

Aportaciones de la hidro-geo-arqueología al estudio del abastecimiento urbano a la Arunda romana desde los manantiales de los Llanos de la Arena (Serranía de Ronda, provincia de Málaga)

Crisanto Martín Montañés⁽¹⁾, José Manuel Castaño Aguilar⁽²⁾, José Antonio López Sáez⁽³⁾
y Antonio Collados Lara⁽¹⁾

(1) Instituto Geológico y Minero de España (Ud. de Granada). Urb. Alcázar del Genil 4, Ed. Zulema bajo. 18006. Granada
c.martin@igme.es

(2) Museo de Ronda. Plaza de Mondragón, 29400 Ronda (Málaga)
museoderonda@gmail.com

(3) Grupo de Investigación Arqueobiología. Instituto de Historia. CSIC. c/ Albasanz 26-28. 28037. Madrid

RESUMEN

El asentamiento de Arunda, actual Ronda (provincia de Málaga), se localizó en el barrio de La Ciudad, sobre un oppidum ibérico. En los años 90 se descubrieron niveles de época romana con parte del sistema de distribución de agua potable por presión. Este hallazgo corroboró la romanidad del acueducto de la Fuente de la Arena, que conducía el agua 6 km desde los manantiales de los Llanos de la Arena, en el borde norte (al pie) de la sierra de Jarastepar.

Los afloramientos carbonatados de la sierra de Jarastepar conforman un acuífero con una superficie de 25 km², cuya recarga se produce exclusivamente por infiltración de la precipitación (8,9 hm³/año). Los manantiales de los Llanos de la Arena drenan un sector de este acuífero con unos recursos medios de 1,6 hm³/año.

La construcción del acueducto ocurrió no antes de finales del siglo I d.C. y, más probablemente en la centuria siguiente, que coincidió con una fase extremadamente árida en el sur de la península Ibérica (ca. 150 a.C.- 150 d.C). Los elementos identificados en la conducción son: el caput aquae, el specus de ladrillo con tubería de cerámica, un tramo aéreo de más de 200 m y la conocida Torre del Predicatorio (origen de un sifón hasta el otro extremo elevado de la ciudad).

El acueducto de la Fuente de la Arena es una infraestructura de relevancia que captaba recursos hídricos suficientes para garantizar el abastecimiento a Arunda, a pesar de las condiciones climáticas desfavorables. Ello indica que las actividades que se desarrollaban en la ciudad estaban muy por encima de un mero asentamiento.

Palabras clave: abastecimiento urbano, acueducto, infraestructura hidráulica, recursos hídricos.

The contributions of hydrogeoarchaeology to the study of the urban water supplies to the old Roman Arunda from the Llanos de la Arena springs (Serranía de Ronda, province of Málaga)

ABSTRACT

The settlement of Arunda, now known as Ronda (Malaga) was located in the neighbourhood of La Ciudad, upon an Iberian oppidum. In the 1990s, some Roman levels were discovered with part of the potable water distribution system using pressure. This finding corroborated the Roman origins of the Fuente de la Arena aqueduct that brought water from the Llanos de la Arena springs, 6 km away, at the foot of the Sierra de Jarastepar.

Jarastepar carbonate outcrops make up an aquifer with an area of 25 km² whose recharge is produced exclusively by infiltration of precipitation (8.9 hm³/year). The Llanos de la Arena springs drain a sector of this aquifer with average resources of 1.6 hm³/year.

The aqueduct was built not before the end of the 1st century AD and, was more probably constructed in the following century, coinciding with an extremely arid period in the south of the Iberian Peninsula (ca. 150 BC-150 AD). The elements identified are: the caput aquae, the brick specus with a ceramic pipe, an aerial section of more than 200 m and the well-known Predicatorio Tower (the beginning of a siphon to the other elevated end of the city).

The aqueduct of the Fuente de la Arena is a relevant infrastructure that captured enough water resources to guarantee the supply to Arunda, even when unfavourable weather conditions occurred. This suggests that the activities that were taking place in the city were much more than a mere settlement.

Keywords: aqueduct, hydraulic infrastructure, urban supply, water resources.

Introducción

El suministro de agua a los asentamientos urbanos ha sido y sigue siendo hoy día una de las principales tareas de los colectivos humanos que los habitan. Asimismo, la viabilidad y sostenibilidad de dichos abastecimientos, conceptos que podríamos considerar de reciente incorporación al argumentario colectivo, no han dejado de preocupar a lo largo de los tiempos a los grupos sociales y, cómo no, a sus autoridades. En este contexto, el estudio de un abastecimiento urbano puede abordarse desde puntos de vista muy diferentes. Uno de ellos puede ser el de la arqueología, con su rigurosa mirada al pasado; y otro, el de las Ciencias de la Tierra y, más concretamente, desde la hidrogeología. Es por esto que en este trabajo hemos tratado de acercarnos al fenómeno del abastecimiento a *Arunda* (actual Ronda), desde los manantiales situados en los Llanos de la Arena, mediante el acueducto conocido como de la Fuente de la Arena (Fig. 1). Con el objetivo común de progresar en el conocimiento científico, gracias a la sinergia entre ambas disciplinas, hemos aplicado metodologías propias de la arqueología y la hidrogeología. El yacimiento arqueológico de *Arunda* tiene la importancia, además, de ser el único yacimiento urbano de época romana de la Serranía de Ronda que ha mantenido una ocupación relativamente estable hasta la actualidad, aunque su origen se remonta a periodos prehistóricos (Castaño Aguilar, 2003; Ortiz Córdoba, 2013).

En arqueología, la constatación del origen de algunos elementos se puede producir de forma casual o, para ser más precisos, como un efecto colateral, consecuencia de una investigación que no tuvo como objetivo principal desvelar ese origen. Esto ocurre con algunos grandes descubrimientos "casuales", los cuales se produjeron como consecuencia de trabajos que pusieron sobre la pista a sus descubridores de manera indirecta. Este supuesto podría ajustarse bien al caso del Acueducto de la Fuente de la Arena. Si bien es cierto que fue motivo de algún trabajo (Sierra et al., 1990) de poco calado, en el que se apuntaron diferentes propuestas no sustentadas en una investigación directa, su probable origen romano no tomó verdaderamente cuerpo hasta el descubrimiento en la ciudad de Ronda de parte del sistema de distribución de agua de la *Arunda* romana (Castaño, 2003).

La falta de atención hacia este elemento, en cuanto a su origen romano, estaba justificada esencialmente por dos razones: la existencia a pocos kilómetros de la ciudad romana de *Acinipo*, y la práctica ausencia de hallazgos de esta cronología en las excavaciones desarrolladas en Ronda. La primera de ellas acaparó el control de toda la comarca, así como el interés de los

estudiosos centrados en este periodo (Ortiz Córdoba, 2013). Esta tendencia cambiaría a partir de mediados de los años 1990.

La historiografía sobre Roma está revelando cada vez con mayor nitidez el alcance de lo que supuso la integración de las comunidades autóctonas en las estructuras del Imperio, y las consecuencias de esto a niveles materiales. Roma había venido para quedarse y perpetuarse hasta el infinito, por lo que sus acciones y decisiones sobre los territorios bajo su control debían mostrar, de forma clara y evidente, esta voluntad. Cualquier antiguo asentamiento tenía que contar con unas mínimas infraestructuras para ser considerado jurídicamente como una pieza del engranaje del Imperio. Sin embargo, estas infraestructuras no resultaban todo lo visibles que se hubiera deseado de forma generalizada, y no digamos ya en ciudades menores y además superpuestas. La arqueología de las últimas décadas y la utilización, entre otras, de tecnologías avanzadas de análisis físico y territorial, están desvelando la presencia en estas ciudades de elementos que hasta hace muy poco tiempo resultaban excepcionales, y que demuestran que esa integración fue también y manifiestamente material.

Los objetivos que se persiguen con este trabajo son, en primer lugar, tratar de dar una visión multidisciplinar del acercamiento a una infraestructura de captación para abastecimiento urbano en tiempos pasados. Para ello, hemos intentado poner de manifiesto la sinergia entre varias disciplinas aparentemente alejadas en el ámbito académico como son la Arqueología, la Hidrogeología, la Ingeniería y la Paleoclimatología.

En segundo lugar, ha sido nuestra intención destacar la importancia de la obra de captación y de sus constructores, con la integración del acueducto en sus contextos histórico e hidrogeológico.

Sin embargo, parece adecuado destacar que en ningún momento hemos pretendido alcanzar el máximo conocimiento de la zona de estudio desde el punto de vista de cada una de estas disciplinas. Es por ello que gran parte de las afirmaciones expuestas en este trabajo se han tomado de estudios y publicaciones anteriores, quedando pendiente para futuras investigaciones la aseveración con datos fidedignos de algunas de las hipótesis expuestas.

El asentamiento de *Arunda*

El asentamiento correspondiente con la pequeña ciudad de *Arunda* se localizó en la mitad sur del actual barrio de La Ciudad (Fig. 1), sobre lo que fuera un *oppidum* ibérico del que ha trascendido parte de su urbanismo, así como el topónimo latinizado por el

que lo conocemos, transmitido gracias a Plinio el Viejo. El nombre de esta ciudad aparece en dos inscripciones recogidas en el *Corpus Inscriptionum Latinarum* de Hübner, obra de finales del siglo XIX, por otra parte ya mencionadas por algún historiador local: una situada en la fachada del Pósito de la Alhóndiga (CIL, 1359), y la otra en la Torre del Homenaje de la alcazaba (CIL, 1360) (Rivera Valenzuela, 1873; 32-36). Estas lápidas, a falta de otras referencias epigráficas como las monetales (pues *Arunda* no parece que acuñara moneda como sí lo hizo, por ejemplo, *Acinipo*), venían a demostrar la coincidencia de la *Arunda* romana con la ciudad de Ronda. En ambas inscripciones, que se encuentran en la actualidad desaparecidas y cuya autenticidad está hoy en entredicho (Castaño Aguilar, e.p.), se aludía a un "*ordo arundensis*" de difícil valoración, ya que *Arunda*, aunque citada por el autor de la Historia Natural como una de las ciudades de la *Baeturia* (Nat. Hist. III 3, 14), no mostraba por aquel entonces ni la profusión ni una envergadura en sus vestigios comparable a los que se podían observar en la vecina *Acinipo*.

Se daba, por tanto, una discrepancia entre la consideración tenida por las fuentes epigráficas y la realidad material de esta ciudad que hará que, en plena época de investigación científica sobre ella (a finales del siglo XX), llegue incluso a cuestionarse la existencia de *Arunda* como entidad urbana (Aguayo et al., 1988).

