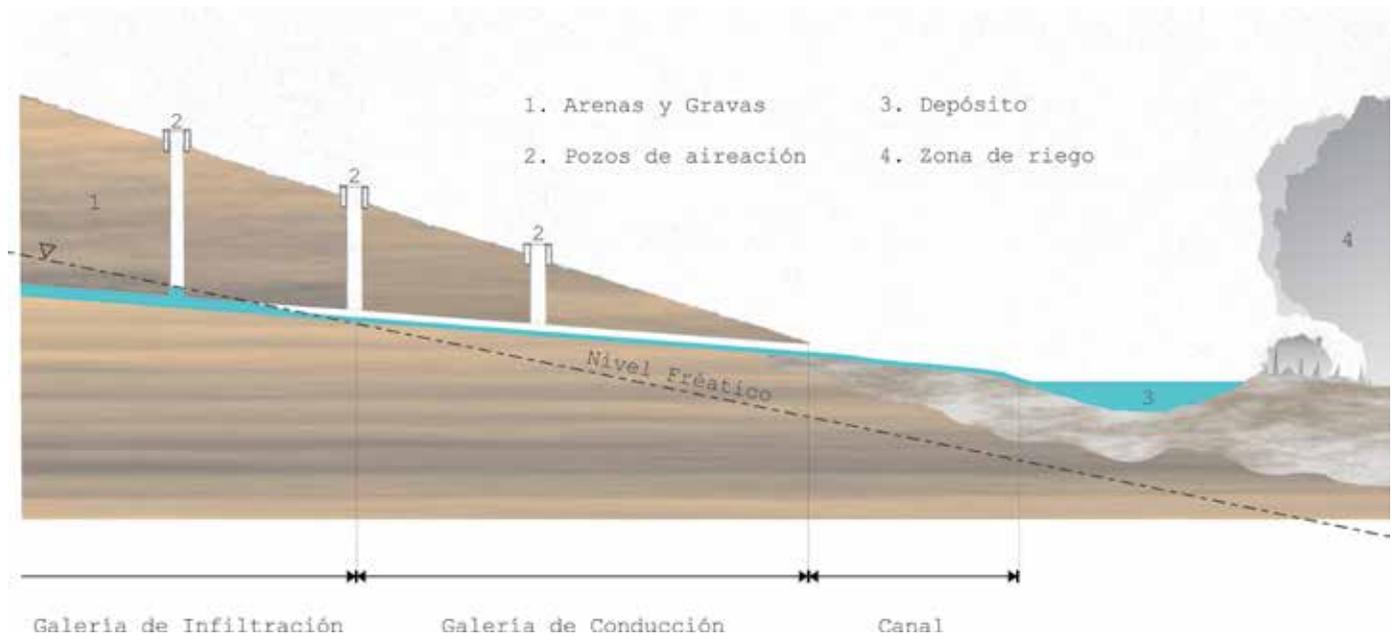


Figura 4. Esquema del funcionamiento de un qanat. López Camacho *et al.* (2005).
Figure 4. Functional diagram of a "qanat." López Camacho, *et al.* (2005).

bien se reconoce que la captación de aguas tiene en estos tres puntos un fondo común antiguo. Sobre la transferencia de la técnica de los qanats cabe pues, a juicio de varios autores, hablar de "transmisión cultural" y "concepción elemental y popular" (Trol y Braun, 1974). La técnica inalterable romana, árabe o medieval del qanat se reproduce en sus elementos esenciales: galerías que captan las filtraciones del terreno con disposición en planta arborescente o cruciforme, sin revestir cuando el terreno lo permitía --en "lomo de caballo"--, o más frecuentemente revestidas de ladrillo o losa de piedra con arcos de medio punto o bóveda adintelada. Las dimensiones de las galerías se mantuvieron inalterables en épocas romanas o árabes: 1,2-1,6 m de altura y 0,6-1,0 m de anchura. Según López-Camacho (2001), están provistas de un canalillo central o lateral, con su desnivel para que circule el agua, que discurre entre andenillos para poder transitar por el túnel sin mojarse. A veces, el canalillo es sustituido por tubería de hierro o, más comúnmente, de barro cocido. A intervalos más o menos regulares existen pozos verticales que conectan la galería con el exterior; pueden tener forma cuadrada o circular, con apertura exterior menor que la interior, rematados por losas, pirámides de piedra o bolas esféricas de adorno final, denominadas "capirotes" en Madrid o "madamas" en Ocaña (López Camacho *et al.* 2005). En ocasiones, al final de algún ramal, existe un pozo de captación. A la salida de la

galería principal se dispone de una arqueta de donde parte el canal que lleva el agua a la villa, fuente o campo de regadío.

