

Los “qanats” o minas de agua del acuífero de Los Alcores y el sistema tradicional de abastecimiento de agua a Sevilla

Francisco Moral Martos

Universidad Pablo de Olavide. Carretera de Utrera, km 1, 41013 Sevilla.
fmormar@upo.es

RESUMEN

A causa de la calidad y de la posición topográfica de sus aguas, el acuífero de Los Alcores ha constituido durante muchos siglos el principal suministro de agua corriente y de boca para la ciudad de Sevilla. En el siglo I se construyó un complejo sistema de abastecimiento de agua, de más de 17 km de longitud, que captaba el agua en la parte meridional del acuífero y cuyos principales elementos eran una extensa red de qanats, una conducción en superficie y un depósito en la ciudad (*castellum aquae*). Tras el abandono de esta infraestructura, se reconstruye la conducción superficial en el siglo XII (conocida como Caños de Carmona), que estaba integrada por una acequia y, en la parte más cercana a la ciudad, por un acueducto de ladrillo sobre arco. Desde finales del siglo XIX, el desarrollo urbano, industrial y de la red de transporte y la traída de agua desde los embalses de Sierra Morena produjeron, de nuevo, el progresivo abandono y destrucción de las infraestructuras. No obstante, buena parte de la red de qanats excavada en el acuífero de Los Alcores se ha preservado y, recientemente, los grupos espeleológicos GEOS y AAES han explorado cerca de 20 km de minas. Las características de las galerías y de las lumbreras, las técnicas constructivas, el descubrimiento de mortero (*opus signinum*) y de ladrillos (*opus testaceum*) de factura romana y las crónicas árabes apuntan a que esta red de qanats fue realizada principalmente durante la dominación de Roma.

Palabras clave: acueducto, aguas subterráneas, periodo romano, qanats.

The “qanats” of the Los Alcores aquifer and the traditional water supply system to Seville

ABSTRACT

*Due to the quality and the topographic position of its waters, the Los Alcores aquifer has been the main supply of running and drinking water for the city of Seville for many centuries. In the first century, a complex water supply system, of more than 17 km in length, was built to withdraw groundwaters in the southern part of the aquifer and whose main elements were an extensive network of “qanats”, a surface conduction and a reservoir in the city (*castellum aquae*). After the abandonment of this infrastructure, the surface conduction was reconstructed in the 12th century (known as Caños de Carmona), which was made up of a canal and, in the part closest to the city, by a brick aqueduct over arches. Since the end of the 19th century, the urban, industrial and the transport network development and the conduction of water from the reservoirs of the Sierra Morena produced, once again, the progressive abandonment and destruction of these infrastructures. However, a large part of the “qanat” network excavated in the Los Alcores aquifer has been preserved and recently the GEOS and AAES speleological groups have explored about 20 km of water mines. The characteristics of tunnels and vertical shafts, the construction techniques, the discovery of Roman mortar (*opus signinum*) and bricks (*opus testaceum*) and the Arab chronicles suggest that this network of “qanats” was made mainly during the Roman domination period.*

Keywords: aqueduct, groundwater, Roman period, “qanats”.

Introducción

Desde la llegada de la agricultura, la fertilidad de las tierras de la Depresión del Guadalquivir favoreció una ocupación humana relativamente intensiva de este territorio. La incorporación de la región a las rutas comerciales de la antigüedad impulsó el desarrollo de la ciudad de Sevilla en torno al puerto, gracias a su situación geográfica, en el nodo de confluencia de las rutas de transporte marítimo, y las rutas fluviales y terrestres procedentes de toda la cuenca del Guadalquivir. El núcleo primitivo de la ciudad se enclavó sobre una terraza aluvial, pero el crecimiento de la población dio lugar a la progresiva ocupación de la llanura de inundación del río Guadalquivir. La relación histórica de Sevilla con el agua ha estado marcada por el mantenimiento y mejora de la navegabilidad del río, por la defensa de la ciudad frente a las inundaciones, por la evacuación de las aguas residuales y por el suministro de agua para el consumo humano. En relación con esta última cuestión, a pesar de que la ciudad se ubica sobre un acuífero aluvial fácilmente explotable y de la cercanía del propio río, el uso de estas aguas planteaba dos problemas importantes: en primer lugar, el agua se encuentra a menor cota que los puntos de consumo por lo que durante mucho tiempo existió una notable limitación en

cuanto a los caudales disponibles y, en segundo lugar, las aguas tenían una calidad deficiente, en particular, para los usos domésticos. Es por ello, que, desde época romana hasta principios del siglo XX, la principal fuente de agua de calidad aceptable que abasteció a la ciudad fue el acuífero de Los Alcores.

Para conseguir unos caudales regulares a lo largo de todo el año que garantizaran el suministro a fuentes y baños públicos, a edificios gubernamentales, de instituciones religiosas o de las clases pudientes, a huertas y a molinos, ya desde época romana, se construyó una extensa red de minas de agua o "qanats" que captaban las aguas del acuífero de Los Alcores junto a la ribera del río Guadaíra y, por gravedad, las conducían a los puntos de consumo. En el caso de la ciudad de Sevilla, el sistema de conducción del agua, de más de 17 km de longitud, estaba constituido por varias minas de agua, un canal cubierto y, en el tramo más próximo a la ciudad, un acueducto, conocido popularmente como los Caños de Carmona (Fernández-Casado, 1970; Gisante *et al.*, 1998; GEOS, 2010; Fernández-Chaves, 2011a).

Este sistema de captación de las aguas del acuífero mediante minas de agua era bastante habitual en otros puntos de la cornisa de Los Alcores, como la ciudad



Figura 1. Localización geográfica de la zona de estudio. Se indica la ubicación de los principales qanats de Los Alcores y el trazado de los antiguos Caños de Carmona.

Figure 1. Geographical location of the study area. The position of the main "qanats" of Los Alcores and the old Caños de Carmona are indicated.

de Carmona o el enclave agrícola de Alcaudete (Millán, 2013a, 2015, 2016a, 2017a y 2017b).

A lo largo del siglo XX se produjo el progresivo abandono y demolición de buena parte de la infraestructura hidráulica tradicional, a medida que se iban sustituyendo las aguas procedentes de Los Alcores por las aguas de mayor calidad de los embalses de Sierra Morena. En los años 80 del siglo XX cesa la explotación de las aguas de Los Alcores para el abastecimiento de Sevilla y, en consecuencia, el mantenimiento de los sondeos y minas de agua vinculados al mismo.

Con el inicio del nuevo siglo, el cambio en la percepción del valor cultural del patrimonio hidráulico de la comarca impulsa la exploración sistemática de la extensa red de minas de agua de Los Alcores. Esta labor, promovida, entre otros organismos, por los Ayuntamientos de Alcalá de Guadaíra y de Carmona, es llevada a cabo principalmente por los grupos espeleológicos GEOS y AAES y cuenta con la colaboración de especialistas en Arqueología.

El medio natural: Los Alcores y la llanura aluvial de Sevilla

La zona de estudio de este trabajo (Figura 1) se sitúa entre el río Guadalquivir, en el tramo comprendido entre las desembocaduras de los ríos Corbones y Guadaíra, y Los Alcores (Baselga *et al.*, 2011), situados unos 20 km al SE, y que forman una cresta alineada en dirección NE-SO a lo largo de 30 km, desde Alcalá de Guadaíra hasta Carmona.

Se trata de un territorio de escasa altitud, con cotas inferiores a 5 m s.n.m. en algunos puntos de la ciudad de Sevilla, que de forma suave y paulatina se eleva hacia Los Alcores hasta alcanzar una cota máxima de 257 m s.n.m. dentro del casco urbano de Carmona. Desde



Figura 2. Panorámica de la cornisa de Los Alcores desde Carmona. En primer término, se observan las calcarenitas del Mioceno superior.

Figure 2. Panoramic view of the ledge of Los Alcores from Carmona. In the foreground, the calcarenites of the upper Miocene can be observed.

el punto de vista geomorfológico, predominan las llanuras aluviales, con pendientes inferiores al 3 %. No obstante, Los Alcores presenta una morfología erosiva suavemente alomada, con pendientes del 6-7 %, con una brusca terminación en cuesta por el borde suroccidental. Esta cuesta, que en algunos puntos forma escarpes de más de 20 m, salva un desnivel de 100-150 metros hasta las llanuras aluviales de los ríos Corbones y Guadaíra, situadas al este y sureste.