Desde los inicios de la investigación arqueológica en Ronda, hacia mediados de los años ochenta del pasado siglo, y aún antes (por los hallazgos casuales, frecuentes como hoy, en las obras que se realizaban en el barrio de La Ciudad), la tónica general en la documentación de la fase romana del asentamiento consistía en alguna que otra mención a materiales de la época, por lo general descontextualizados. O todo lo más, a una escueta referencia a alguna estructura aislada, como tumbas, que no hacía más que acentuar la extrañeza de no encontrar niveles correspondientes a la *ciuitas* romana que la historiografía había convenido situar en el casco antiguo de Ronda (Aguayo et al., 1988).

Esta tendencia cambió algo con el descubrimiento en 1986 de parte de una necrópolis asociada a un posible edificio de culto cristiano, datado hacia el siglo VII d.C. Sin embargo, al tratarse de unos elementos bastante tardíos, tampoco este hallazgo lograba resolver el problema de la invisibilidad de la ciudad altoimperial. La incógnita no se despejó hasta la segunda mitad de los años 1990; diez años después de las primeras excavaciones. Entre los años 1994 y 2000, en el marco de cuatro intervenciones desarrolladas en un mismo sector de la ciudad, tres en una misma man-

zana y otra en la colindante; entre la calle Armiñán, callejón de los Tramposos y la iglesia de Santa María la Mayor, se descubrieron los que hasta la fecha son los niveles romanos mejores y más completos de los hallados en la ciudad (Aguayo et al., 2004; Castaño Aguilar, 2003). De ellos, ahora sí, se puede deducir la presencia de un asentamiento con un cierto nivel de romanización, con un urbanismo de trazas clásicas, aunque fuertemente condicionado por la topografía y la trama precedente de época ibérica; espacios domésticos con revestimientos murales de estucos pintados, y elementos de alto valor tecnológico. Entre estos elementos, como hallazgo excepcional, destacaba el sistema de distribución de agua potable por presión a través de tubos de cerámica, datado en el siglo III d.C., cuya constatación vino a añadir una prueba más (si no la definitiva) sobre la romanidad del acueducto de la Fuente de la Arena y de la Torre del Predicadorio (Delgado Blasco, 2005).

Esta ciudad romana, sin la importancia de la vecina *Acinipo*, y posiblemente sin la extensión del *oppidum* ibérico sobre el que se asentó, mostraba sin embargo los signos de la determinación de Roma por convertirla en una pieza plenamente integrada en su sistema. En este caso, y por el momento, los signos de esta integración no parecen ser tan expresivos como lo serían un teatro o unas termas, pero la presencia de una construcción como un acueducto y los demás elementos a él asociados presentes, tanto fuera como dentro de la ciudad, son suficientemente representativos de esa voluntad, y de la importancia que cobraba en ella la gestión del agua. Cabría recordar al respecto que, por ejemplo, *Acinipo*, con teatro y con termas, no contó con un sistema de traída de agua de estas características (tampoco se podía hacer), lo que a la postre debió suponer un importante escollo que esta ciudad tuvo que afrontar casi a diario, dada la escasez de agua existente en el asentamiento y en sus alrededores susceptible de poder ser aprovechada mediante el empleo de la tecnología disponible por entonces (García García et al., 2009).

La información que poseemos sobre el Acueducto de la Fuente de la Arena en la documentación escrita es prácticamente nula. No es una excepción, pues de época romana son muy pocas las menciones a estas construcciones, consideradas importantes para una ciudad, pero no más de lo que podría serlo el sistema de saneamiento o la presencia de una terma. Y si no suelen referirse en el caso de ciudades grandes, no digamos ya en el de asentamientos tan pequeños como *Arunda*. Las primeras menciones a estas instalaciones dignas de ser consideradas pertenecen al periodo andalusí, realizadas por autores árabes quienes, en sus descripciones geográficas y en sus historias, son in-

terpelados por esas construcciones en algunos casos majestuosas. Algunas de ellas son ciertamente reveladoras y muy valiosas por sus observaciones, como ocurre en el caso de la columnaria del acueducto de Almuñécar, tomada de al-ĥimyarī. Pero en otras ocasiones introducen elementos de discordancia con lo llegado hasta nuestros días, aunque en algún caso el error no está en el autor, sino en la traducción de su texto. Esto es lo que ocurre por ejemplo con una cita de ibn al-Jatīb referida a la traída de agua a Ronda en época nazarí mediante acueductos recogida en su *Miʿyār al-ijtiyār*, según la traducción de parte de este texto realizada por A. Orellana (Ibn al-Jatib, 1984). Un error indicado por la profesora María Antonia Martínez Núñez, quien señala que, lejos de referirse a un posible acueducto, a lo que el texto original se refiere es, con toda probabilidad, a la Mina de la Casa del Rey Moro; una coracha encerrada entre muros (Martínez Núñez, e.p.) que toma el agua del río Guadalquivir en las proximidades del manantial de La Mina.

Quitando esta insólita cita, no encontramos ya ninguna mención explícita a este sistema hasta época

moderna, con alusiones puntuales e indirectas a algunos de sus elementos, como a la Torre del Predicador, cuyo análisis más detenido dejaremos para otra ocasión. Una escueta revisión de esta documentación, en algún punto errónea, puede encontrarse en Sierra (2011).

Zona de estudio

El acueducto romano de Fuente de la Arena se localiza al sur de la ciudad de Ronda (provincia de Málaga), en el sur de España. Este acueducto, cuyo recorrido fue de unos 6 km, conducía el agua captada del conjunto de manantiales existentes en los denominados Llanos de la Arena, cabecera del arroyo de las Culebras, hasta la *Arunda* romana, actual Ronda (Fig. 1).

En el entorno de Ronda, en un radio de entre 5 y 8 km, existen una serie de manantiales a cotas más elevadas que la ciudad (fuentes de Espejo, La Hídalg, La Ventilla, de la Arena, Linarejos, entre otras. Ver figura 2) lo que las hace susceptibles de captación y conducción por gravedad hasta la misma. De hecho,

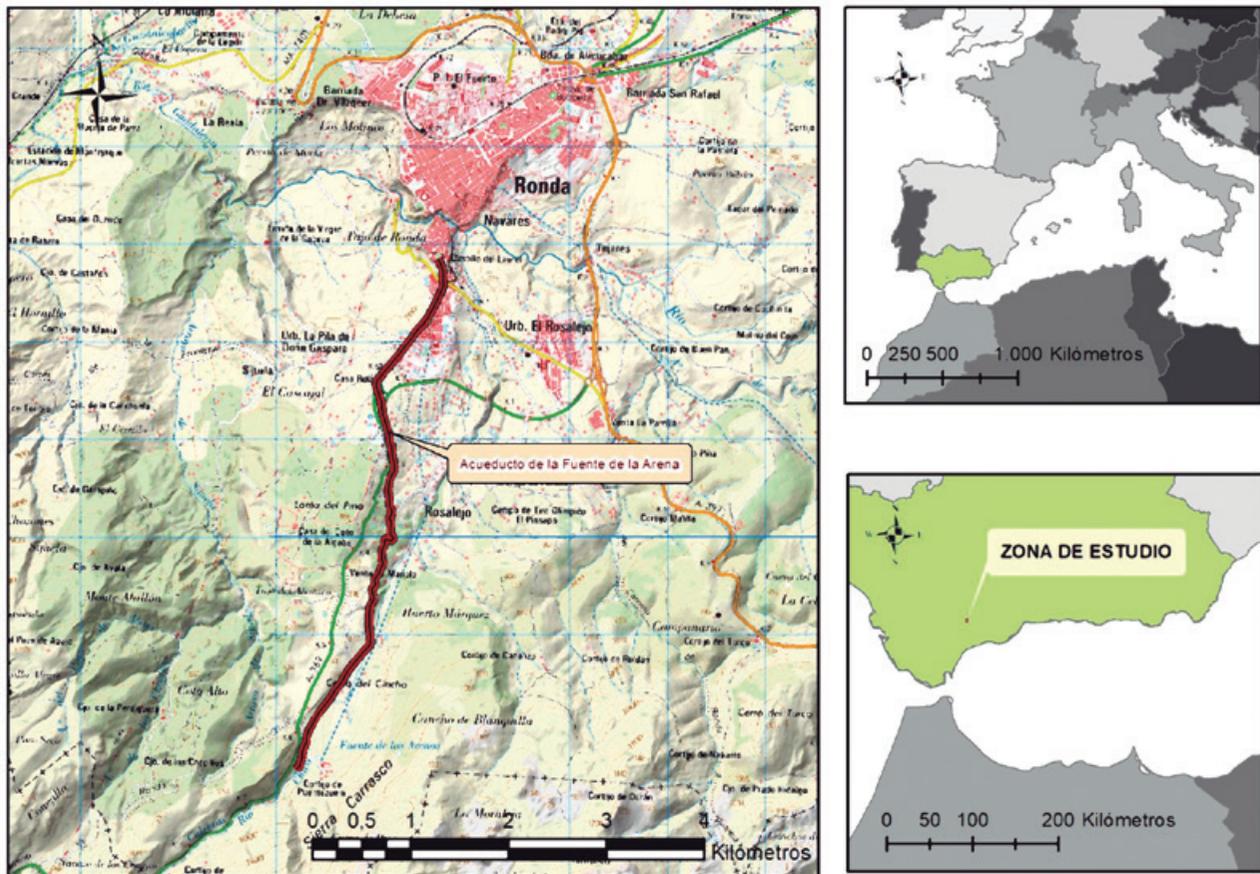


Figura 1. Localización geográfica de la zona de estudio en el contexto regional y de detalle.
Figure 1. Geographical location of the study area in the regional context and in detail.



Figura 2. Manantiales del entorno de Ronda referidos en el texto (imagen tomada de Google Earth).

Figure 2. Springs in the surrounding area of Ronda referred into the text (image from Google Earth).

un volumen significativo del agua de abastecimiento actual al núcleo urbano procede de alguno de estos manantiales.

Contexto geológico

El conjunto de manantiales que constituyen la cabecera del arroyo de las Culebras se localiza en las estribaciones de la sierra de Jarastepar, al norte de la misma (Fig. 1). En dicha sierra y su entorno afloran, además de la serie terciaria de la depresión de Ronda y el complejo de los Flysch, materiales pertenecientes a dos de las principales unidades tectónicas de rango mayor de la Cordillera Bética: Las zonas Externa e Interna. Incluidos en el Subbético Interno Occidental, también llamado Penibético (Zona Externa), se encuentran los materiales que componen la serie visible en sierra de Jarastepar (Martín Algarra, 1987); la Zona Interna, por su parte, está representada por las unidades de la Almola y Nieves, ambas atribuidas al Complejo de la Dorsal.

La serie estratigráfica del dominio Penibético en el sector de Jarastepar está formada, de muro a techo, por materiales del Triásico Superior, fundamentalmente arcillas y margas con yesos y carnioles, sobre las que se dispone una potente secuencia jurásica de dolomías, calizas grises y blancas y calizas oolíticas, nodulosas y masivas, cuyo espesor conjunto debe ser superior a 500 metros (Martín Algarra, 1987). El Cretácico-Paleógeno está representado por una formación de margas y margocalizas. Dispuestos de manera discordante aparecen depósitos detríticos cuaternarios correspondientes a aluviales, coluviales, glaciares, abanicos, etc. (Del Olmo Sanz et al., 1990).