Los qanats se extendieron hacia oriente, teniendo un gran desarrollo en Afganistán y Pakistán y alcanzando China y Japón. También se extendieron por Siria, Palestina-Israel, Omán, Egipto y Libia. Acerca del origen y procedencia de los qanats occidentales, que eran conocidos en Túnez (siglo IX) existen varias teorías, atribuyéndolos unos a los cartagineses y romanos, aunque la teoría más aceptada defiende la transferencia e importación del qanat por la progresión del Islam de este a oeste, llegando a Argelia, Marruecos, Sicilia, Córcega, islas Baleares, la península ibérica, y sur de Francia.

En la actualidad existe la creencia de que la técnica del qanat llegaría a Al-Andalus en los primeros años de la conquista árabe ya que, al parecer, el "Tratado de las aguas" de Al-Filahan-Nabatiyya y "La dirección de las aguas" de Filemón de Bizancio fueron libros conocidos por los agrónomos andalusíes. Pero no se puede descartar que la técnica de canalizaciones subterráneas mantenida en épocas medievales y posteriores (en Madrid, el último viaje de agua, el de la Fuente de la Reina, se construyó al mismo tiempo que la presa del Pontón de la Oliva, hacia 1855) proceda de la época romana, ya que ciertos cronistas árabes insisten en las descripciones de conducciones y artificios de agua hechas "por los antiguos".

Madrid, que estuvo abastecido por medio de galerías o viajes de agua durante diez siglos -desde el siglo IX a mediados del XIX-, es una de las ciudades del mundo en las que mayor desarrollo alcanzó este sistema de captación de agua, descritos por Ardemans (1724). Los principales viajes contaban con 124 km, de los que 70 km son galerías de captación y 54 km de conducción hasta la ciudad. Si bien la mayoría de ellos abastecían a fuentes públicas (entre los de particulares y conventos serían unas 750), también se utilizaban para el riego de jardines. Tal es el caso de los cuatro viajes, alguno de ellos de 3-4 km de longitud, que surtían al jardín de "El Capricho", situado en la finca de la Alameda de Osuna (Fernández Tobera, 1990).

La importancia histórica y cultural de este sistema de abastecimiento ha sido reconocida por la UNESCO que, en mayo de 2002, declaró la conveniencia de su protección a nivel mundial como patrimonio cultural de la humanidad.

El qanat de Santa María de El Paular

En las descripciones que hemos consultado aparece esta tercera captación subterránea con escasos datos sobre su tipología y sin explicación sobre su razón de ser y su función, carencia que nos ha movido a redactar este trabajo.

Fuera del recinto del monasterio se conservan tres "capirote" de granito, perfectamente alineados (figura 5), que marcan el discurso de este posible "viaje de agua" en el lugar denominado Prado de la

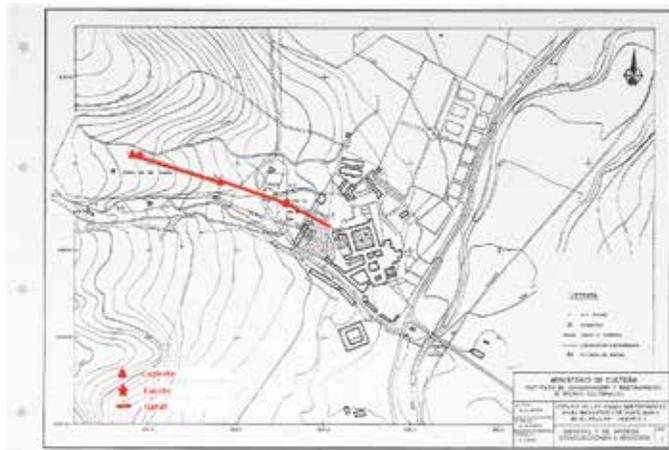


Figura 5. Traza del qanat de El Paular según el plano de Olivier (1991).

Figure 5. Trace of the "qanat" of El Paular. Indicated on the map made by Olivier (1991).