Las extensas llanuras en las que se enclava Sevilla tienen un origen aluvial y corresponden al sistema de terrazas del bajo Guadalquivir y a su actual llanura de inundación. Se trata de depósitos aluviales cuaternarios constituidos por cantos de cuarcita, arenas gruesas, limos rojos, gravas y arcillas y que se disponen en discordancia sobre las margas miocenas grises y azules. Las terrazas ocupan una gran superficie en la margen izquierda del Guadalquivir, donde pueden reconocerse hasta ocho niveles que se disponen entre las cotas 20 y 150. Los aluviones presentan una potencia bastante constante, próxima a 10 m, lo que permite clasificar a las terrazas como de tipo erosivo (*strath terraces*). La geometría del sistema de terrazas y la presencia de abundantes cantos de cuarcita procedentes de Sierra Morena se deben al progresivo encajamiento y migración hacia el noroeste del río Guadalquivir a lo largo del Cuaternario, en relación con el levantamiento actual de la Cordillera Bética (Moral *et al.*, 2013).

En Los Alcores afloran principalmente calcarenitas, arenas y limos amarillos depositados en un medio litoral al final del Mioceno y, quizá, principios del Plioceno (IGME, 1988). Estos materiales poseen una estratificación grosera y una disposición subhorizontal o muy suavemente buzante hacia el noroeste. La potencia supera en algunos puntos los 60 m de espesor y, a muro, se produce un cambio progresivo a margas azules miocenas, que afloran en la base del escarpe de Los Alcores (Figura 2).

Desde el punto de vista hidrológico, destaca la baja densidad de la red de drenaje superficial, sobre todo, en las terrazas aluviales más bajas. Aparte de los tramos de los ríos Guadalquivir, Guadaíra y Corbones, que marcan los límites de la zona de estudio, solo se encuentran algunos arroyos, en general, de carácter muy estacional. Entre estos se pueden citar los arroyos de la Quintanilla, el de Miraflores o Tagarete, de Almonazar, de las Culebras, del Cochino, de Guadaíra y de las Adelfas, que desde la vertiente noroccidental de Los Alcores circulan hacia el río Guadalquivir o hacia los tramos finales de los ríos Guadaíra y Corbones. Por la vertiente suroccidental de Los Alcores las aguas de escorrentía son canalizadas principalmente por el arroyo Salado, afluente del Guadaíra, y el arroyo Galapagar, afluente del Corbones.

Las aguas de la red fluvial se caracterizan por su mineralización relativamente alta. Los cauces que, como el río Corbones, drenan los terrenos arcillosos-evaporíticos triásicos de las campiñas altas del Guadalquivir presentan aguas salobres, con contenidos salinos generalmente comprendidos entre 2 y 3 g/L. Estos mismos terrenos, que afloran extensamente en la margen izquierda del río Guadalquivir, determinan que la concentración de sales en sus aguas sea del orden de 1 g/L. Por último, los cauces que recogen las aguas e los terrenos aluviales y de las areniscas de Los Alcores, poseen una menor salinidad, con valores próximos a 0,5 y 1 g/L (Moral y Navarro, 2015; Moral, 2018).

El régimen de caudales de la red fluvial es marcadamente pluvial y muy irregular, con crecidas en invierno y comienzos de primavera y fuertes estiajes en verano, más o menos acusados en función de los aportes de aguas subterráneas que recibe cada tramo fluvial. Los elevados caudales de crecida y la topografía baja y llana favorecen que las vegas del río Guadalquivir y de sus principales afluentes sufran inundaciones en los años de elevadas precipitaciones, aunque, tras la construcción de la red de embalses de la cuenca a mediados del siglo XX, la problemática de las inundaciones se ha atenuado considerablemente.

Casi todos los materiales que afloran en la zona de estudio, tanto los aluviones cuaternarios como las cal-

carenitas de Los Alcores, presentan alta porosidad y permeabilidad, por lo que constituyen acuíferos (Figura 3) que, a pesar de la continuidad de sus afloramientos, han sido incluidos en dos unidades hidrogeológicas: Sevilla-Carmona y Aluvial del Guadalquivir (IGME, 2001; IGME-DS, 2003). Aunque, como se ha indicado, los materiales acuíferos afloran extensamente, poseen un espesor bastante reducido, del orden de 10 a 20 m, los sedimentos aluviales cuaternarios, y entre 30 y 60 m, las calcarenitas neógenas. Considerando una recarga anual media de 70 mm sobre los 700 km² de afloramientos permeables en la zona de estudio, se pueden estimar unos recursos hídricos renovables de unos 50 hm³/año. De forma natural, las aguas subterráneas descargan en el cauce del río Guadalquivir y en los tramos bajos del resto de la red fluvial y, en menor medida, por los manantiales del borde oriental de Los Alcores y de la ribera del Guadaíra, en el tramo en el que este río atraviesa las calcarenitas miocenas. En las últimas décadas se han construido numerosos pozos y sondeos equipados con electrobombas que explotan los acuíferos con fines principalmente agrícolas.

El acuífero de Los Alcores

La localización de Sevilla, en la orilla izquierda del río Guadalquivir y sobre un acuífero aluvial, induce a pen-

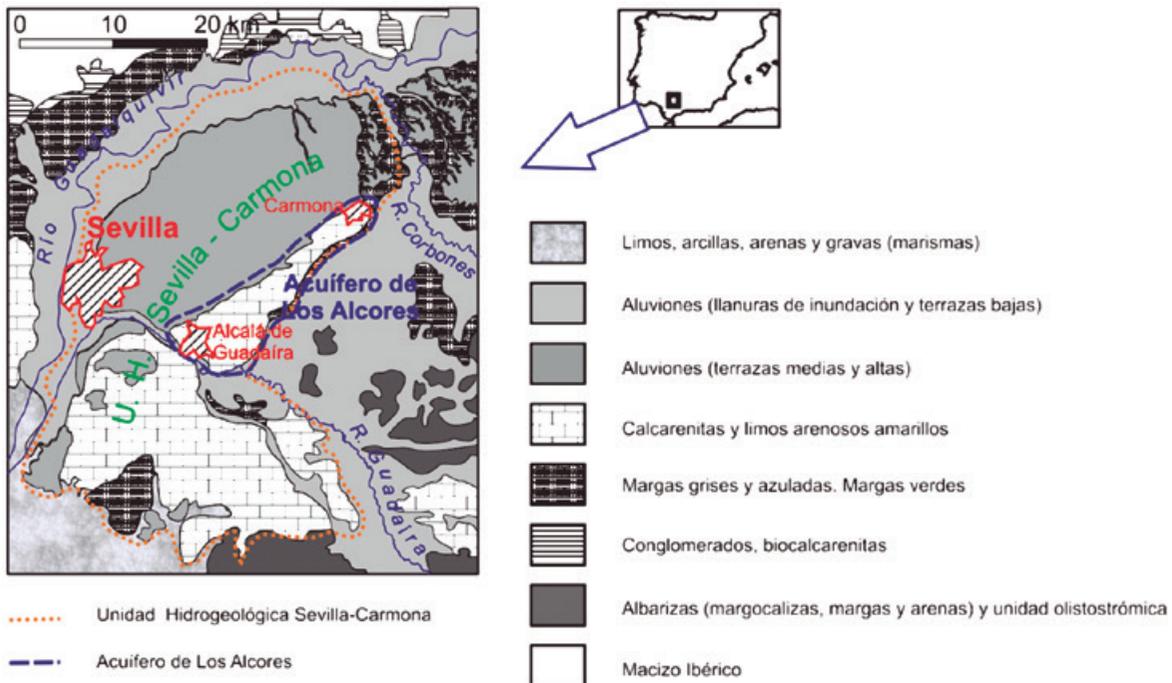


Figura 3. Mapa hidrogeológico de la Depresión del Guadalquivir en las proximidades de la ciudad de Sevilla. Se destaca la ubicación del acuífero de Los Alcores, incluido en la Unidad Hidrogeológica Sevilla-Carmona (modificado de Moral y Navarro, 2015).

Figure 3. Hydrogeological map of the Guadalquivir Depression in the vicinity of the city of Sevilla. The location of the Los Alcores aquifer, included in the Sevilla-Carmona hydrogeological unit, is marked with dashed blue line (modified from Moral and Navarro, 2015).

sar que, a lo largo de su historia, ha disfrutado de un suministro seguro y abundante de agua. Sin embargo, la calidad natural de las aguas superficiales y subterráneas, la contaminación, causada por las inundaciones y por la dificultad de evacuación de las aguas residuales, y la ubicación del agua más accesible a menor cota que la ciudad, han ocasionado un déficit crónico de agua corriente de calidad hasta bien entrado el siglo XX.