La sierra de Jarastepar junto con la Loma del Conejillo, Monte de las Viñas y Alto del Conio, situadas

al oeste, presentan una estructura que define un anticlinorio de dirección NE-SO, con buzamiento de entre 25 y 35° en su flanco SE, cuyo núcleo está constituido por los materiales arcillosos triásicos que afloran en el arroyo de las Culebras. El flanco oriental de este anticlinorio se encuentra, a su vez, afectado por un cabalgamiento a favor del cual llegan a aflorar, puntualmente, los materiales triásicos suprayacentes. En el flanco occidental, los afloramientos de rocas carbonatadas jurásicas están delimitados por fallas de direcciones predominantes NE-SO, NO-SE y E-O, que elevan las calizas respecto a las margocalizas cretácicas. En su límite meridional, la Zona Externa está cabalgada por las rocas de la unidad de Nieves. En el contacto entre ambas se pueden observar arenas y arcillas del Flysch del Campo de Gibraltar, que afloran de manera discontinua (Roldán et al., 2019).

Al norte de la sierra de Jarastepar afloran los materiales detríticos del Mioceno superior de la cuenca postorogénica de Ronda, en general poco deformados, que se disponen discordantes sobre todas las formaciones geológicas anteriores. Sobre este conjunto fue construido el acueducto objeto de este trabajo. Se trata, en general, de conglomerados y calcarenitas que pasan, lateralmente hacia el centro de la cuenca, a margas azules grisáceas con algunas intercalaciones arenosas o calcareníticas. El espesor total de los materiales miocenos puede ser del orden de 1.000 m (Jiménez Gavilán, 2007b).

Metodología

Los trabajos de carácter meramente hidrogeológico han consistido en reconocimientos de campo en los que se han identificado los puntos de agua previamente inventariados por el Instituto Geológico y Minero de España (en adelante IGME) en la década de los 80 del siglo XX. Igualmente se han localizado algunos puntos nuevos. Las coordenadas en el sistema UTM -ETRS89- se han obtenido mediante dispositivo GPS marca Garmin modelo Montana 610. El tratamiento de la información de carácter cartográfico se ha llevado a cabo mediante el programa ArcGis 10.6.1. y se ha usado como apoyo la aplicación Google Earth.

Resultados

Es de destacar que el reconocimiento hidrogeológico de campo orientó la investigación hacia la zona de borde de la sierra de Jarastepar. En esa zona era previsible que se encontrara el manantial o manantiales captados en su día para abastecer al acueducto estudiado. De hecho, este planteamiento hizo posible el descubrimiento de nuevos restos de esa infraestructu-

Toponimia	Nº IGME	UTM (ETRS89)		Z	Toponimia en la ficha IGME
		X	Y	(m s.n.m.)	
Cortijo de Los Chopos	1544-5-0006	305465	4062832	838	Cjo. Chopo, Perdiguero, Hierba Buena
Siete Fuentes	1544-5-0010	305370	4061523	1.155	Loma de los Machos
Los Chopillos	1544-5-0019	304398	4061965	951	L. de los Machos. Majada de los Porteros
Fuente de la Arena	1544-5-0020	304925	4062296	892	Nacimiento de Lorca
Trop Plein Arena 1	s/n	304818	4062226	907	-
Trop Plein Arena 2	s/n	305218	4062509	863	-
Fuente del Acueducto	s/n	305884	4063811	806	-
Pilar de Los Chopos	s/n	305269	4062758	839	-
Fuente de La Puentezuela	s/n	305720	4062495	917	-

Tabla 1. Puntos de agua identificados en la cabecera del Arroyo de las Culebras

Table 1. Water points identified in the Culebras Creek head basin.

ra hidráulica en la zona de captación (que se describirán en el epígrafe correspondiente), lo que ha permitido aumentar la extensión del acueducto en algo más de un kilómetro hacia el sur e identificar su verdadera zona de captación.

Los manantiales identificados en los Llanos de la Arena y cabecera del Arroyo de las Culebras son nueve: cuatro de los cuales se recogen en el inventario del IGME y cinco se han localizado en los trabajos de campo llevados a cabo para la redacción de este artículo. Todos ellos se presentan la tabla 1 junto con sus coordenadas UTM y cotas.

Los afloramientos carbonatados de la sierra de Jarastepar conforman un acuífero incluido en la Masa de Agua Subterránea (en adelante MASb) "Sierra de Jarastepar", que incluye además los acuíferos de Loma del Conejillo, Monte de las Viñas y Alto del Conio. En conjunto ocupan una superficie de 33 km²; de ellos, el de mayor interés hidrogeológico es, sin duda, el de la sierra de Jarastepar en sentido estricto (25 km²), cuyos límites norte y oeste están formados por materiales triásicos, mientras que los límites meridional y oriental quedan definidos por el contacto con los materiales margosos cretácicos (Jiménez-Gavilán, 2007a). Se trata de materiales permeables por fisuración y/o karstificación. Las calizas presentan, además, un gran desarrollo de formas exokársticas de absorción preferencial, entre las que destacan campos de lapiaz, dolinas y uvalas (De la Torre et al., 2017).

Las entradas asignadas a la MASb en el Plan Hidrológico actualmente vigente (CMAYOT, 2016b) son 18,7 hm³/año y suponen a una recarga media de 422,1 mm/año, procedente de una precipitación media de 1.033 mm/año. Con estos valores, a la sierra de Jarastepar le corresponde una infiltración de 10,5 hm³/año.

La descarga visible de agua subterránea que se conoce en el borde de los afloramientos de las rocas

carbonatadas de la MASb Sierra de Jarastepar se localiza en el extremo suroccidental, en la zona norte y al suroeste. En el extremo suroccidental (vertiente al río Guadiaro), existen manantiales de escasa importancia, como Fuente Grande (410 m s.n.m), con un caudal medio histórico de 10 l/s (0,31 hm³/año) (Jiménez-Gavilán, 2007a) que corresponde al drenaje del Alto del Conio; En la zona norte, en los Llanos de la Arena, donde los manantiales enumerados en la tabla 1 suman en conjunto unos caudales que podrían aproximarse a 51 l/s (1,60 hm³/año), según se estima en los trabajos de campo llevados a cabo para la elaboración de este artículo y la información de carácter histórico recogida en el archivo municipal de Ronda (Inventario, 1960). Al suroeste, la descarga visible se produce por los manantiales de Alfaguara (658 m s.n.m.) y Pozancón (664 m s.n.m.), aunque solo en condiciones de precipitaciones abundantes. La localización de estas surgencias se presenta en la figura 4.

El resto de las descargas naturales de la MASb corresponden, según se recoge en el Atlas Hidrogeológico de la provincia de Málaga (Jiménez-Gavilán, 2007a), a los caudales drenados por los manantiales de La Zúa (o de Júzcar) con un caudal medio histórico de 195 l/s, situado a la cota 580 m s.n.m., los Huertos de Alpendeire (20 l/s, 550 m s. n.m.) y el Charco de Faraján (16 l/s, 590 m s.n.m.). Estos manantiales (Fig. 4), que suman un caudal medio de 7,28 hm³/año, se localizan en el contacto entre un afloramiento de carbonatos con una superficie aproximada de 3 km², asignado geológicamente la Unidad de las Nieves y no incluido en la MASb Sierra de Jarastepar, y los materiales de baja permeabilidad de los complejos Alpujarride y Maláguide. Es evidente que la descarga por ellos supera ampliamente la recarga sobre las rocas permeables de la superficie del pequeño afloramiento, por lo que deben estar relacionados con

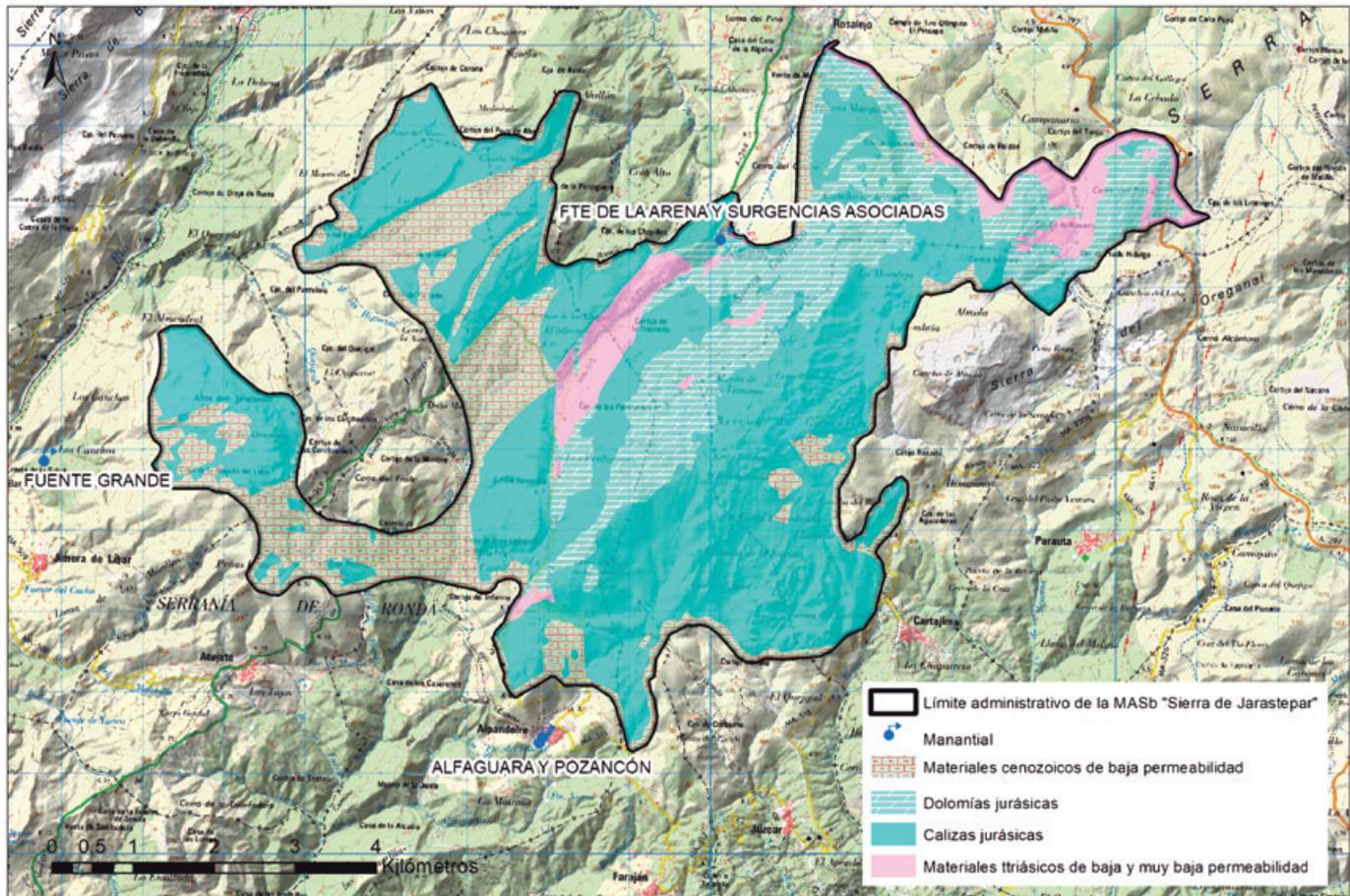


Figura 3. Principales puntos de descarga visible de la MASb “Sierra de Jarastepar”
Figure 3. Main visible discharge points of the MASb “Sierra de Jarastepar”.

la descarga de la sierra de Jarastepar y no con las rocas de la Unidad de Nieves la que, por otra parte, presenta un balance hidrogeológico equilibrado sin considerar estas surgencias (Liñán, 2003).