Zorra (figura.6) y Prado de las Ovejas (figura 7), sobre la superficie del cono de deyección al que antes nos hemos referido. El capirote más próximo se sitúa a 60 m de la tapia norte del monasterio, el segundo a 245 m y el más distante a 330 m. Los capirote tienen figura piramidal, con base cuadrada de 0,7-0,8 m de lado y altura de 0,8-0,9 m. El peso de cada uno es de unos 400 kg. Son similares a los utilizados en los "viajes de agua" de Madrid, como aún pueden verse en la Dehesa de la Villa, Parque de La Ventilla o de los Pinos y Parque Rodríguez Sahagún. Todos ellos corresponden al viaje de agua de Amaniel. En el Prado de Las Ovejas, junto al más distante existe una fuente abrevadero (figura 7), con pila de granito que desagua a un regato próximo. Podría cumplir una función de arca de distribución y aliviadero de un primer tramo de captación que no se observa o ser el punto de arranque de la captación coincidiendo con el afloramiento de un posible manantial.



Figura 6. Capirote en el Prado de la Zorra.

Figure 6. "Capirote" in the Prado de la Zorra.



Figura 7. Fuente abrevadero y capirote en el Prado de las Ovejas.

Figure 7. Fountain-drinking trough and "capirote" in Prado de las Ovejas.

No se ha podido observar el tipo de posible galería subterránea que discurre bajo la alineación de los capirotos, ni el tipo de pozo de aireación cubierto por los mismos, elementos característicos de los qanats. En comparación con las galerías de captación existentes en el área de Madrid, la distancia entre capirotos parece elevada; así, mientras en las galerías madrileñas suelen oscilar entre los 30-40 m de separación, separación que tenía por objeto la fácil extracción de los materiales de excavación de las galerías hasta la superficie, en El Paular la distancia parece sensiblemente mayor, variando de 85 a 185 m. Si bien esta distancia, en última instancia, está condicionada por las características geotécnicas del material a excavar. Es posible que se hayan perdido capirotos intermedios, como lo atestigua un capiroto colocado como elemento ornamental en el Patio de la Cadena, a la entrada del Hotel de El Paular. La alineación de los capirotos marca la traza del qanat que se muestra en la figura 5.

Por otra parte, las cotas de los tres pináculos son (en la dirección del flujo hidrico) de 1181, 1175 y 1165 m, lo que nos daría pendientes, en el caso de que la conducción del agua siguiese la misma inclinación que la de las cotas de los capirotos, del orden del 5-7%, pendientes que resultarían muy superiores al 1% típico de las galerías madrileñas. Esta fuerte pendiente exigiría disponer de elementos de "tranquilización" de la corriente (arcas o cambijas), elementos que no resultarían improbables, pues dentro del monasterio existen conducciones subterráneas provistas en su fondo de canalillo central y andenes laterales, lo que demuestra un dominio avanzado de las técnicas de construcción y mantenimiento de las galerías de captación y conducción. Pero también cabe la hipótesis de que la pendiente de la conducción de agua dentro de la galería sea inferior a la superficie de su traza, solución igualmente frecuente en otros casos.

El qanat penetra en el recinto monástico por el Patio de Matalobos, para ir a parar al nudo de arquetas del Patio de San Pedro, próximo a las ruinas de la celda del archivero. Coincidiendo con lo que se señala en el plano de Olivier (1991) como entrada antigua de agua potable (figura 8).

En este punto, el trazado se hace muy confuso por converger en él varias conducciones y encontrarse muy hundido y cubierto de vegetación. Pero la lógica indica que tomase la galería en dirección sur, probablemente por medio de una galería con canales paralelos, práctica común en los qanat para no mezclar aguas de distintas calidades (figura 9), aunque hasta que no se realice el desescombro no se podrá confirmar este extremo. Desde esta zona, la conducción,

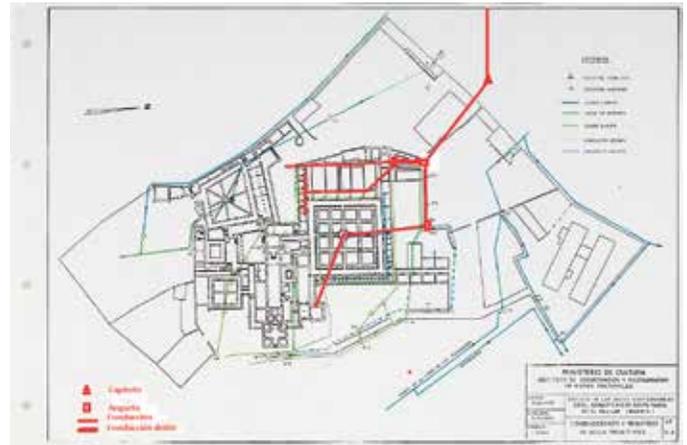


Figura 8. Posible traza del qanat en el interior del recinto monástico, sobre plano del Instituto de Conservación y Restauración de Bienes Culturales (Olivier, 1991).