Los principales recursos hídricos que satisfacían las demandas de agua de boca de Sevilla, hasta mediados del siglo XX, fueron las aguas subterráneas del acuífero de Los Alcores en las proximidades de la margen derecha del río Guadaira.

Las calcarenitas de Los Alcores constituyen un acuífero libre que aflora en una superficie próxima a los 95 km², a lo largo de una franja de 25 km de longitud entre las localidades de Alcalá de Guadaíra y Carmona. Dan lugar a un relieve elevado sobre las llanuras aluviales del Guadalquivir, situadas al noroeste y, mediante una línea de escarpe de gran continuidad, sobre las vegas de los ríos Guadaíra y Corbones.

El límite suroriental, localizado en la base de la cornisa de Los Alcores, corresponde al contacto con-

cordante de las calcarenitas sobre las margas azules y grises del Mioceno superior. El límite noroccidental es un contacto discordante con los materiales aluviales de las terrazas altas del río Guadalquivir. En varios sondeos situados junto a este límite se encuentran las calcarenitas bajo unos 10 metros de aluviones; en cambio en otros, los aluviones se sitúan directamente sobre las margas azules. Parece evidente que las calcarenitas se acuñan completamente bajo los materiales de las terrazas a escasa distancia del contacto entre los afloramientos de ambos materiales (Moral y Navarro, 2015).

La posición topográfica relativamente elevada de las calcarenitas de Los Alcores implica que la recarga hídrica procede fundamentalmente de la infiltración parcial del agua de precipitación. Por otro lado, la presencia de formas exokársticas, el escaso desarrollo de la red de drenaje superficial y, a excepción del escarpe suroriental, las bajas pendientes de los afloramientos indican que un alto porcentaje de la lluvia útil se infiltra en profundidad. En este sentido, la morfología de las calcarenitas se caracteriza por la existencia de numerosas depresiones de fondo plano recubiertas por

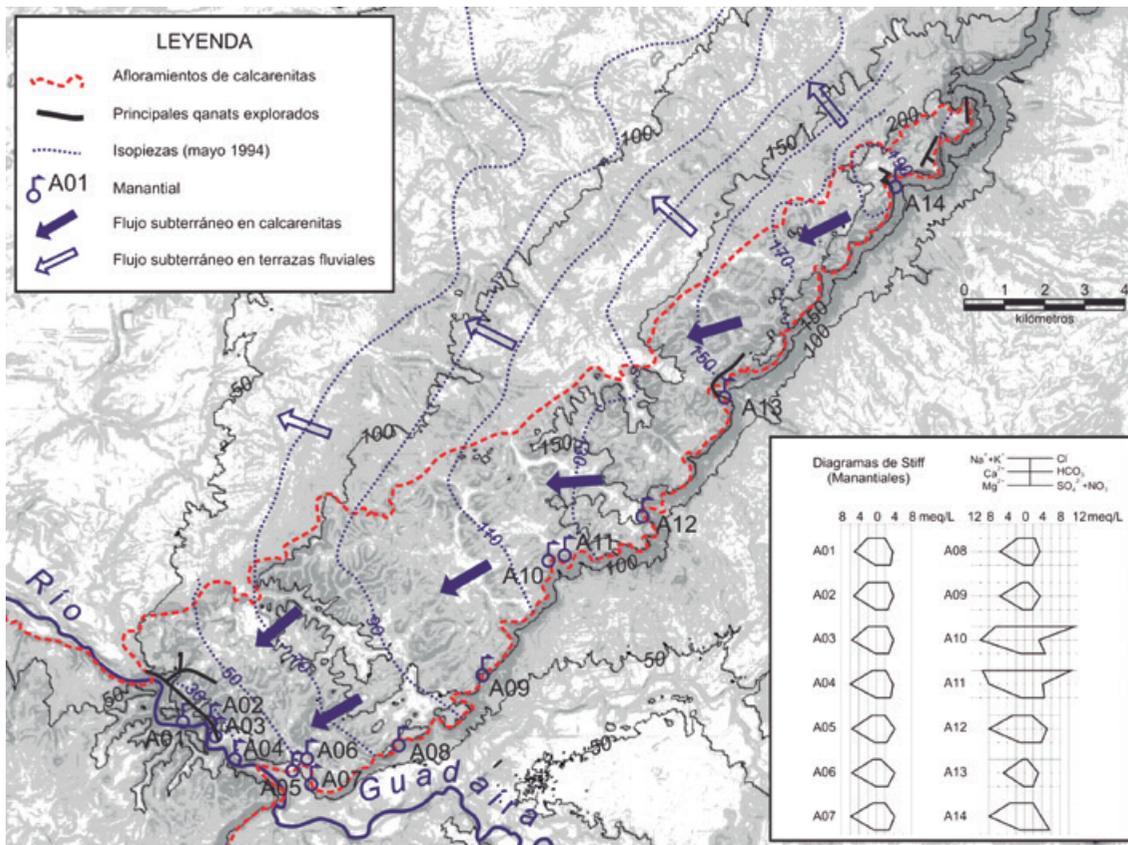


Figura 4. Mapa hidrogeológico del acuífero de Los Alcores (modificado de Moral y Navarro, 2015).

Figure 4. Hydrogeological map of the Los Alcores aquifer (modified from Moral and Navarro, 2015).

varios metros de terra rossa (JA-ITGE, 1998), en las que pueden producirse encharcamientos temporales.

La superficie freática se sitúa a unos 200 m s.n.m. en Carmona y desciende suavemente hacia el suroeste (el gradiente hidráulico medio es inferior al 1%), hasta situarse en torno a los 50 m s.n.m. en las proximidades de Alcalá de Guadaíra (Figura 4). La zona no saturada del acuífero, por lo general, presenta un espesor que varía entre 10 y 40 metros.

La descarga del acuífero (Figuras 4 y 5) ocurre de forma natural por los manantiales de la margen derecha del río Guadaíra (San Francisco -A01-, Algarrobo -A02-, Aceña -A04-, Arroyo de los Molinos -A07-, Marchenilla -A06-, Gandul -A08-) y, en menor cuantía, por los manantiales existentes al pie de la cornisa de Los Alcores, en el contacto con las margas azules (Alconchel -A10-, Fuente Gorda -A11-, La Muela -A12-, Fábrica de Anís -A14-). En el trabajo del IGME-DS (2003) se

considera que parte de la descarga se produce subterráneamente hacia las terrazas fluviales que limitan con las calcarenitas por el noroeste. No obstante, Moral y Navarro (2015), a partir de datos piezométricos, de la ubicación de los manantiales y del diferente espesor y posición del muro de las calcarenitas y de los aluviones, concluyen que existe una divisoria hidrogeológica próxima al contacto entre los afloramientos de ambos tipos de materiales. De manera que, sin descartar la posibilidad de que se produzca un intercambio de agua subterránea de pequeña cuantía con las terrazas aluviales, las calcarenitas de Los Alcores funcionan básicamente como un sistema hidrogeológico independiente.

En la segunda mitad del siglo XX se construyen numerosos pozos que captan las aguas del acuífero con el objeto de abastecer a Sevilla y a los núcleos urbanos y a los cultivos de regadío de Los Alcores. Pero la



Figura 5. Mina de agua en el manantial de Cañaveralejo (Alcalá de Guadaíra).

Figure 5. "Qanat" in the spring of Cañaveralejo (Alcalá de Guadaíra).

sobreexplotación y contaminación del acuífero produjo una paulatina disminución en la cantidad y calidad de las aguas por lo que se abandona la canalización de los Caños de Carmona (década de los ochenta del siglo XX) y se traen aguas de los embalses de Sierra Morena para el abastecimiento de las poblaciones de Los Alcores. La situación del acuífero llegó a ser particularmente grave durante la sequía de los años 90, hasta el punto de ser declarado sobreexplotado (BOP de 16/10/1992).