Funcionamiento hidrogeológico y sectorización

La recarga del acuífero de la sierra de Jarastepar se produce exclusivamente por infiltración directa de la precipitación. El drenaje permanente tiene lugar por los manantiales localizados en el borde sur de los afloramientos calcáreos pertenecientes a la Unidad de Nieves (Huertos de Alpandeire, Charco de Faraján y La Zúa) y, en menor medida, por los anteriormente referidos situados al noroeste (Fuente de la Arena, Cortijo de los Chopos, Siete Fuentes y Los Chopillos). Además, existen otros puntos de descarga no permanentes que sólo surgen en periodos de lluvias abundantes entre los que podemos diferenciar los de Alfaguara y Pozancón, localizados en el extremo meridional, y los *trop plein* referidos en la tabla 1 como Arena 1 y 2.

En cuanto a la dirección del flujo subterráneo, un ensayo con trazadores artificiales efectuado en condiciones de aguas altas en la Sierra de Jarastepar por investigadores del Centro de Hidrogeología de la Universidad de Málaga (De la Torre et al., 2017) puso de manifiesto la existencia de flujos preferenciales, de dirección NE-SO, desde las áreas de recarga situadas en el centro del macizo hasta los manantiales de Alfaguara y Pozancón, localizados en el borde SO del mismo.

Por otra parte, la existencia de manantiales en el borde noroeste s.l., en los Llanos de la Arena, induce a pensar en la existencia de un sector separado, al menos en parte, del acuífero que podríamos denominar “principal” de la sierra de Jarastepar. Este sector, al que se propone nombrar como de los Llanos de la Arena, estaría conformado por las dolomías y calizas jurásicas situadas al noroeste del cabalgamiento descrito anteriormente y sus límites serían, por el sureste, los materiales triásicos a favor de los cuales se produce el cabalgamiento y, por el noroeste, esos mismos materiales identificados en el núcleo del an-

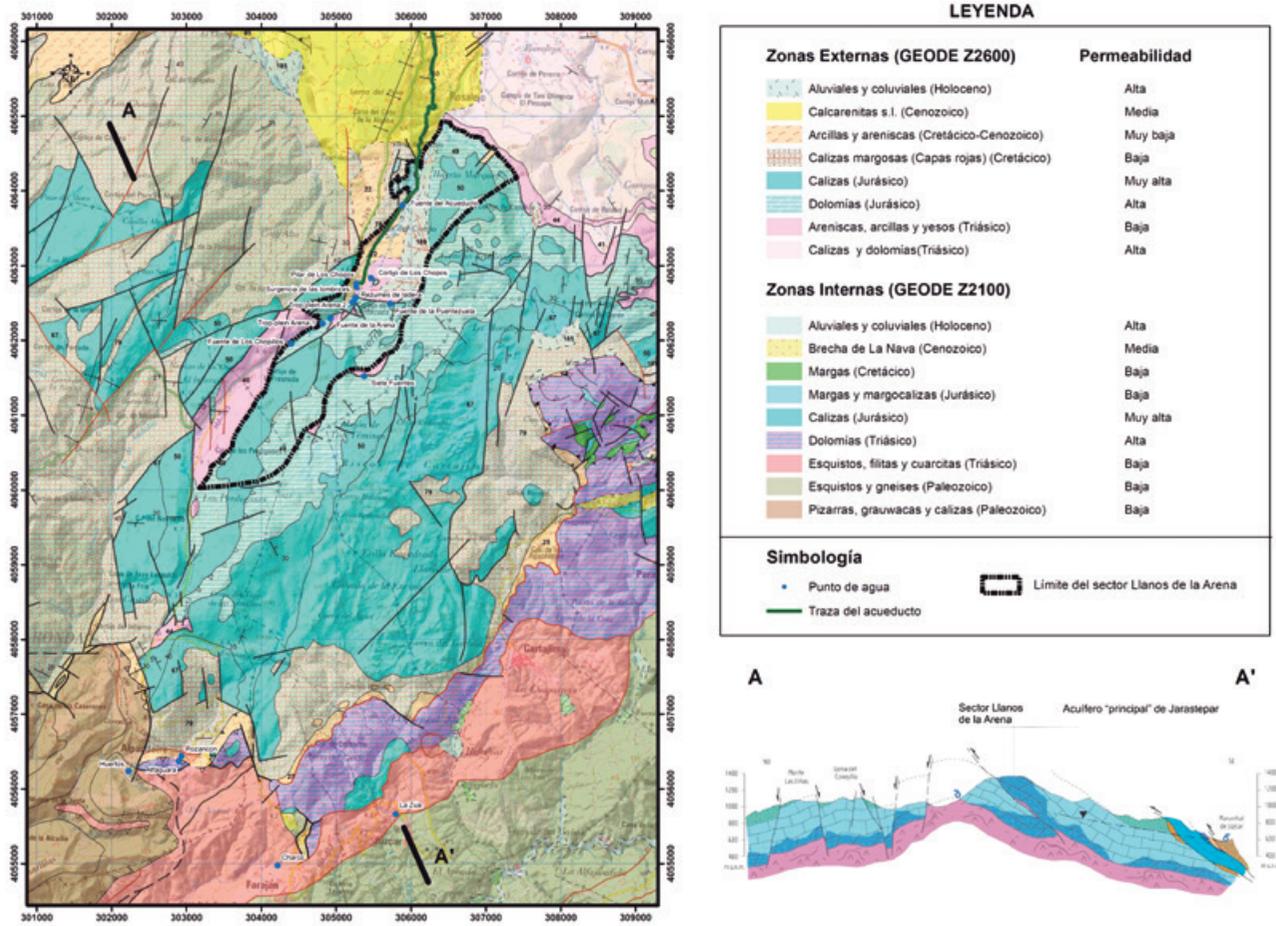


Figura 4. Mapa hidrogeológico del acuífero de Jarastepar obtenido a partir de la cartografía GEODE del IGME y corte hidrogeológico (modificado de Jiménez-Gavilán (2007a).

Figure 4. Hydrogeological map of the Jarastepar aquifer obtained from the GEODE cartography of the SGE and hydro-geological cross section (modified from Jiménez-Gavilán (2007a).

ticlinorio (Fig. 4). Lamentablemente no se dispone a fecha de redacción de este artículo de más información de carácter hidrogeológico que pueda apoyar esta afirmación, por lo que entendemos que esta sectorización debe considerarse como una hipótesis de trabajo.

Balance hidrogeológico de la MASb

El balance hidrogeológico de la MASb con la inclusión del nuevo sector descrito y tomando como base los valores incluidos en el Plan Hidrológico actualmente vigente (CMAYOT, 2016b) se presenta en la tabla 2. En dicho plan se realizan los cálculos mediante el modelo SIMPA del CEDEX. Se han utilizado los valores medios mensuales y anuales de las series de precipitación, temperatura, evapotranspiración y escorrentía de la demarcación, tanto para la serie completa o histórica

1940/41-2011/12 como para el periodo comprendido entre los años hidrológicos 1980/81-2011/12.

Características constructivas del acueducto

En las figuras 5 y 6 se presenta la localización de los principales elementos identificados junto con los manantiales de los Llanos de la Arena. El acueducto arundense contaba con los siguientes elementos aún hoy conservados:

Caput aquae

La captación de la que se nutría el acueducto se localiza en la cabecera del arroyo de las Culebras, en el cortijo de la Puentezuela, a los pies de la sierra de Jarastepar, a una cota que varía entre los 850 y los 840

ENTRADAS	hm ³ /año
Infiltración de la precipitación (422 l/m ²)	18,7
TOTAL ENTRADAS	18,7
SALIDAS	hm ³ /año
Manantiales del acuífero principal de Jarastepar	8,9
Manantiales del sector Llanos de la Arena	1,6
Manantiales de los afloramientos carbonatados situados en el oeste de la MASb	8,2
TOTAL SALIDAS	18,7

Tabla 2. Matización propuesta para el balance hidrogeológico de la MASb Sierra de Jarastepar.

Table 2. Detailed estimate of the hydrogeological balance of the MASb Sierra de Jarastepar.



Foto 1. Arqueta 1 (Caput aquae).

Photo 1. Manhole 1 (Caput aquae).



Foto 2. Tubuli en la zona de cabecera.

Photo 2. Tubuli in the header area.



Foto 3. Specus tallado en la roca (zona de cabecera).

Photo 3. Specus carved in the rock (header area).



Foto 4. Specus con tubuli en zona de cabecera.

Photo 4. Specus with tubuli in header area.

m.s.n.m. (Arqueta 1 en figura 5). Los restos de captación evidenciados por distintos tramos de tuberías cerámicas y por una arqueta de recogida (fotos 1 a 4) se encuentran a diferentes altitudes, probablemente como consecuencia de las variaciones experimenta-

das por el nivel piezométrico en distintos momentos de uso de la acometida. Toda la instalación se desarrolla por la margen izquierda del arroyo.