Figure 8. Possible trace of the qanat inside the Monastery complex, based on the map made by the Institute for Conservation and Restoration of Cultural Property (Olivier, 1991).

reutilizada en la actualidad, pasa bajo las celdas de la panda oeste y entregaría sus aguas a la fuente central del claustro principal y de allí se prolongaría a la zona de cocinas (figura 10). También resulta lógico suponer que en algún punto hubiera una derivación a la antigua zona de legos, sobre la que se ha construido el hotel.

Razones de los cartujos para construir un qanat

¿Cuál sería la razón de construir este abastecimiento subterráneo para el monasterio disponiendo de las captaciones superficiales del arroyo de Santa María? ¿Con qué destino o propósito fue construido con posterioridad a las anteriores? Cabe la consideración de que en los cartujos pesase el carácter místico que desde las épocas más remotas ha rodeado a los manantiales, pero buscamos razones más objetivas.

La primera cuestión que nos planteamos fue la de averiguar si los estiajes del arroyo de Santa María podrían menguar sus caudales hasta dejarlo seco o con flujo mínimo. Y resulta que, efectivamente, tanto el río Lozoya como el arroyo de Santa María, llegan algunos años, a finales de agosto o septiembre a caudales menguados para cualquier uso relevante, pudiendo llegar a secarse el arroyo de Santa María en los años extremadamente secos.

Podría existir otra razón para haber recurrido a una captación subterránea drenante: la calidad del agua. Bien entendido que hace siglos se calificaba la calidad física del agua por su frescura y, sobre todo,



Figura 9. Posible galería de doble canal.
Figure 9. Possible dual channel tunnel.



Figura 10. Galería bajo claustro en dirección a las cocinas, actualmente reutilizada.
Figure 10. Lower cloister gallery towards the kitchens, currently reused.

por su claridad. Transparencia que no podían proporcionar las captaciones de los ríos y arroyos, en las que había que instalar areneros y estanques de sedimentación, de los que tan bien provistas se hallan las captaciones del arroyo de Santa María. A ello se añadiría otro problema en el caso de El Paular: las hojas arrastradas por el agua, pues el bosque del entorno de la cartuja está formado por robles, fresnos y álamos de hoja caducifolia y pinos, problema que aún subsiste hoy día de acuerdo con las quejas del encargado de mantenimiento del Monasterio. Todos estos inconvenientes los salvaba una captación subterránea. Además, en el caso de El Paular, contaba con otra ventaja añadida: se trataba de aguas algo más mineralizadas frente a las excesivamente "puras" del arroyo, que podrían resultar de difícil digestión.

En contra de un criterio desacertadamente extendido, en los siglos pasados no se recurría a la captación directa de los ríos por los problemas de su turbidez y, en ocasiones, falta de frescor. Las aguas superficiales captadas de los ríos directamente o por medio de embalses no se han utilizado hasta finales del siglo XIX, una vez desarrollada la técnica de los filtros de arena para clarificar el agua.

En el caso de Madrid, agotadas las posibilidades de su tradicional sistema de abastecimiento por medio de los viajes de agua utilizados desde el siglo IX, cuando la población llegó a las 200 000 almas a mediados del siglo XIX, hubo que recurrir a la captación de aguas del río Lozoya por medio del Canal de Isabel II. Para ello se construyó la presa del Pontón de la Oliva, con objeto de asegurar los caudales durante el verano, y un canal de 70 km provisto de numerosos acueductos y túneles, a lo romano. Debido a las filtraciones del embalse, hubo que trasladar la toma río arriba construyendo la presa de El Villar. Sin embargo, la capital sufrió durante varias décadas el problema de "las turbias", hasta que se realizó la repoblación forestal de la cabecera del Lozoya, problema que causó innumerables molestias y protestas del vecindario, llegando a agrios debates en el ayuntamiento de la capital e incluso en el Congreso de los Diputados, pues en ocasiones las aguas que se suministraban a la población era lo que los ciudadanos denominaban "agua-chocolate". El problema no se resolvería definitivamente hasta la década de los años 60 del pasado siglo, con la construcción de estaciones de tratamiento provistas de filtros de arena (la primera, la de Torrelaguna, para el tratamiento de las aguas del río Lozoya).