En el citado trabajo de Moral y Navarro (2015) se estiman unos recursos hídricos subterráneos medios del orden de 9-10 hm³/año. Los manantiales del borde meridional del acuífero, la principal zona de descarga natural, poseen una salinidad comprendida entre 500 y 625 mg/L (Tabla 1). En cambio, los manantiales de los sectores central y septentrional, localizados en el borde oriental de las calcarenitas, presenta una salinidad más variada, con valores comprendidos entre 450 mg/L (Alcaudete) y 1300 mg/L (Fuente Gorda). La facies hidroquímica predominante es bicarbonatada cálcica, con la excepción de la Fuente de Alconchel y la Fuente Gorda que poseen aguas cloruradas cálcico-sódicas y sódico-cálcicas, respectivamente (Figura 4). Las aguas son duras, con contenidos en Ca²⁺ comprendidos entre 100 y 200 mg/L, y con contenidos en Na⁺ muy variables (desde 11 mg/L en el manantial de Alcaudete hasta 196 g/L en la Fuente Gorda). Aunque el anión mayoritario suele ser el bicarbonato (200 a 300 mg/L), se observan concentraciones relativamente elevadas de cloruros (25 a 400 mg/L) y de sulfatos (15 a 100 mg/L).

Las aguas presentan una elevada concentración en nitratos (50 a 300 mg/L), atribuible a contaminación relacionada con las actividades agrícolas o con infiltración de aguas residuales urbanas. El deterioro de la calidad química del agua parece más acusado en los manantiales de la Fábrica de Anís y en las fuentes de Alconchel y Gorda, situadas en áreas muy urbanizadas.

El abastecimiento tradicional de agua a Sevilla

Durante dos milenios el suministro de agua a la ciudad se ha realizado mediante numerosos pozos que captaban el acuífero aluvial y directamente desde el río Guadalquivir. Además, en la época romana (s. I-V) y desde la época almohade (s. XII) hasta el siglo XX, la captación de las aguas del acuífero de Los Alcores en las proximidades de Alcalá de Guadaíra permitió un suministro de agua corriente de mejor calidad, aunque siempre en cantidad insuficiente, por lo que benefició fundamentalmente a las clases pudientes. A lo largo del siglo XX, la traída de agua potable de mejor calidad desde los embalses de Sierra Morena fue sustituyendo paulatinamente a los sistemas de abastecimiento tradicionales, a la vez que se iban solucionando los problemas crónicos del abastecimiento de agua a la ciudad.

Entre los restos arqueológicos de interés hidrogeológico de la época romana destacan algunos pozos domésticos y artesanales, situados mayoritariamente en la plaza de La Encarnación, que captaban las aguas

Manantial	Q (L/s)	CE (μS/cm)	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻
A01-San Francisco	5	820	38,8	10,5	105,2	7,1	205,9	66,5	50,4	133,6
A02-EI Algarrobo	1	704	53,8	2,8	108,3	3,9	228,8	95,5	53,7	89,4
A03-San Juan	1	825	47,6	1,2	117,3	4,2	228,8	81,5	51,2	96,1
A04-La Aceña	5	827	26,4	2,2	127,4	4,4	221,1	70,2	40,6	140,8
A05-La Fontanilla	0,5	757	25,8	2,9	117,9	5,2	244,0	55,9	69,1	54,4
A06-Marchenilla	1	676	18,1	4,9	115,3	5,5	236,4	23,4	87,5	55,2
A07-Los Molinos	20	772	24,2	3,6	124,2	4,9	244,0	60,4	45,6	111,1
A08-EI Gandul	20	722	27,8	1,9	113,9	4,5	213,5	85,8	24,0	84,6
A09-Bencarrón	0,5	624	12,7	1,0	108,7	4,9	221,1	34,3	34,5	75,1
A10-Alconchel	1	1819	150,9	4,4	200,5	9,2	198,3	413,8	80,6	193,6
A11-Fuente Gorda	3	1819	196,0	38,0	161,3	10,2	244,0	384,2	104,3	141,4
A12-La Muela	2	1064	55,2	10,1	166,2	10,7	305,0	61,6	106,8	104,3
A13-Alcaudete	3	602	11,3	1,1	100,9	3,6	190,6	26,5	15,1	114,7
A14-Fábrica de Anís	20	1172	68,9	17,6	159,8	9,0	236,4	71,0	39,0	309,0

Tabla 1. Características físico-químicas de las aguas de los principales manantiales del acuífero de Los Alcores (Moral y Navarro, 2015).

Table 1. Physical-chemical characteristics of the waters of the main springs of the Los Alcores aquifer (Moral and Navarro, 2015).

del acuífero aluvial. Plinio el Viejo (s. I d. C.) hace referencia a un pozo de la ciudad en el que se apreciaban los efectos de las mareas (González-Acuña, 2011).

En la época andalusí existían numerosos pozos domésticos ubicados habitualmente en el patio de las casas. Los pozos, de ladrillo y mampostería y rematados con brocales cerámicos o de piedra, tenían planta circular y escasa profundidad, generalmente entre 3 a 5 m. La ausencia generalizada de aljibes en las casas sevillanas tradicionales se puede atribuir a la facilidad de abastecimiento mediante pozos (Valencia y Vera, 2011).

Para usos que requerían mayores caudales se construían pozos con noria, como en los Baños de la Reina Mora o en las numerosas huertas que existían intramuros (Casa del Rey Moro) o en los alrededores de la ciudad (Cortijo de Miraflores-Figura 6-, Huerta Grande de la Cartuja) (Valencia y Vera, 2011; Amores, 2011). Recientemente, se ha encontrado un qanat de época califal en el palacio arzobispal con varias cámaras que bajan hasta el nivel freático (Mora, 2008).

Las aguas del acuífero aluvial también eran aprovechadas en los pequeños manantiales que surgían en los alrededores de la ciudad, ya documentados en la época almorávide. Entre estos manantiales destaca la fuente del Arzobispo, desde donde se construyó una cañería en el siglo XVI que llevaba el agua a la Alameda y abastecía a varias fuentes en el sector septentrional y occidental de la ciudad (Fernández-Chaves, 2011b).

Sin embargo, la poca profundidad de la superficie freática y la ausencia de un verdadero sistema de alcantarillado favorecían la llegada de las aguas sucias y fecales, en muchas ocasiones vertidas en pozos negros, al acuífero. La expansión de la ciudad durante la época almohade por zonas inundables dificultaba enormemente la evacuación de las aguas sucias y pluviales, formándose grandes charcos dentro de la ciudad. En algunos casos, durante las crecidas más grandes del Guadalquivir, el ascenso de la superficie freática producía el rebose de pozos y el afloramiento



Figura 6. Pozo con noria en el Parque de Miraflores. Estos pozos, que captan el acuífero aluvial del Guadalquivir, se utilizaban para suministrar a las huertas de Sevilla.

Figure 6. A well with a waterwheel in Miraflores Park. These wells, which withdraw groundwater from the Guadalquivir alluvial aquifer, were used to supply the orchards and vegetable gardens of Sevilla.

to del agua subterránea. Palomo (1878) escribió que, durante la riada de 1783, "los pozos, cloacas y husillos ... oprimidos con la abundancia y el peso de las aguas rebozaron, y hasta las solerías de las casas y otros edificios se convirtieron también en copiosos manantiales". La contaminación del agua hizo de Sevilla una ciudad insalubre hasta bien entrado el siglo XX, donde eran comunes enfermedades como el cólera, el tífus, la viruela, el sarampión, la diarrea, la disentería y la tuberculosis (Hauser, 1882; Carmona, 2000; Álvarez, 2011). En este sentido, es ilustrativa la prohibición a comienzos del siglo XIX de la presencia de pocilgas a menos de media legua de la muralla que rodeaba la ciudad (Álvarez, 2011).

Ante la dificultad del suministro de agua de boca a partir del acuífero, el río Guadalquivir fue un lugar de abastecimiento alternativo. Desde los aguaderos (en la época almohade existía uno cerca de la Puerta de Goles, actual Puerta Real, protegido con una barrera de madera), el agua era distribuida mediante grandes jarras transportadas por caballerías. Este sistema sólo posibilita un suministro muy reducido que, en modo alguno, solucionaba las necesidades básicas de la población o las derivadas de otros usos (Valencia y Vera, 2011).

Sin embargo, el agua del río presenta problemas de alta salinidad, sobre todo, en épocas de aguas bajas y de turbidez en épocas de crecidas. Las recomendaciones del almotacén Ibn Abdún permiten pensar en que el agua del río, a veces, era obtenida en enclaves insalubres: "los aguaderos han de estar donde no lleguen las mareas, protegido por tablas, lejos del tráfico fluvial y de los abrevaderos de bestias y en un sitio libre de fango fluvial" (Valencia y Vera, 2011).