En este punto se localizan al menos dos conducciones de tubos de cerámica machihembrados, con

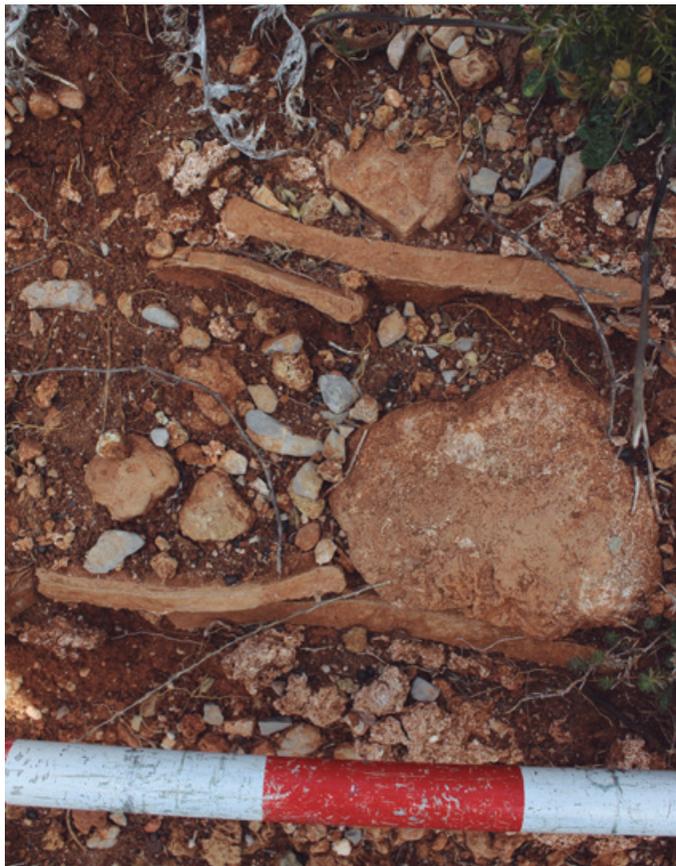


Foto 5. Detalle del encaje de los tubuli.

Photo 5. Detail of the tubuli join.



Foto 6. Specus próximo a la Arqueta 3.

Photo 6. Specus next to manhole 3.

secciones de 18 cm de diámetro, y longitudes de tubo entre los 35 y los 45 cm, en función de la conducción. Estas conducciones parecen converger en una arqueta de mampostería que haría las veces de verdadero *caput aquae*, a partir del cual discurrió la tercera conducción (y muy probablemente la principal), cuyo desarrollo es más evidente y presenta mayor continuidad. De hecho, es esta conducción la que permite apreciar su estructura completa, compuesta por una caja o *specus* de ladrillo que acoge una tubería también de cerámica de 18 cm de sección y 35 cm de longitud, todo ello cubierto por lajas de piedra. Tanto esta como las anteriores serían *substructiones* del sistema, o lo que es lo mismo: se trataría de los tramos subterráneos de la conducción que, como en la mayoría de los casos y también en este, supondrían el mayor porcentaje del total de la construcción.

Aguas más abajo, tras perder toda referencia a la conducción a partir de los restos de otra posible arqueta (Arqueta 2 en figura 5) hoy situada sobre el mismo lecho del arroyo, a 830 m.s.n.m., encontramos una tercera arqueta (Arqueta 3 en figura 5), también de planta cuadrangular y fábrica de mampostería. Has-

ta la realización del trabajo de campo necesario para abordar este artículo, constituía el inicio conocido del sistema (situada a una altitud de 805 m). A partir de ella la conducción, que por cota continúa siendo subterránea, adquiere mayor consistencia al encontrarse parte de su recorrido excavado en la roca base (foto 6) y cuando no, realizada en mampostería de piedra, presentando su *specus* unas dimensiones de 25-30 cm de ancho y fondo, respectivamente. Se ha perdido aquí toda referencia a su cubierta (si es que en este tramo la hubiera tenido) y, a diferencia de los anteriores, no parece haber contado con *tubuli* como medio de conducción, sino el mismo *specus* rematado por un ímbrice vuelto en la base de éste. No obstante, y dada la reactivación que tuvo este acueducto en época moderna, no puede descartarse que tal solución no perteneciera a este momento.

Arcuaciones

El acueducto de la Fuente de la Arena es reconocido por el impresionante tramo aéreo que ha llegado hasta nosotros (foto 7), levantado allí donde las difi-



Foto 7. Arcuaciones.
Photo 7. Arcuaciones.



Fotos 8 y 9. Detalle de los tubuli empotrados en el acueducto.
Photos 8 and 9. Detail of the tubuli embedded in the aqueduct.

cultades topográficas son considerables, y que, entre muros de mampostería y *arcuaciones* (arcadas), se desarrolla por espacio de más de 200 m lineales, si bien interrumpidos por un camino. Solo las *arcuaciones*, situadas en un tramo superior a los 100 m al norte del camino, suponen 53,04 m de longitud, presentando una altura en su punto de mayor desarrollo superior a los 7 metros. Este tramo aéreo está compuesto por un zócalo o podio de mampostería de piedra sobre el que descansa una arcada, formada por once arcos de medio punto peraltado (flecha: 0,87 m, luz: 1,90-2,00 m) y otros dos rebajados (flecha: 1,20 m, luz: 2,40 m) (uno de estos ha colapsado recientemente lo que agudiza la situación de ruina en la que se encuentra este importante elemento del Patrimonio Histórico). El ancho del muro es de 0,80 m y su altura varía del primer tramo (6,39 m) al segundo (1,94 m). Apoyaría en su parte alta, hoy día arrasada, el canal del agua (*specus*), aunque la particularidad de este acueducto es que cuenta con otra conducción de *tubuli* que discurre embutida por el muro a altura del podio, y que se encuentra protegida por una cubierta escalonada de ladrillo (fotos 8 y 9). Toda la construcción está rea-

lizada con mampostería careada y concertada de naturaleza caliza, organizada en hiladas y habitualmente enripiada (*opus vittatum*), que forra un fuerte relleno interior de calicanto (*opus caementicium*).

El desnivel que describe este segmento de acueducto, superior a los 4 m en los 100 m conservados, ilustra bien la necesidad de contar con elementos que contrarrestaran la presión del agua.

Ya no existen referencias ni restos de otros elementos constructivos similares a lo largo de lo que queda de recorrido. A partir de estas arcadas, la conducción parece adquirir de nuevo las características de las *substructiones*, siguiendo la sinuosidad de las curvas de nivel. Solo volvemos a saber de su existencia en tres puntos concretos: el primero situado junto al paraje conocido como “el Pino” (foto 10), descubierto como consecuencia de unas obras en un carril que pusieron al descubierto una canalización de atadores cerámicos inscritos en una caja realizada con mampostería y cubierta por lajas de piedra (a 785 m s.n.m.); el segundo, el conocido “desarenador” (a 751 m s.n.m.) (foto 11) integrado hoy como parte de un muro de piedra de linde en la margen izquierda de



Foto 10. Restos en "el Pino".
Photo 10. Remains in "el Pino".



Foto 11. Desarenador junto a antigua carretera de Gaucín.
Photo 11. Sand trap next to the old Gaucín road.

la antigua carretera de Gaucín (ver figura 6); y el tercero localizado a los pies de la Torre del Predicadorio (fotos 12 y 13), precediendo a ésta, y descubierto de forma científica a través de una excavación arqueológica desarrollada en el año 2002. En ella se sacaron a la luz 48 metros de conducción subterránea compuesta como viene siendo habitual por una tubería de cerámica machihembrada que era abrazada por una estructura de mampostería de piedra tomada con cal y cubierta con lajas también de piedra (Delgado Blasco, 2005).

Sifón

El siguiente componente de este sistema de traída de agua hacia la antigua *Arunda* ha resultado determinante para reconocer el origen romano de la obra. Pero su importancia no radica únicamente en su nivel de conservación, sino en lo que supone desde el punto de vista de la ingeniería aplicada al acueducto, ya que su presencia está vinculada inexcusablemente a la existencia de un sifón.

Esta construcción se puede identificar en un principio como una torre de agua o columnaria, propia y característica de aquellos acueductos que deben salvar grandes desniveles entre dos puntos de una depresión. La existencia de un exceso de carga hidrostática entre la cabecera y el depósito de reparto de la ciudad, que podría ocasionar graves erosiones y roturas por la excesiva velocidad del agua, obligaba a veces a levantar construcciones de este tipo. Así, las columnarias recibirían las canalizaciones del acueducto y servirían para eliminar el aire arrastrado y restar presión al agua antes de precipitar su recorrido por la hondonada del barrio de San Francisco para subir hasta la meseta de La Ciudad. La torre se vería complementada por una arqueta o depósito de cabecera a su pie (que actuaría como desarenador y decantador, llamado piscina *limaria*), hoy día desaparecida. Desde ella, y de forma constante, se suministraría agua al sistema libre de aire, para ser conducida por la vaguada a través de un puente de presión (venter). El recorrido acabaría en el otro extremo elevado de la ciudad en un depósito de distribución (*castellum aquae* o *castellum diviso-*



Foto 12. Torre del Predicadorio.
Photo 12. The Preacher Tower.



Foto 13. Ronda (al fondo) desde la Torre del Predicadorio.
Photo 13. Ronda (in the background) from the Preacher Tower.

rium, posiblemente el primero) que daría servicio a la población y a sus actividades asociadas. Este tipo de conducción se denomina de sifones, y es descrito ya por Marco Vitruvio Polión (VIII, 6) como adecuado para salvar grandes depresiones.

La torre conocida como del Predicadorio (ver figura 6), situada hoy a 730 m s.n.m. por su altura conservada, es una construcción aislada con forma de pirámide truncada y planta ligeramente trapezoidal, de medidas en su base (respectivamente, los lados N, E, S, O): 4,75 m, 4,60 m, 4,60 m y 4,54 m. La construcción, seguramente desmochada, posee una altura total sobre la meseta inmediata donde se yergue de 3,00 m aproximadamente, mientras que la cota correspondiente a la cara este, donde existe un importante salto del terreno, es de 6,12 m. El ángulo del talud de las caras es de 9° aproximadamente. La técnica constructiva empleada íntegramente en su construcción es la mampostería concertada y bien careada, organizada mediante piezas calizas preferentemente rectangulares (*opus vittatum*), utilizada en sus caras, mientras que su interior se maciza con calicanto de *opus caementicium*. En las caras norte y sur, en el centro de las mismas y en sentido vertical existe un cajeadado de sección rectangular (0,60 x 0,55 m) que vendría a converger en la desaparecida coronación de la construcción, y por el que habría de pasar la conducción de *tubuli* que hemos detectado en todo el recorrido.

Esta sería, *grosso modo*, una descripción actual del elemento, en la que hemos empleado algunos conceptos de la obra romana que hemos incorporado a nuestro conocimiento científico. Pero quizá sea más interesante la que nos ofrece un autor del siglo

XIII, referida a una torre de similares características perteneciente al acueducto del Almuñécar (referencia que parece tomar a su vez de otro autor anterior, del siglo XII, al-Idrīsī). Y nos parece interesante porque, aun despojada de lo anterior, constituye una muestra excepcional del carácter y origen de esta obra, ya que su descripción forma parte de las observaciones que realiza este autor sobre la conducción sexitana:

“En medio de Almuñécar hay una construcción cuadrangular, semejante a un antiguo monumento, ancha en su base, se va estrechando hacia arriba. En dos de sus lados tiene canales excavados en la piedra; a un lado, a ras del suelo, hay un gran depósito: el agua que lo abastece llega desde una distancia de una milla por un acueducto construido con numerosos arcos hechos de piedra dura, que dan a este estanque. Las gentes competentes de Almuñécar dicen que el agua traída por el acueducto empezaba por elevarse hasta la cima de la torre, después bajaba por el otro lado” (al-Ḥimyarī, 1963: 374)

Castellum aquae

Por último, en la ciudad, encontraríamos el punto de llegada, representado por un gran depósito desde el que se distribuía el agua por el asentamiento. Su localización exacta a través de una investigación directa nos es desconocida por el momento. Sin embargo, contamos con algunos indicios que permiten inferir su posible situación.