Durante siglos, los madrileños se abastecieron y bebieron aguas claras procedentes de los viajes de agua, con la peculiaridad de que la calidad de dichas aguas y el gusto por las mismas difiere notablemente de las que presenta el suministro actual.

La calidad del agua del qanat de El Paular

Las únicas referencias que hemos encontrado a esta tercera conducción (Barceló *et al.* 2013) indican solamente que se trata de la "de mejor calidad de agua". Por ello tenemos que entrar a continuación en el tema de la calidad de las aguas de abastecimiento al monasterio.

De sobra es conocida hoy la fama de la calidad de las aguas del Río Lozoya, auténtica despensa hídrica del abastecimiento a la villa de Madrid. Se trata de aguas de muy baja mineralización y con un contenido en sales que, medidas a través de su conductividad eléctrica (a menor mineralización, menor conductividad), no suelen superar los 50 microsiemens/cm. En el caso del abastecimiento primitivo de agua del arroyo de Santa María, las medidas *in situ* arrojaron 45,2 microsiemens/cm (3/02/2016). Es decir, las aguas superficiales son muy puras, con muy baja mineralización. Por el contrario, el contenido en sales disueltas de las aguas subterráneas del área de la Cartuja es sensiblemente mayor. En la fuente abrevadero, situada en el origen de la captación subterránea, la conductividad eléctrica medida fue de 300 microsiemens/cm. Conductividad que viene a coincidir con la del pozo perforado de 39 m de profundidad situado en el exterior del recinto del Monasterio, junto a su ángulo sur, que arrojó una medida de 225 microsiemens/cm.

Para comprender los criterios de "calidad del agua" en la época que tratamos disponemos de diversos trabajos de ese periodo, pero quizá uno de los más clarividentes es el del "Doctor Alfonso Limón, catedrático de vísperas de Medicina de la muy Ilustre y Docta Universidad de Alcalá de Henares" en su obra *Espejo Cristalino de las Aguas de España* (1679).

Alfonso Limón, con el criterio general de la época establece una jerarquía en la bondad de las aguas, considerando que las mejores son las de fuentes y pozos para todo uso, mientras que las aguas de río, laguna o nieve deben ser "coladas" y "cocidas", y aún después de estas prevenciones, asegura: "no quedan más perfectas que las de fuente". El Dr. Limón tampoco considera adecuadas las aguas de lluvia, aunque sí mejores que las de laguna y nieve. Las aguas superficiales considera que "... reciben toda la inmundicia de la tierra y pueblos, aunque no estén cerca de ellos; asisten a ellas muchos baños de animales..." (López Vera, 1982). Por lo que sin lugar a dudas el agua del qanat era la fuente de suministro de agua de bebida más apreciada por la comunidad cartuja, por su frescura y pureza, libre de contaminación.

Los artifices del qanat de El Paular y la fecha de construcción

Posiblemente existiera una primera captación de agua subterránea desde los momentos iniciales del establecimiento de la Cartuja y muy posiblemente fuese de tipo qanat, dada la profusión de estas captaciones en Madrid y su entorno, pero no tenemos evidencias materiales. A la vista de la naturaleza de este tipo de captación, con necesidad de tener mantenimiento y renovación, seguramente fue reconstruida varias veces acorde con las diversas fases constructivas del monasterio.

Al haberse perdido los archivos históricos, solo nos podemos basar en los vestigios físicos que observamos que son principalmente los pináculos o "capirotes", por utilizar la denominación popular en Madrid del cierre de los pozos de ventilación. Éstos se empezaron a utilizar a partir del último tercio del siglo XVI, en sustitución de los antiguos "cascarnes" de mampostería de tradición árabe (Oliver Asín, 1958). La diferencia de los capirotes de Madrid con los de El Paular, consiste en que los primeros son tronco-piramidales y los de El Paular son piramidales, pero la factura es idéntica.