La dificultad para disponer de agua de consumo humano en las inmediaciones de Sevilla llevó a sus habitantes a traerla desde la zona más cercana desde donde era posible un abastecimiento por gravedad: el extremo suroccidental del acuífero de Los Alcores, junto a la ribera del río Guadaíra. Los habitantes de *Hispalis* fueron quienes realizaron el primer acueducto de la ciudad a partir de varios manantiales que nacían en el emplazamiento actual de Alcalá de Guadaíra. Sobre los restos abandonados de esta infraestructura los almohades construyeron los Caños de Carmona que, en el siglo XIII, pasarían a propiedad de los monarcas castellanos para abastecer al Alcázar y al palacio de la Huerta de Rey. Las cesiones a nobles e instituciones religiosas y las posteriores ventas y donaciones de agua por parte de la nobleza permitieron el acceso al agua de una parte importante de la población (Collantes *et al.*, 2011).

El antiguo acueducto de Sevilla: los Caños de Carmona

La entrada de la ciudad en la órbita del mundo romano supuso un cambio de modelo en la gestión del agua. A finales del siglo I y principios del siglo II sucedió una transformación radical en el aprovisionamiento de agua de *Hispalis*, puesto que se establece una red general de agua corriente que coexistiría con el anterior sistema de abastecimiento mediante pozos. Hubo de construirse una traída de aguas y un gran depósito o cisterna: el *castellum aquae*, localizado en la actual plaza de La Pescadería. Desde el *castellum aquae* (45 m por 20 m, en tres naves paralelas y conectadas, con una capacidad de 1173 m³) se distribuía el agua por gravedad a fuentes públicas, termas y edificios públicos y particulares. El colapso y abandono de la red municipal de agua corriente se fecha a finales del siglo V y principios del siglo VI (García-García, 2007; González-Acuña, 2011; Sánchez-López y Martínez-Jiménez, 2016).

Caro (1634) intuía que la ciudad, por su importancia, debía de disponer de un acueducto en época romana. Sin embargo, esta idea no se ajustaba al estilo arquitectónico ni a las técnicas constructivas de la arquería del tramo final del acueducto existente en el siglo XVIII, atribuibles claramente a la época islámica o mudéjar. No obstante, Caro consideraba la base y eje de los pilares de origen romano, al estar contruidos de hormigón, y que, desde entonces, se había producido una continua transformación de la infraestructura a lo largo de siglos de utilización. Hoy en día, según Fernández-Chaves (2011a), existe un acuerdo general en que la construcción del qanat o canalización subte-

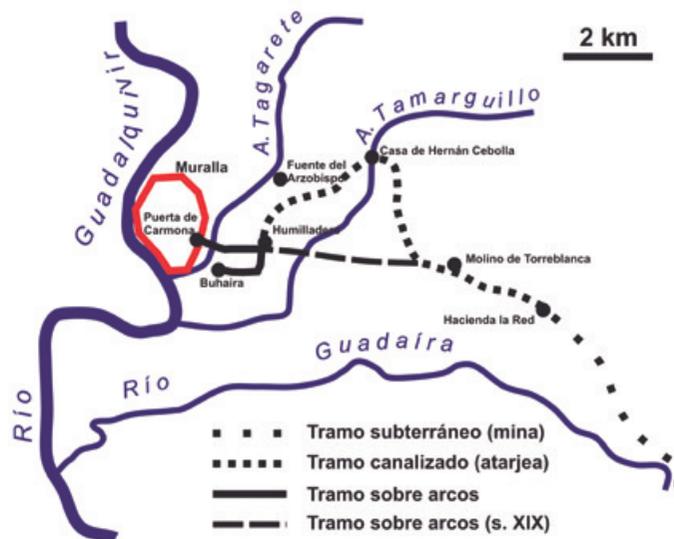


Figura 7. Esquema con el antiguo trazado de los Caños de Carmona (a partir de Jiménez-Martín, 1975).

Figure 7. Scheme with the old route of the Caños de Carmona (modified from Jiménez-Martín, 1975).

rránea que constituye la primera parte del acueducto de la ciudad data de época romana, debido a las técnicas y materiales constructivos empleados.

En el siglo XII era conocida la fuente de al-Gabar, situada al este de la ciudad, que resultó ser la surgencia de una conducción subterránea romana que tenía su origen en la actual Alcalá de Guadaíra. La restauración del viejo acueducto romano fue impulsada por el califa almohade AbuYacubYusuf, y culminada en el año 1172. El agua quedaba reservada fundamentalmente para el califa, para el suministro de sus palacios del Alcázar y el de la almunia de recreo de la Buhaira, conocida en época cristiana como Huerta del Rey, quedando un pequeño excedente para abastecer algunas fuentes públicas y edificios importantes, como las mezquitas y los baños (Valencia y Vera, 2011).

Los reyes cristianos se reservaron la propiedad y el uso de toda el agua y del acueducto, pero dejaba en manos de la ciudad el mantenimiento y reparación a cambio de la renta de nueve molinos harineros situados sobre el canal y del agua de dos fuentes situadas en el interior de la ciudad (Fernández-Chaves, 2011b).

La conducción, conocida como los Caños de Carmona, constaba de un trazado de más de 17 km, con un primer tramo de galerías subterráneas y un tramo superficial de acequia o atarjea de unos 11 km de longitud, cuyos últimos 1,5 km, desde el humilladero de la Cruz del Campo hasta la ciudad, se situaban sobre arcadas (Figura 7). Desde la Cruz del Campo partía un ramal, construido en época almohade, que conducía el agua hasta la gran alberca que existía en la Buhaira (Fernández-Chaves, 2011a).

Según la descripción de Fernández-Casado (1970 y 2008), en el tramo enterrado de la conducción se reconocían las lumbreras, muchas de ellas descubiertas, e incluso parte de la galería enterrada, al realizarse la explanación de la carretera a Alcalá de Guadaíra. Después había una zona donde el canal tenía una traza divagante para acudir al servicio de algunos molinos y, finalmente, entraba el acueducto en Sevilla por la puerta de Carmona, la que tomó el nombre. El acueducto propiamente dicho debió tener inicialmente una longitud de más de 4 km. Al principio iba sobre un muro hasta que su altura permitía el aligeramiento de la obra mediante arcos con una luz de 3,9 m. La anchura del muro era de 1,8 m. Cerca de la ciudad, existía una zona de dobles arcadas superpuestas que correspondía al paso del arroyo Tagarete.

La tipología de los ladrillos, de calidad y proporciones distintos a los comúnmente empleados en la Bética (Jiménez-Martín, 1975), y el diseño del acueducto, con arcos entrelazados propios del mudéjar, permiten suponer un origen árabe de la obra, a pesar de las numerosas intervenciones que sufrió a lo largo de los siglos.

El acueducto aparece destacado en varios grabados de los siglos XVII, XVIII y XIX, que dan la vista de Sevilla desde Triana o desde San Bernardo. Según Madoz (Fernández-Casado, 1970) constaba de 410 arcos, aunque en época romana serían más, ya que se hizo antes que la muralla.

Lamentablemente, desde finales del siglo XIX hasta los años 60 del siglo XX, el acueducto es demolido casi en su totalidad (Fernández-Casado, 2008). Primero, con la llegada del ferrocarril y el derribo de la muralla, se



Figura 8. Fotografías de dos de los tramos conservados de los Caños de Carmona. A la izquierda, en la antigua Alcantarilla de las Madejas y, a la derecha, en la calle Luis Montoto.

Figure 8. Photographs of two of the preserved stretches of the Caños de Carmona. On the left, in the old Alcantarilla de las Madejas and, on the right, on Luis Montoto Street.