Casi con toda probabilidad, la dirección que tomaría la conducción desde la Torre del Predicadorio por la vaguada del barrio de San Francisco no sería direc-

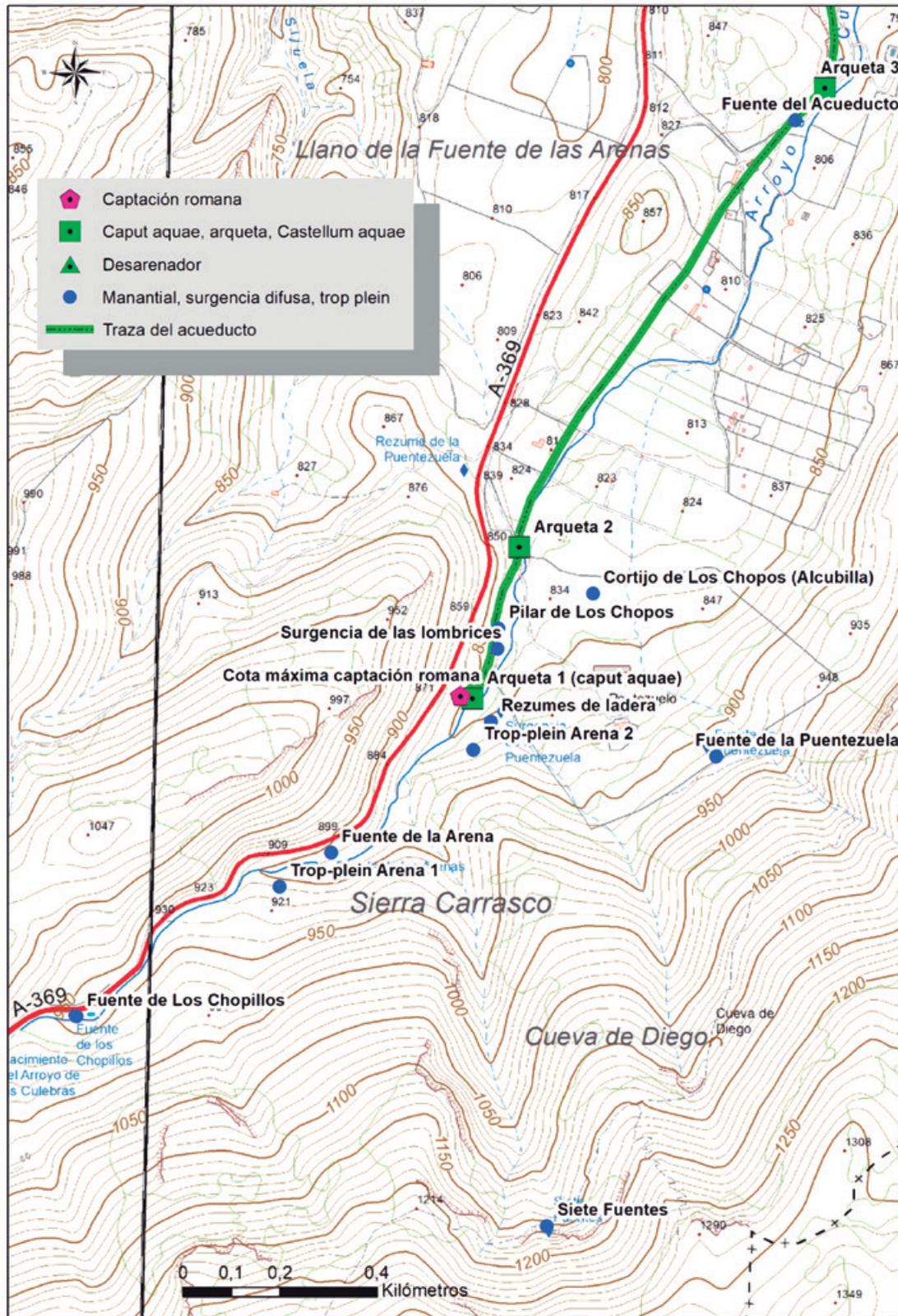


Figura 5. Zona de cabecera del acueducto (Llanos de la Arena).
Figure 5. Head stretch of the aqueduct (Llanos de la Arena).

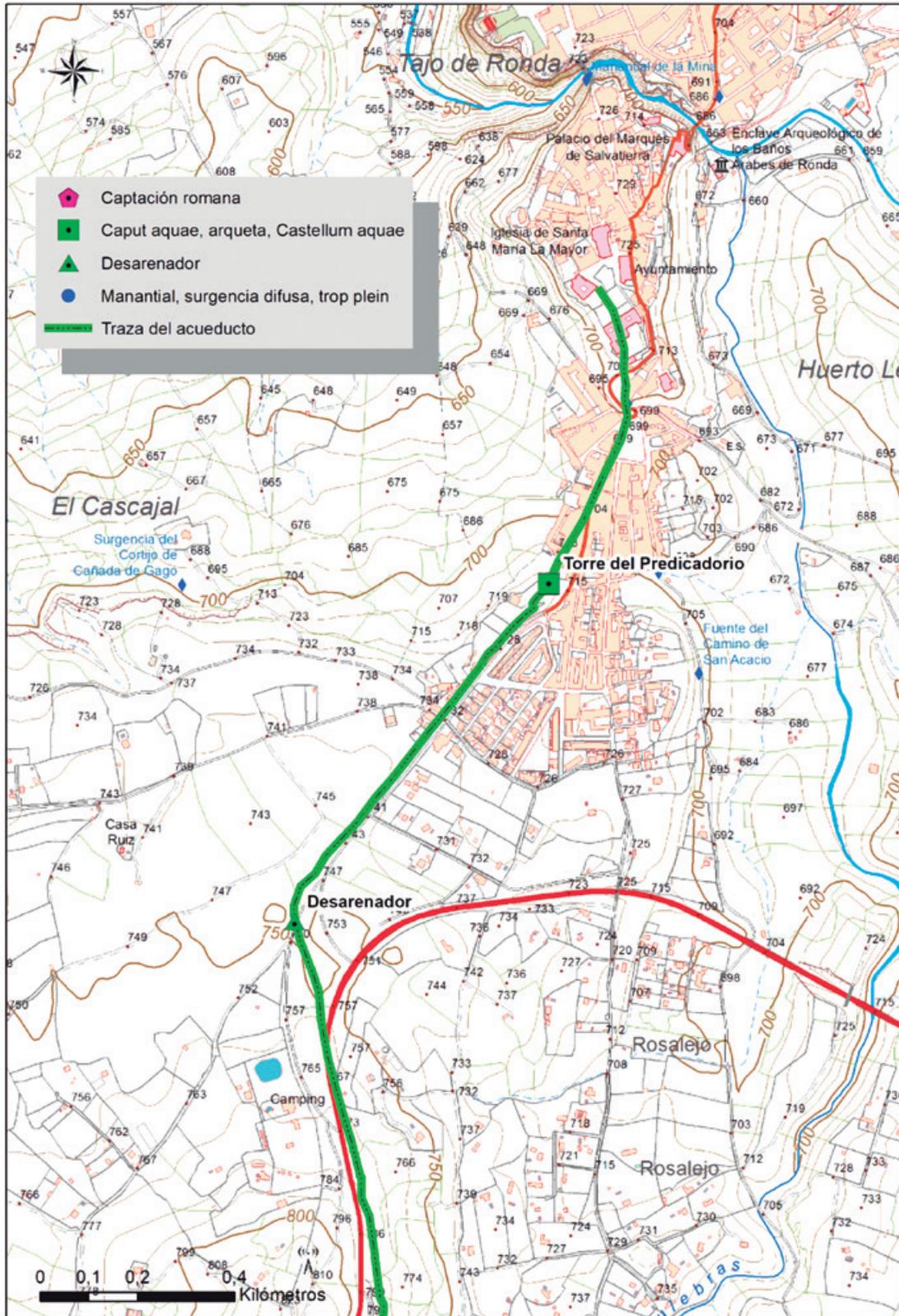


Figura 6. Zona final del acueducto (Barrio de San Francisco y La Ciudad).

Figure 6. Final stretch of the aqueduct (Barrio de San Francisco and La Ciudad).

ta, sino que aprovecharía en lo posible las zonas más suaves del relieve, describiendo un recorrido semicircular. Esto es lo que se desprende de los restos de conducción detectados en la ladera oeste del castillo, conservados como testigos por el orificio efectuado en una obra de fábrica coronada por una pequeña torre de mampostería. Torre que inicialmente asociábamos al sistema defensivo medieval, pero que ahora creemos poder poner en conexión con este otro sistema de traía de agua al asentamiento romano. La dirección que tomaría aquí la conducción señala hacia el Convento de Santa Isabel de los Ángeles (Las Clarisas) (ver figura 7), en donde encontrados dos elementos que, al menos, no descartan su candidatura como *castellum aquae*: uno es la existencia de un aljibe, algo, por otra parte, no extraño en este barrio de Ronda; y el otro es el coronamiento con bóvedas de piedra de un muro que ciega una grieta natural en el mismo lugar y que, como una especie de criptopórtico, alberga en su interior lo que podría haber formado parte del mismo o de otro depósito. A partir de él, como ya se ha dicho, el agua sería distribuida por una red de canalizaciones de la que, por el momento, solo nos ha llegado el segmento de atanores cerámicos descubierto en 1997.

Discusión

La posibilidad en época romana de llevar agua al asentamiento de *Arunda*, aparte de la generación de las infraestructuras propias para hacer efectiva esa traída, suponía la presencia en él de instalaciones de diferente naturaleza y finalidad vinculadas al agua y a su gestión. Que en un solar urbano de Ronda descubriéramos una conducción de *tubuli* cerámicos cuya sección (13 cm de diámetro y 45 de longitud) y puesta en obra son las características de los sistemas de distribución de agua potable descritos por autores como Vitruvio (Adam, 1996: 277), implicaría la existencia en el asentamiento de un depósito de almacenamiento, de un *castellum aquae*, que hiciera las veces de receptor y distribuidor del agua dirigida hasta él (Aguayo et al., 2004: 780). Pero el esfuerzo e inversión que suponían llevar agua hasta un lugar como Ronda, situado además sobre un cerro, no podía reducirse a una necesidad meramente doméstica.