Con el establecimiento permanente de la corte en Madrid en 1561 y la posterior declaración de capitalidad en 1606, la remodelación y ampliación de los viajes de agua tuvieron a partir de esta fecha un gran impulso, siendo objeto de una gran actividad. Por los archivos municipales de Madrid se conoce la identidad de gran número de "fontaneros, visitantes y arquitectos" de los viajes de agua y nos inclinamos a pensar en alguno de ellos como constructor de la captación de El Paular. En cuanto a la fecha de construcción de lo que hoy contemplamos, coincidimos con lo expuesto por Barceló *et al*, (2013), en que corresponde al periodo comprendido entre el último tercio del siglo XVI y primeras décadas del XVII.

Conclusiones

La cartuja de Santa María del Paular fue fundada en 1390 y abandonada en 1836. Con posterioridad fue recuperada por el Estado y declarada Monumento Histórico Nacional el 27 de junio de 1876, aunque los monjes (benedictinos) no regresaron hasta 1954.

A lo largo de los diversos trabajos arqueológicos y de restauración realizados, se ha puesto de manifiesto la importancia de sus infraestructuras hidráulicas y el interés de su estudio. Aparte de las derivaciones de aguas superficiales del arroyo de Santa María y del río Lozoya, pensamos que el abastecimiento de

agua potable se efectuó mediante un qanat o captación subterránea, que captaba el agua del subsuelo en el denominado Prado de las Ovejas. Su traza viene marcada por una serie de bloques piramidales de granito, de unos 400 kg de peso ("capirotes" en la denominación dada en Madrid para estos pináculos de los "viajes de agua"). En el mismo prado existe una arqueta o cambija que vierte sus aguas a una fuente. La longitud total del qanat es de unos 450 m, de los que unos 100 podrán corresponder a drenes de captación y el resto a galerías de conducción.

La superposición de actuaciones constructivas y el mal estado de conservación hacen difícil seguir el trazado de la conducción en el interior del recinto monástico, pero nos inclinamos por una galería que abastecía la fuente del claustro principal y rendía sus aguas en las cocinas.

Por su tipología, los indicios materiales indican el periodo de su construcción de finales del siglo XVI a primeras décadas del XVII, sin descartar que se tratase de una remodelación de una obra previa. Por la semejanza con las captaciones realizadas en este mismo periodo para el abastecimiento de Madrid, nos inclinamos a creer que su autoría se debe a los mismos artifices.

Proponemos la restauración de la captación y galerías de conducción y distribución, así como su nueva puesta en servicio. Todo ello por sus valores singulares, culturales y arqueológicos, teniendo en cuenta que la UNESCO en 2002 proclamó el sistema de captación y conducción de aguas por medio de los qanats como patrimonio de la humanidad.

Agradecimientos

La mayor parte de los sistemas hidráulicos arriba descritos se encuentran en una finca de propiedad privada. Agradecemos al propietario las facilidades de acceso. A Restituto Montero, que nos sirvió de guía. Juan Vielva y Antonio Gómez Iruela, que nos han enseñado muchos de los secretos del valle de El Paular. Vicente Navarro y Teresa Díaz, del Archivo general del IPCE, que con su profesionalidad y amabilidad nos permitieron localizar y consultar la documentación relativa a El Paular. Al siempre amable Padre Joaquín Cruz y a Santiago (Tito) Marcos que fueron nuestros guías en la intrincada red de túneles y galerías del monasterio. A la Comunidad Benedictina y la Asociación de Amigos de El Paular, que dan vida al monasterio. La Fundación Fomento y Gestión del Agua (FFGA) y la Asociación para la Defensa de la Calidad del Agua (ADECAGUA) nos dio soporte para realizar este trabajo y a los revisores que mejoraron

notablemente nuestro original. A todos ellos nuestro sincero agradecimiento.