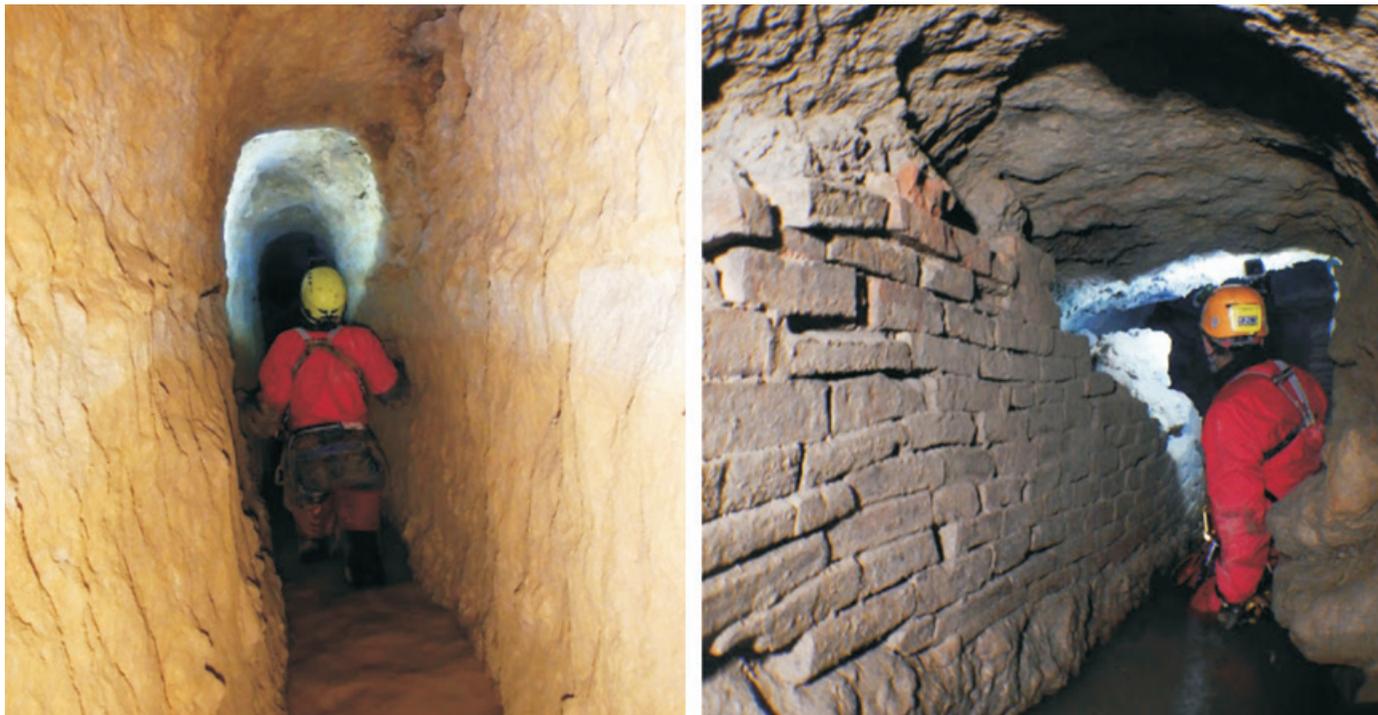


Figura 9. A la izquierda, galería superior de la mina de la Fábrica de Anís (Millán, 2015). A la derecha, tramo reforzado con muro de ladrillo en la mina del Alcázar (Millán, 2017a).

Figure 9. On the left, upper gallery of the Anís Factory "qanat" (Millán, 2015). On the right, section reinforced with a brick wall in the Alcázar "qanat" (Millán, 2017a).

destruye casi toda la conducción entre la Cruz del Campo y la ciudad y, posteriormente, con el desarrollo urbano el acueducto fue destrozado paulatinamente. En la actualidad solo se conservan tres pequeños segmentos, uno en el barrio de Los Pajaritos y los otros dos en la calle Luis Montoto, en el tramo próximo al antiguo cauce del arroyo de Tagarete (Figura 8).

La antigua atarjea y el tramo de la mina más próximo a la ciudad desaparecieron con el desarrollo urbano e industrial de la zona, aunque algunos topónimos, como los polígonos industriales de La Red, en Alcalá de Guadaíra, o el barrio hasta hace poco llamado Torreblanca de los Caños, aún evocan la presencia de esta importantísima infraestructura para la ciudad de Sevilla.

Las minas de agua de Los Alcores

En Los Alcores se encuentra una de las redes de qanats o minas de agua más importantes de la península ibérica. Recientemente, han sido explorados cerca de 20 km de galerías, pero existen evidencias, como numerosos derrumbes o acumulaciones de escombros, que permiten suponer que el desarrollo de la red de galerías debe de ser significativamente mayor.

Todas las galerías tienen por objeto captar las aguas subterráneas del acuífero de Los Alcores, constituido por calcarenitas, areniscas y limos, popularmente conocidos como "albero". Estos materiales, en disposición subhorizontal, presenta un espesor variable, comprendido entre unos 30 m, en Carmona, y unos 60 m, en Alcalá de Guadaíra. A muro de esta formación, donde se localizan preferentemente las minas, se pasa progresivamente a una alternancia de calcarenitas y margas azules.

Se trata de una roca fácil de excavar y resistente al colapso, sobre todo, si existen niveles de calcarenita duros y cementados, que eran aprovechados por los mineros para formar el techo de las galerías. Generalmente, las galerías carecen de revestimientos, salvo en los tramos de roca menos estable, donde se construyeron muros y bóvedas de ladrillo o de fragmentos de roca. En las paredes y techos de las galerías y de los pozos se observan claramente las huellas dejadas por las herramientas de hierro empleadas (Figura 9).

Las minas principales se localizan en el borde oriental de la cornisa de Los Alcores (minas de Carmona y de Alcaudete) y en la ribera del río Guadaíra (minas de Alcalá de Guadaíra), cerca de los puntos principales de descarga del acuífero y, en consecuencia, donde era más fácil alcanzar la zona saturada del acuífero (Figura 4).

La edad de las minas es difícil de determinar puesto que han sido utilizadas probablemente durante al menos 20 siglos y a lo largo de este periodo se han realizado innumerables labores de mantenimiento, modificaciones y ampliaciones. No obstante, como se explicará más adelante, existen numerosos indicios que permiten atribuir a la época romana el desarrollo de la red básica de galerías.

La técnica habitual de construcción de las minas de agua era excavar, en primer lugar, pozos verticales alineados y, a continuación, desde dos pozos contiguos se excavaban dos galerías de muy baja pendiente en sentidos opuestos hasta lograr unirlos. En el punto de unión se corregían las cotas y los rumbos. Los pozos garantizaban una buena ventilación de la mina y facilitaban el acceso y la extracción del material excavado. Esta técnica, originaria de la antigua Persia, fue introducida por los romanos en la península ibérica, aunque alcanzó su mayor difusión durante la época andalusí (Granero, 2003; Martínez-Medina, 2018).

En Los Alcores, los pozos verticales o lumbreras, como se denominan en la comarca, presentan un espaciado variable, pero generalmente comprendido entre 30 y 45 m. En las minas de Alcalá existen unos 130 pozos en estado de conservación aceptable, con sección circular o rectangular y profundidades máximas de 18 m (GEOS, 2010). En el área de Carmona, en cambio, predominan los pozos rectangulares, con unas dimensiones típicas de 1,3 por 0,6 m, y, dependiendo de la posición del nivel freático, pueden alcanzar profundidades de hasta 30 m (Millán, 2017a y 2017b). La parte superior del pozo, coincidente con suelos arcillosos, suele estar revestida con rocas procedentes de la propia excavación, aunque en la mina de la Fábrica de Anís, un pozo tiene un revestimiento de ladrillo de factura romana (Millán, 2015).

Las secciones más comunes en las galerías son rectangulares, de unos 0,6 m de ancho y 2 m de alto, aunque frecuentemente el techo presenta una morfología abovedada (Figura 9). Tampoco son raras otras secciones más irregulares, debido a la presencia de cavidades naturales o de niveles de roca menos estables.

Las galerías han sido excavadas a pico de hierro curvo y en los techos se aprecian huellas de cincel plano (Millán, 2016a). En opinión de Millán (2015), cuando los mineros iniciaban la jornada de trabajo en el frente de mina, excavaban una hornacina en la pared de la derecha para colocar la vasija de aceite con el que recargar las lucernas. Luego, excavaban un lucernario pegado al frente, a la altura de la cabeza y en el lado izquierdo. Cuando se agotaba el aceite de la lámpara, se excavaba otro lucernario pegado al frente de la mina, a unos 60-70 cm de distancia.

Desde antiguo se conocía que la mina principal que alimentaba a los Caños de Carmona tenía su origen al este de Alcalá de Guadaíra, en las proximidades de la antigua ermita de Santa Lucía. Esta galería discurría bajo la población alcalaíense, donde abastecía a varias casas a través de las lumbreras y a un molino hipogeo. Se conocían varios ramales secundarios, como el de Zacatín, y varias derivaciones hacia la ribera del Guadaíra que alimentaban a huertas, molinos, pilares, lavaderos e, incluso, a un matadero (Fernández-Chaves, 2011a).

En los últimos años las minas de Alcalá han sido objeto de diferentes estudios y exploraciones, entre los que se pueden destacar los llevados a cabo por los grupos espeleológicos GEOS (GEOS, 2010) y AAES (Millán, 2014a). La galería principal, hasta el colector del Zacatín, tiene más de 2 km de longitud y una dirección sureste-noroeste, su anchura y altura media es de 0,85 m y de 2 m, respectivamente. Hay tramos sin lumbreras y otros con lumbreras rectangulares o redondas, espaciadas unos 20 m. La profundidad de las lumbreras está comprendida entre 8 y 18 m. En algunos puntos, para reforzar paredes y techos, se encuentran ladrillos de tres tipologías, entre ellos, según Millán (2014a), el ladrillo romano ordinario de 29,6 x 22 x 6 cm.