En efecto, y a pesar de la merma en el conocimiento de la fase altoimperial de esta ciudad, existe sin embargo un elemento más, que aparte de su clara vinculación con el agua, posee connotaciones que permiten apreciar la jerarquización interna de la que gozaba posiblemente su recorrido. Nos referimos a una piscina o depósito revestido de *opus signinum*, tanto en suelos como en paredes (es decir, con un carácter eminentemente hidrófugo, cuyas medidas

interiores eran 5,80 x 1,48 metros), realizada con potentes muros de mampostería (probablemente para contrarrestar la presión ejercida desde su interior), y localizada en el que debió ser el extremo oriental de la ciudad, próximo a las murallas (Nieto et al., 2010; 2681). Su presencia en un sector periférico, hasta cierto punto, de ciudad-asentamiento (si es que podemos hablar de periferia en un espacio tan reducido que, no obstante, gozó de cierta jerarquización), y su clara relación con el agua en un asentamiento que carece de ella de forma natural, apuntaba hacia una racionalización y estructuración evidentemente intencionadas, cuya finalidad podría haber estado relacionada con la optimización del agua sobrante que circulara por la ciudad. Esto habría supuesto localizar determinadas infraestructuras en los puntos más bajos de ésta con el objeto de aprovechar, quizás, el agua para labores cuyo carácter se nos escapa, pero que posiblemente habrían estado vinculadas a la transformación de algún producto o tal vez, sencillamente, como una cisterna de apoyo para el almacenamiento de agua que surtiera a un sector subsidiario de ella.

Esta jerarquización es relativamente habitual y no resulta exclusiva de los ámbitos urbanos. En el campo también se daba esta forma de organizar la distribución del agua, como se puede comprobar en la villa de Morosanto, situada a unos 8 km de Ronda (Castaño Aguilar, 2012). En esta instalación agropecuaria la captación de agua, realizada de una fuente cercana, se conducía hasta un *castellum aquae* desde el que era distribuida para surtir tanto a unas termas con *natatio*, como a un posterior sector productivo. Con el agua sobrante, al menos con la procedente de la instalación balnearia, almacenada a su vez en otra cisterna (la última del sistema), posiblemente se habría puesto en cultivo un área indeterminada de terreno irrigado destinado a huertas, algo que no es de extrañar en estas instalaciones agrícolas. Una visión que también toma fortaleza en esta villa al no detectarse por debajo de la cota a la que se encuentra esta última cisterna indicio de otra actividad diferente a la agrícola (Castaño Aguilar, 2012).

Pero la existencia de un acueducto iba más allá del hecho material o monumental de la obra en sí. Su recorrido y mantenimiento dependían de los poderes locales, de los *duunviri* y de los decuriones, lo que significaba que la ciudad contaba con estas magistraturas urbanas y, por tanto, gozaba de la autonomía que le proporcionaba el derecho romano (Sánchez y Martínez, 2016: 33). De hecho, muy probablemente la creación del acueducto rondeño se abordara tras la declaración de este asentamiento como "*municipium romanorum*"; esto es, como una ciudad de derecho latino: un acontecimiento que se extendió de forma

generalizada por todo el imperio a partir del año 74 d.C., con la promulgación del Edicto de Latinidad por parte del emperador Vespasiano (Sánchez López, 2008). Este dato es importante pues viene a afijar su construcción no antes de finales del siglo I d.C., y probablemente, con mayor seguridad, en la centuria siguiente, lo que cuadra mejor con la información proporcionada por la arqueología desarrollada en el casco antiguo de Ronda.

Desde un punto de vista paleoclimático, resulta muy importante señalar que la cronología estimada para la construcción del acueducto coincide sobremedida con una fase extremadamente árida que ha sido detectada en el sur de la península Ibérica ca. 150 a.C.- 150 d.C., mientras que a partir de la última de las fechas citadas las condiciones de humedad ambiental se recuperaron (Luelmo Lautenschlaeger y López Sáez, 2017; López Sáez et al., 2019). Estas circunstancias quedan demostradas por el decaimiento de los pinares altomontanos en las montañas Béticas en dicho intervalo cronológico, bosques éstos dominantes hasta entonces desde el Holoceno medio y gran parte del final (Carrión et al. 2001 y 2007). Tales condiciones

de aridez, curiosamente, habrían facilitado una mayor facilidad de acceso del ganado doméstico a las zonas lacustres regionales, denotándose una presión pastoral en época romana desmesurada (Carrión y Navarro, 2002). Paralelamente, tales condiciones paleoambientales de creciente xericidad condujeron a una mayor recurrencia de incendios forestales, tanto naturales como de origen antrópico (Carrión, 2002 y Carrión et al., 2007).

Se ha llegado a señalar que una obra de estas características llegó a ser tan esencial en una ciudad como lo fueron los teatros o los foros (Sánchez López, 2008: 127). Sin embargo, tampoco habría que perder de vista que la construcción de una infraestructura de la envergadura de un acueducto solo se abordaba como último recurso o como apoyo, cuando los sistemas tradicionales o no eran viables, o resultaban insuficientes para el suministro de agua demandado por una población. Estos sistemas, entre los que se contaban los pozos, los manantiales directos, las cisternas y los aljibes, dependían, como es obvio, de las condiciones topográficas y de accesibilidad al freático. Evidentemente, todos estos hechos, como se señaló



Figura 7. Localización de los manantiales de La Mina, Fuente de San Acacio y algunos elementos del acueducto objeto de estudio.
Figure 7. Location of La Mina and Fuente de San Acacio springs and some elements of the studied aqueduct.

anteriormente, vendrían además mediatizados e, incluso incentivados, por unas condiciones paleoambientales de enorme y creciente xericidad y escasa disponibilidad de agua.

En el caso de Ronda estas condiciones impedían acceder mediante las dos primeras opciones por lo que, sin la presencia de un acueducto, la única opción era la de almacenar agua en cisternas mediante su acarreo desde las fuentes o manantiales más cercanos, como lo es el manantial de La Mina o la Fuente de San Acacio. Así, el primero de ellos se encuentra en el fondo del cañón por el que discurre el río Guadalevín, a cota 655 m s.n.m., y es el más importante punto de drenaje natural del acuífero principal de la MASb 060.048 "Dolomías de Ronda". No existe un registro de los caudales del manantial, que varía entre 30 y 110 l/s, aunque diferentes documentos de la empresa de abastecimiento de agua a Ronda recogen caudales punta de varios centenares de litros por segundo (IGME-DPJ, 2010). Lógicamente, cabe pensar que este manantial sería suficiente para el abastecimiento a *Arunda* pero la elevación hasta un *castellum aquae* situado en la parte alta de la ciudad (alrededor de 720 m s.n.m.) parece cuando menos muy complicada por la dificultad de instalar algún tipo de maquinaria de tracción animal en el Tajo para conseguir esa elevación. En la figura 7 se han representado estos manantiales con su cota junto con la Torre del Predicatorio en el trazado del acueducto y la posible ubicación del *castellum aquae*.

Que se optara en un determinado momento por llevar agua a *Arunda* a través de un acueducto, aparte de lo indicado sobre la "inmortalidad" del Imperio, significaba que tanto su población como las actividades que se desarrollaban en ella requerían un cierto caudal y un suministro continuado. En el caso de las actividades es muy poco lo que podemos avanzar, toda vez que no contamos con registros que nos permitan

poner en conexión agua y actividad, a excepción de lo apuntado sobre la piscina de *opus signinum* hallada junto a las murallas para la que, no obstante, no podemos señalar su función o papel (de haberlo tenido en cualquier proceso productivo). Pero en el caso del uso doméstico y de las instalaciones que debieron existir en el suelo urbano entendido como el espacio dentro de las murallas, en el mismo barrio de la Ciudad, pues lo que está fuera de ellas no sería ciudad, al menos en estos momentos. Sería el caso de la terma, que de haberla estaría dentro. Al contrario de lo que ocurrirá siglos después con los baños árabes de Ronda que, aunque en la ciudad, no se encontraban situados en la medina, sino en un arrabal), sí que contamos con estudios sobre la demanda de agua en época romana en los que su consumo viene estimándose entre los 40 y los 1000 litros por persona/día (Hansen, 1983).

Sin embargo, en este sentido hay que mostrar bastante prudencia, ya que estos cálculos están referidos a la capital del Imperio que contó con una población elevadísima, y con un nivel de sofisticación de sus habitantes igualmente alto. Si nos avenimos a los datos proporcionados por las mediciones realizadas sobre los caudales de las fuentes de la cercana *Acinipo*, encontramos que su población (probablemente no superior a los 2000 habitantes) no podría consumir más de 10 litros por persona/día, siendo generosos, ya que lo que en la actualidad revelaron tales mediciones no sería suficiente ni para consumir la mitad de esa cantidad (García García, et al, 2009: 200). De esto se colige que el aporte de caudal proporcionado por el acueducto de la Fuente de la Arena debería ser sensiblemente mayor, aun tratándose de una ciudad más pequeña. Y debería serlo, aunque solo fuera porque era posible llevar agua hasta ella, por lo que el caudal no estaba ya supeditado en exclusiva a la proximidad de una fuente ni a su accesibilidad.

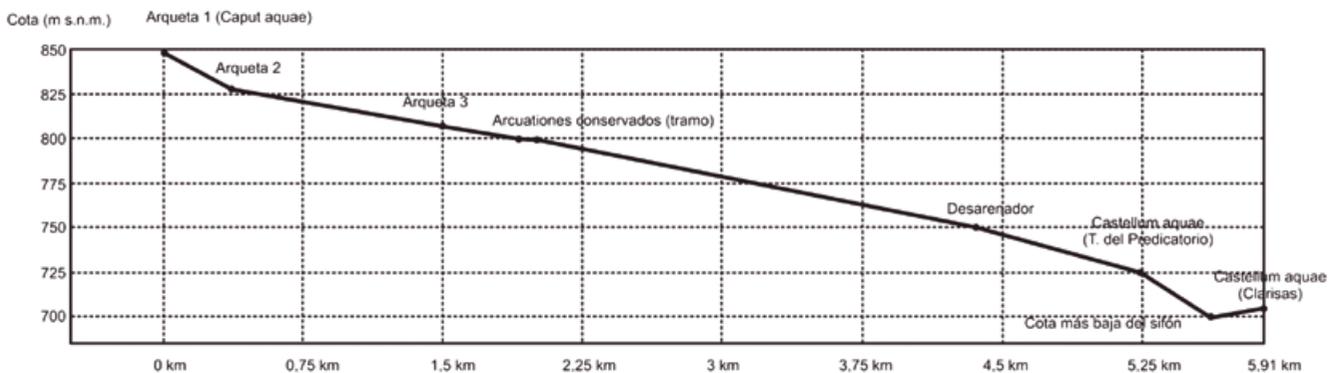


Figura 8. Perfil esquemático del recorrido del acueducto elaborado a partir de los elementos identificados.

Figure 8. Schematic profile of the route of the aqueduct prepared from the identified elements.