Referencias

- Ardemans, T. 1724. *Fluencia de la tierra y curso subterráneo de las aguas, dedicado a María Santísima, Madrid*, Imprenta Francisco del Hierro, 278 pp + 11 láminas.
- Barceló, E., Álvarez, M. y Barceló, I. 2013. Estudio histórico constructivo. Las excavaciones arqueológicas. En *La recuperación de El Paular*. Ministerio de Educación Cultura y Deporte, pp.11-56.
- Carretero, G. y Bueno, J. 2004. *Caracterización Hidrogeológica de sondeos de investigación en la Umbría (Rascafría)*. Aitemin. Gestor de Infraestructuras Ferroviarias (GIF) nº Reg. C-041013-10. 65 pp.
- De Prado, C. 1864. *Descripción física y geológica de la provincia de Madrid*. Edic. Facsímil. Colegio de Ingenieros de Caminos. Madrid 1975.
- Fernández Casado, C. 1983. *Ingeniería hidráulica romana*. Colegio de ingenieros de Caminos. Madrid, 674 pp.
- Fernández Navarro, L. 1899. Excursiones por los alrededores de Lozoya. Madrid. *Actas Real Sociedad Española de Historia Natural*. 26:91-99.
- Fernández Navarro, L. 1915. Monografía geológica del valle de Lozoya. *Trabajos Museo Nacional Ciencias Naturales*. 12:1-100.
- Fernández Tobera, M. 1990. Las Viajes del agua del jardín "El Capricho". La Alameda de Osuna de Madrid}. *Rev. Gorma* nº 1,
- Gómez, I. M^a. O.S.B. 2004. *Real Monasterio de Santa María de El Paular*. Ediciones DIORKI. Madrid.
- IGME. 1998. *Mapa Geológico de España. E 1:50.000*. nº 483 (18-19). Segovia. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.135. más un mapa
- IGME-OAPN. 2015 *El Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama: cumbres, paisaje y gente*. Edición Instituto Geológico y Minero de España y el Organismo Autónomo de Parques Nacionales.
- IGN 2001. *Efectos del Terremoto de Lisboa de 1755 en España. (1 noviembre 1755)*. Monografía nº 19. Instituto Geográfico Nacional
- IPCE 1985. *Plan Director del Monasterio de Santa María del Paular. 1º Fase, Estudio previo al Plan Director*. Archivo General del Instituto del Patrimonio Cultural de España. Ministerio de Cultura.
- IPCE. 1996. *Obras de emergencia en la antigua red de abastecimiento y saneamiento en el Monasterio de Santa María del Paular*. Archivo General del IPCE. Sig. PI-1404-3. Archivo General del Instituto del Patrimonio Cultural de España. Ministerio de Cultura.
- Libro Becerro (1565) *Trascripción realizada por el monje profeso Bernardo de Castro, a petición del prior Juan de la Parra*. Archivo del Monasterio de Santa María de El Paular. Rascafría (Madrid)
- López Camacho, B y Octavio de Toledo, F (1982). *Posibilidades de suministro con aguas subterráneas de Rascafría, Oteruelo del Valle, Alameda del Valle y Pinilla del Valle*. Informe Ref. 06/82. Servicio Geológico de Obras Públicas. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismos. Madrid.
- López Camacho, B. (2001). Galerías de captación de agua en la Europa Mediterránea. *Revista de Obras Públicas*, nº 3. 414, octubre 2001.
- López-Camacho, B. y Bustamante Gutiérrez, I., Iglesias Martín, J. A (2005). El Viaje de Agua (Qanat) de la Fuente Grande de Ocaña. (Toledo): Pervivencia de una reliquia hidráulica. *Revista de Obras Públicas/Enero 2005/Nº 3*. 451.
- López Vera, F. (1982). Alfonso Limón, pionero en el siglo XVII de una ciencia de hoy: la Hidrogeoquímica. *Boletín Geológico y Minero*. T. XCIII-IV. Pp. 346-370.
- Oliver Asín, J. (1958). *Historia del Nombre Madrid*, CSIC. D.L.: M. 12.366-1958. 412 pag+32 Láminas.
- Olivier, C. (1991) Estudio de las aguas subterráneas y las conducciones de agua en las humedades del Monasterio de Santa M^a del Paular en Rascafría (Madrid). *Memoria del Plan Director del Monasterio Santa M^a del Paular* (2006). Archivo General del IPCE. Ministerio de Cultura. Sig. PD-232-7.
- Pavón Maldonado, B. (1990). *Tratado de arquitectura Hispanomusulmana, I Agua*. CSIC, Madrid.
- Sachar Smear Yazdi, A. y Labbaf Khaneiki, M (2013). *Veins of Desert: A review on the technique of Qanat/Falaj/Karez*. *International Center on Qanats Historical Hydraulic Structures* (ICQHS). Edit. Iran Water Resources Management Company). Teherán. ISBN: 978-600-91142-4-5.
- Trol, C. y Braun, C (1974). El abastecimiento de agua de la ciudad por medio de qanats a lo largo de la historia. En *Geographica*, 1974.

Recibido: abril 2016
Revisado: mayo 2016
Aceptado: julio 2016
Publicado: marzo 2017