Desde el Zacatín hasta el arco de la denominada "Boca de la Red", por el que emergía la conducción a la superficie, la mina presentaba un recorrido de al menos 4 km, pero ha sido mayormente destruida. Se estima que el sistema de minas que abastecía a los Caños de Carmona tenía una longitud total de 8-10 km.

En el casco urbano de Carmona y en áreas próximas, como la Fábrica de Anís (Millán, 2015) o la Huerta de Martín Pérez (Millán, 2013b), los trabajos de exploración espeleológica del grupo AAES han revelado un complejo sistema de galerías, solo parcialmente conocido, ya que en muchos puntos existen taponamientos con escombros arrojados a través de las lumbreras.

Las galerías de Carmona parecen dirigirse a dos importantes puntos de agua situados a extramuros de la ciudad vieja. Se trata de la Puerta de Córdoba y de la Alameda de Alfonso XIII, ubicada en el otro extremo del casco antiguo, a unos 200 m al oeste de la Puerta de Sevilla. El sistema de galerías que alimentaba a la fuente de la Puerta de Córdoba, procedente de la zona del Alcázar, debía de tener una longitud superior a los 500 m (Millán 2016b y 2017a). El agua de la Alameda era conducida por una extensa red de galerías procedentes del suroeste, de más de 2 km de longitud, entre las que destaca la mina de San Antón (Millán, 2016a, 2017b y 2018).

Al sur de Carmona, en la zona de la Fábrica de Anís, se han explorado casi 400 m de galerías, en dos niveles, que originalmente podrían haber suministrado agua a unas termas romanas (Millán, 2015).

Alcaudete es un enclave arqueológico excepcional, ubicado en el término municipal de Carmona, pero a tan solo 2 km de El Viso del Alcor. Son particularmente abundantes los restos romanos relacionados con varios enclaves agrícolas o *villae*. En total se han cartografiado casi 4 km de galerías que, en muchos tramos, destacan por sus grandes dimensiones, de hasta 5 m de altura. Ante la ausencia de un núcleo urbano, Millán (2013a y 2014b) afirma que el objeto de la mina era abastecer varios molinos hidráulicos, lo que podría explicar las grandes dimensiones de algunas galerías, ya que podrían actuar como depósitos para aumentar la fuerza motriz de los molinos.

Un denominador común de las galerías de Los Alcores es su relación con yacimientos arqueológicos, particularmente, de época romana: *Hispalis*, *Carmo*, las termas de la Fábrica de Anís o las villas de Alcaudete.

Dentro de las minas, los restos arqueológicos más comunes son ladrillos de diversa factura empleados para reforzar los tramos menos estables de galerías y pozos (GEOS, 2010). Millán (2014a y 2015) identifica como ladrillos típicamente romanos los de dimensiones 29,6x22x6 cm. En este sentido, Jiménez-Martín (1975) afirma que los ladrillos utilizados para *opus testaceum* en la zona occidental de la Bética, como los del acueducto de Itálica, son en una inmensa mayoría de proporción 3:2 entre sus lados mayores (30x21x8/5 cm).

Recientemente, en la mina de San Antón (Carmona) se ha descubierto la utilización de *opus signinum* para el sellado de diversas grietas (Millán, 2017b). Previamente, este mortero genuinamente romano también había sido identificado en otra galería próxima (Anglada, 2003, in Gómez y Anglada, 2005).

Conclusiones

El origen y desarrollo de Sevilla estuvieron estrechamente vinculados a su cercanía al puerto fluvial. En época romana, el área ocupada por la ciudad correspondía a una pequeña terraza aluvial ubicada a 12-18 m de altitud, entre la margen izquierda del río Guadalquivir y el arroyo Tagarete. Durante el periodo almohade, el crecimiento urbano hacia el norte y oeste tuvo que realizarse sobre la llanura de inundación, a cotas comprendidas entre 5 y 12 m.

A pesar de la cercanía de la ciudad a los abundantes recursos hídricos del río Guadalquivir y del acuífero aluvial sobre el que se ubica, el abastecimiento de agua presentaba dos graves inconvenientes. Por

un lado, los niveles del agua en el río y en el acuífero se sitúan a una cota próxima a los 5 m, por lo que es necesario elevar y acarrear el agua para el abastecimiento doméstico, y, por otro, la evacuación de las aguas residuales históricamente fue muy deficiente por motivos topográficos, por lo que era frecuente la contaminación de las aguas.

Hasta comienzos del siglo XX, los recursos hídricos más cercanos a la ciudad que, con las tecnologías disponibles, podían ofrecer un caudal de agua abundante, aunque casi nunca suficiente, y de calidad aceptable era el acuífero de Los Alcores. Este acuífero ocupa una extensión próxima a los 95 km² entre las localidades de Alcalá de Guadaíra y Carmona. Los recursos hídricos subterráneos se cifran cercanos a los 10 hm³/año. Los principales puntos de descarga natural se encuentran en la ribera del Guadaíra, junto a Alcalá de Guadaíra, y en varios manantiales situados en el borde oriental del acuífero, al pie de la cornisa de Los Alcores.

Con la conquista romana, las nuevas ideas sobre el espacio urbano y las nuevas técnicas de captación y conducción del agua dieron lugar a un complejo sistema de abastecimiento de agua corriente a la antigua *Hispalis* integrado, entre otros elementos, por una red de qanats o minas de agua, que captaban las aguas del acuífero junto a la ribera derecha del río Guadaíra, una conducción de varios kilómetros de longitud y un depósito o *castellum aquae*, situado en el núcleo urbano. La situación del nivel freático, próximo a la cota 40 m en el sector donde se excavaron los qanats, garantizaba el suministro de agua corriente a la ciudad. Estas instalaciones estuvieron en funcionamiento entre los siglos I y V y, tras los trabajos de restauración realizados por los almohades, entre los siglos XII y XX.

La captación de las aguas subterráneas mediante qanats también se llevó a cabo en otros lugares del acuífero para el abastecimiento a la ciudad romana de *Carmo*, a unas termas situadas en las proximidades y a varios molinos hidráulicos ubicados en el emplazamiento actual de Alcaudete.

Precisar la edad de las infraestructuras hidráulicas que aún se conservan es complicado porque a lo largo de dos milenios han sufrido continuas labores de mantenimiento, modificaciones y periodos de abandono. De la parte aérea de la conducción de agua a Sevilla solo se conservan tres pequeños segmentos del antiguo acueducto que por su estilo y técnica constructiva debe de tener un origen andalusí.

La red de qanats de Los Alcores es la que mejor se conserva, como ha revelado la reciente exploración espeleológica de cerca de 20 km de galerías, entre las que destacan las minas de Alcalá de Guadaíra, las de Carmona y sus alrededores y la mina de Alcaudete.

Las características de las galerías y de las lumbreras y las técnicas constructivas son las típicas introducidas por los romanos en la antigua *Hispania*. La abundancia de restos arqueológicos romanos en las inmediaciones de las principales minas de agua, así como el hallazgo puntual de mortero (*opus signinum*) y, más habitual, de ladrillos (*opus testaceum*) de factura romana son evidencias de que la red básica de qanats de Los Alcores tiene un origen romano. Por otra parte, las crónicas árabes señalan la existencia de los restos de una antigua conducción de agua a la ciudad de Sevilla y, finalmente, la brevedad en la que los almohades consiguieron ejecutar las obras de traída de agua a la ciudad, en apenas un año, parece indicar que se limitaron a reconstruir la parte aérea (Caños de Carmona) y que la red de qanats romana debía de haber permanecido casi intacta.

Agradecimientos

Me gustaría expresar mis más sinceros agradecimientos a los dos revisores anónimos por sus comentarios y sugerencias que, sin duda, han contribuido a la mejora de este trabajo.

Referencias

- Álvarez, L. 2011. "El agua de los ingleses". El abastecimiento y saneamiento de aguas en la Sevilla contemporánea. In: Collantes, A., et al., *El Agua y Sevilla*. EMASESA, Sevilla, 179-199.
- Amores, F. 2011. Los usos industriales del agua (siglos XI-II-XVIII). In: Collantes, A., et al., *El Agua y Sevilla*. EMASESA, Sevilla, 103-119.
- Baselga, L., Bonilla, C., Campillo, M.A., Campillo, J.A., Gallardo, M., García, A., García, F., Gavira, A., Gavira, F.J., López, F., López, M., Martínez, J.A., Navarro, J.M., Ordóñez, J., Pérez, E., Raya, C., Rendón, C., Rodríguez, I., Roldán, D., Romero, V., Santos, F.J. y Torres, F.J. 2011. *El patrimonio de Los Alcores: una propuesta de parque cultural*. Plataforma en Defensa de Los Alcores, 210 pp.
- Carmona, J.I. 2000. *Crónica urbana del malvivir (S. XIV-XVII). Insalubridad, desamparo y hambre en Sevilla*. Universidad de Sevilla, 299 pp.
- Caro, R. 1634. *Antigüedades y principado de la Ilustrísima ciudad de Sevilla y Chorographía de su convento jurídico, o Antigua Chancillería*. Ed. A. Grande, Sevilla, 221 pp. Reeditado en 1982, Ed. Alfar.
- Collantes, A., González-Acuña, D., Valencia, R., Vera, M., Fernández-Chaves, M., Amores, F., Fernández-García, R., Álvarez, L., Castillo, J.I. y Marchena, M. 2011. *El Agua y Sevilla*. EMASESA, Sevilla, 238 pp.
- Fernández-Casado, C. 1970. Acueducto de Sevilla. *Informes de la Construcción*, 23(220), 51-98.
- Fernández-Casado, C. 2008 (1972). *Acueductos romanos en España*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, 283 pp.
- Fernández-Chaves, M.F. 2011a. *Los Caños de Carmona y el abastecimiento de agua en la Sevilla moderna*. EMASESA, 236 pp.
- Fernández-Chaves, M.F. 2011b. El abastecimiento y saneamiento en la Sevilla medieval y moderna. In: Collantes, A., et al., *El Agua y Sevilla*. EMASESA, Sevilla, 65-101.
- García-García, M.A. 2007. Aqua Hispalensis. Primer avance sobre la excavación de la cisterna romana de Plaza de la Pescadería (Sevilla). *Romula*, 6, 125-142.
- GEOS. 2010. *El acueducto a Sevilla desde Alcalá de Guadaíra*. Traianus, 02/04/99, http://www.traianvs.net/pdfs/2010_08_geos.pdf.
- Gisante, C., Marqués, R., del Moral, L., Pérez, C. y Sancho, F. 1998. El sistema de abastecimiento de Sevilla: análisis de situación y alternativas al embalse de Melonares. *Boletín CF+S*, 11, Especial: El agua y la ciudad, 67 pp.
- Gómez, M.T. y Anglada, R. 2005. Intervención arqueológica preventiva en C/ Real, nº 21. Carmona (Sevilla). *Anuario Arqueológico de Andalucía. Sevilla*. 3239-3249.
- González-Acuña, La civilización del agua en la *Hispalis* romana. 2011. In: Collantes, A., et al., *El Agua y Sevilla*. EMASESA, Sevilla, 13-35.
- Granero, F. 2003. *Agua y Territorio. Arquitectura y paisaje*. Universidad de Sevilla, 200 pp.
- Hauser, P. 1882. *Estudios médico-topográficos de la ciudad de Sevilla, acompañado de un plano sanitario-demográfico y setenta cuadros estadísticos*. Ed. T. Sanz. Reedición de 2005, Ayuntamiento de Sevilla.
- IGME. 1988. *Memoria del mapa geológico 1:50000. Hoja 985 - Carmona*. Instituto Geológico y Minero de España, 28 pp.
- IGME. 2001. *Norma de explotación de la unidad hidrogeológica 05.47 (Sevilla-Carmona)*. Instituto Geológico y Minero de España. Informe inédito, 88 pp.
- IGME-DS. 2003. *Atlas hidrogeológico de la provincia de Sevilla*. Instituto Geológico y Minero de España- Diputación de Sevilla, 201 pp.
- JA-ITGE. 1998. *Atlas hidrogeológico de Andalucía*. Junta de Andalucía-Instituto Tecnológico y Geominero de España, 216 pp.
- Jiménez-Martín, A. 1975. Los Caños de Carmona. Documentos olvidados. *Historia, Instituciones, Documentos*, 2, 317-328.
- Martínez-Medina, R., Gil, E. y Gómez-Espín, J.M. 2018. Research on qanats in Spain. *Water History*, 10, 39-355
- Millán, J. 2013a. La Mina de Agua de Alcaudete. <http://minasdeagua.blogspot.com.es/2013/11/la-mina-de-agua-de-alcaudete.html>
- Millán, J. 2013b. La mina de agua de la Huerta de Martín Pérez (Carmona, Sevilla). *Gota a gota*, 3, 53-57.

- Millán, J. 2014a. La mina de agua de Alcalá y los Caños de Carmona. <http://minasdeagua.blogspot.com.es/2014/03/la-mina-de-agua-de-alcala-y-los-canos.html>
- Millán, J. 2014b. Nuevas exploraciones en la mina de agua de Alcaudete. Resultados y conclusiones. <http://minasdeagua.blogspot.com.es/2014/12/resumen-y-conclusiones-de-las.html>
- Millán, J. 2015. La mina de agua del Puerto de Brenes o de la Fábrica de Anís. <http://minasdeagua.blogspot.com.es/2015/03/la-mina-de-agua-del-puerto-de-brenes-o.html>
- Millán, J. 2016a. Mina de la Alameda de Alfonso XIII. <http://minasdeagua.blogspot.com.es/2016/07/mina-de-la-alameda-de-alfonso-xiii-1-o.html>
- Millán, J. 2016b. La mina de agua de la Puerta de Córdoba. <http://minasdeagua.blogspot.com.es/2016/05/la-mina-de-agua-de-la-puerta-de-cordoba.html>
- Millán, J. 2017a. La mina de agua del Alcázar del rey Don Pedro. <http://minasdeagua.blogspot.com.es/2017/02/la-mina-de-agua-del-alcazar-del-rey-don.html>
- Millán, J. 2017b. La mina de agua de San Antón (Carmona, Sevilla). *Gota a gota*, 14, 40-58.
- Millán, J. 2018. La mina de agua de la calle Alcores. <http://minasdeagua.blogspot.com/2018/06/la-mina-de-agua-de-la-calle-alcores.html>
- Mora, G. 2008. El abastecimiento de agua en la Sevilla califal. Algunas notas sobre el descubrimiento de un qanat bajo el Palacio Arzobispal de Sevilla. In: *Actas del II Coloquio Internacional Irrigación, Energía y Abastecimiento de Agua: La Cultura del Agua en el Arco Mediterráneo*, 275-292. Ayto. de Alcalá de Guadaíra.
- Moral, F. 2018. Concentración de iones mayoritarios en las aguas de la red fluvial de la cuenca del Guadalquivir y sus condicionantes geológicos. *Geogaceta*, 64, 71-74.
- Moral, F. y Navarro, S. 2015. Caracterización hidrogeológica del acuífero de las calcarenitas de El Alcor (Sevilla). In: *El Agua en Andalucía. El agua, clave medioambiental y socioeconómica* (Andreo, B., López-Geta, J.A., Ramos, G., Durán, J. J., Carrasco, F., Vadillo, I. y Jiménez, P.). Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España. Serie: Hidrogeología y aguas Subterráneas, 32, 119-129. Madrid.
- Moral, F., Balanyá, J.C., Expósito, I. y Rodríguez-Rodríguez, M. 2013. Análisis geomorfológico de las terrazas fluviales del Bajo Guadalquivir e implicaciones tectónicas. *Geogaceta*, 54, 143-146.
- Palomo, F. B. 1878. *Historia crítica de las riadas, o grandes avenidas del Guadalquivir en Sevilla; desde su reconquista hasta nuestros días. Vol. 1.* Ed. F. Álvarez, Sevilla, 516 pp. Reeditado en 2011, Ayuntamiento de Sevilla.
- Sánchez-López, E. y Martínez-Jiménez, J. 2016. *Los acueductos de Hispania. Construcción y abandono.* Fund. Juanelo Turriano, Madrid, 220-223.
- Valencia, R. y Vera, M. 2011. El agua en una ciudad andalusí: el caso de Ixbilia. In: Collantes, A., et al., *El Agua y Sevilla*. EMASESA, Sevilla, 37-63.

Recibido: julio 2019

Revisado: noviembre 2019

Aceptado: enero 2020

Publicado: marzo 2021