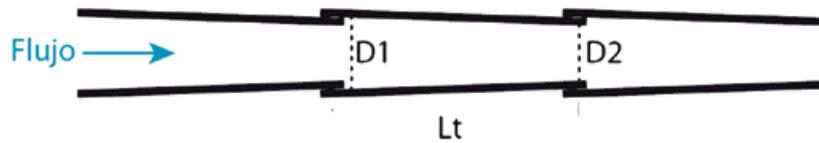


Figura 9. Esquema de la geometría de la tubería compuesta por tramos de tubuli.

Figure 9. Diagram of pipe geometry composed of sections of tubuli.

En el caso de nuestro acueducto, hemos calculado el caudal que puede circular por la tubería entre los elementos denominados Arqueta 1 (*Caput aquae*) y Arqueta 2 (ver figura 8). Así, el caudal en la tubería de 320 m de longitud y 0,15 m de diámetro medio (compuesta por tramos de *tubuli*) ha sido estimado en 24 l/s mediante la ecuación de Bernoulli (Brater et al., 1996) aplicada entre la Arqueta 1 de entrada a la tubería, situada a 848 m.s.n.m, y la Arqueta 2 en la que finaliza el primer tramo de tubería, situada a 829 m.s.n.m.

Las pérdidas de carga en la tubería han sido calculadas mediante la ecuación de Darcy-Weisbach (Brater et al., 1996) considerando una rugosidad absoluta de los *tubuli* de 3 mm y estimando el factor de fricción ($f = 0,049$) mediante el ábaco de Moody (Brater et al., 1996). Por su parte, las pérdidas de carga localizadas producidas por el sistema de ensamblado de los *tubuli* (ver figura 9) también han sido tenidas en cuenta como una fracción de la componente de velocidad en la ecuación de Bernoulli. Para cada tramo de *tubuli* se ha considerado una pérdida de carga localizada debida a un estrechamiento gradual y otra debida a un ensanchamiento brusco. La longitud de los tramos de *tubuli* es de 0,45 m (L_t) mientras que los diámetros varían gradualmente de 0,16 m (D1) a 0,14 m (D2). Los coeficientes empleados para las pérdidas de carga localizadas, estimados de acuerdo con la geometría descrita, han sido $K = 0,075$ y $K = 0,06$ para el estrechamiento y el ensanchamiento, respectivamente.

Por modesto que fuera, la construcción de un acueducto era una tarea impresionante que requería contar con una planificación previa en la que se debían tener en cuenta aspectos diversos relacionados con la hidráulica, la ingeniería, la topografía y, por supuesto, su edificación. Pero también significaba contar con personal cualificado que, por ejemplo, fuera capaz de desarrollar los cálculos y utilizar los instrumentos necesarios para determinar desde qué punto partiría la conducción, en función del caudal necesitado, cuál era el desnivel que debía tener y qué recorrido era

mejor para optimizar el funcionamiento del sistema. En el caso que nos ocupa, el punto de captación se encuentra a unos 6 km de distancia, describe un recorrido relativamente sinuoso siguiendo las curvas de nivel, y salva un desnivel de cerca de 80 m que, a los pies de La Ciudad, se acentúa por el quiebro que supone la formación del Tajo que la rodea por todos sus lados pero que, por el suroeste, por donde ingresa la conducción, es mucho menor.

Conclusiones

El acueducto de la Fuente de la Arena es una infraestructura de relevancia que requirió un esfuerzo e inversión muy importante. Esto apoyaría la idea de una actividad significativa en el asentamiento romano de *Arunda* con la existencia de magistrados urbanos y cierta autonomía.

El sector del acuífero drenado por el manantial captado tiene, en la actualidad, recursos suficientes para garantizar el abastecimiento al asentamiento de *Arunda*. Sin embargo, hemos de asumir que, en las fechas de construcción del acueducto (no antes de finales del siglo I d.C., y probablemente, con mayor seguridad, en la centuria siguiente) durante la fase extremadamente árida en el sur de la península Ibérica (ca. 150 a.C.- 150 d.C.), las precipitaciones y por lo tanto los recursos hídricos subterráneos, debieron ser inferiores a las actuales.

Esta disminución de los recursos debió lógicamente afectar a otros acuíferos como el de las Dolomías de Ronda, drenado por el manantial de La Mina y que, de alguna manera, debió abastecer a *Arunda*. Con esta situación, no es descabellado plantear que la decisión de construir el acueducto estuvo condicionada por la necesidad de garantizar el abastecimiento. Así, teniendo en cuenta que en la actualidad el sector del acuífero de la sierra de Jarastepar que hemos denominado Llanos de la Arena tiene unos recursos medios de 1,6 hm³/año, aún con una disminución de estos recursos

de un 50% podría abastecer a *Arunda*, lo que lo convierte en un buen candidato a ser captado. Debemos destacar que esa disminución dejaría el caudal medio drenado por el sector en 25 l/s.

Otro argumento que apoyaría, al menos en parte, este planteamiento es el de las características constructivas del acueducto. Así, el caudal que puede circular por la zona de captación, según nuestras estimaciones, está próximo a los 24 l/s. Con este caudal se podría abastecer una población de 2.000 habitantes con una dotación de 1.000 l/hab/día (propia de la capital del imperio) o en torno a 8.000 habitantes con una dotación de 270 l/hab/día (que suscribiría cualquier organismo de cuenca actual) e incluso un censo próximo a los 14.000 habitantes con 150 l/hab/día. Puesto que estas cifras no se corresponderían con la realidad poblacional, el factor del aprovechamiento artesanal-industrial tomaría una consistencia mayor.

La situación de extrema aridez comentada también puede ser responsable de la existencia en la zona de cabecera de al menos dos captaciones a diferentes alturas. Estas podrían corresponder a intentos de captación cada vez a menos cota por secado de la surgencia motivado, a su vez, por la disminución de las precipitaciones.

La necesidad de abastecimiento de agua a *Arunda* con un caudal continuo que, como se ha comentado, era de una cierta importancia, nos indica que las actividades que se desarrollaban en la ciudad estaban muy por encima de un mero suministro de agua de boca.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer a D. Juan Terroba la colaboración prestada en los trabajos de campo, a D^a Beatriz de la Torre sus sabios consejos, a los señores Spijkers (Johannes y Edwin J.) por permitirnos el acceso a su finca, y tanto al Museo de Ronda como al Instituto Geológico y Minero de España, su disposición favorable a la realización de este trabajo. Se agradecen los comentarios constructivos de los dos revisores anónimos.

Referencias

C. Arias, J.M. Castro, B. Chacón, M. Company, A. Crespo-Blanc, A. Díaz de Federico, A. Estévez, J. Fernández, M. García-Hernández, G. de Gea, A.C. López-Garrido, A. Martín-Algarra, J. Martín-Chivelet, J.M. Molina, D. Morata, L.M. Nieto, L. O'Dogherty, A. Pérez-López, E. Puga, J. Rey, P. Rivas, P.A. Ruiz-Ortiz, J. Sandoval, C. Sanz de

Galdeano, J.A. Vera y L. Vilas. 2004. Zonas Externas Béticas. In *Geología de España* (J.A. Vera, Ed.), SGE-IGME, Madrid, 354-389.

Adam, J.P. 1996. *La construcción romana, materiales y técnicas*. Editorial de los oficios, León, 369 pp.

Aguayo, P. Carrilero, M. y Lobato, R. 1988. Los orígenes de Ronda. La secuencia según las primeras excavaciones. *Estudios de Ronda y su Serranía, n° 1*, Granada-Universidad, 7-26.

Aguayo, P., Castaño, J.M. y Padial, B. 2004. Análisis arqueológico y urbanístico de una manzana. Intervenciones de urgencia en el casco antiguo de Ronda, 1994-2000. *Anuario Arqueológico de Andalucía/2001, t. III, Sevilla*, 772-788.

Brater, E. F., Wei, C. Y., Lindell, J. E., King, H. Williams. 1996. *Handbook of hydraulics for the solution of hydraulic engineering problems*. 7th ed. New York: McGraw-Hill. 313 pp.

Carrión, J.S. 2002. Patterns and processes of Late Quaternary environmental change in a montane region of southwestern Europe. *Quaternary Science Reviews*, (21), 2047-2066.

Carrión, J.S., Navarro, C., 2002. Cryptogam spores and other non-pollen microfossils as sources of palaeoecological information: case-studies from Spain. *Annales Botanici Fennici*, (39), 1-14.

Carrión, J.S., Fuentes, N., González-Sampériz, P., Sánchez Quirante, L., Finlayson, C., Fernández, S. & Andrade, A. 2007. Holocene environmental change in a montane region of southern Europe with a long history of human settlement. *Quaternary Science Reviews*, (26), 1455-1475.

Carrión, J.S., Munuera, M., Dupré, M. & Andrade, A. 2001. Abrupt vegetation changes in the Segura Mountains of southern Spain throughout the Holocene. *Journal of Ecology*, (89) 783-797.

Castaño Aguilar, J.M. 2003. Algunos datos sobre *Arunda* romana. Intervención arqueológica de urgencia en el solar n° 50 de calle Armiñán de Ronda (Málaga). 2000. *Anuario Arqueológico de Andalucía/2000*, (III), 859-867.

Castaño Aguilar, J.M. 2012. Un ejemplo de transformación del poblamiento rural durante la Antigüedad Tardía. La villa de 'Morosanto' (Ronda, Málaga). *Arqueología y Territorio Medieval*, (19), 9-32.

Castaño Aguilar, J.M. (e.p.). Ciudad y territorio en la depresión de Ronda durante época romana. *Mainake*, XXXVII.

Chamón Cobos, C., Estévez González, C., Piles Mateo, E., Supervisión Ruíz Reig, P. (IGME) 1973. Mapa geológico y Memoria de la Hoja n° 1.064 (Cortes de la Frontera). Mapa Geológico de España E. 1:50.000. ITGE, 65 pp.

CMAYOT 2016a: Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía. Anejo II: Inventario de recursos hídricos.

CMAYOT 2016b: Plan Hidrológico de la Demarcación Hidro-

- gráfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía. Apéndice 1: Fichas de caracterización adicional.
- De la Torre, B., Mudarra, M., Andreo, B., Argamasilla, M., Nieto, J.M., Prieto, J. y Gil, J.M. 2017. Consideraciones sobre el funcionamiento hidrogeológico del acuífero carbonático de la sierra de Jarastepar (provincia de Málaga) deducidas a partir de un ensayo de trazadores artificiales. *GEOGACETA*, (61), 63-66.
- Del Olmo Sanz, A., de Pablo Macía, J.G., Aldaya Valverde, F., Campos Fernández, J., Chacón Montero, J. García-Dueñas, J., García-Rossell, L., Orozco Fernández, M. Sanz de Galdeano, C., Torres Rondán, T. (1980). Mapa geológico y Memoria de la Hoja nº 1.064 (Cortes de la Frontera). Mapa Geológico de España E. 1:50.000 ITGE, 55 pp.
- Del Olmo Sanz, A., Moreno Serrano, F., Campos Fernández, J., Estévez, A., García-Dueñas, J., García-Rossell, L., Martín Algarra, A., Orozco, M. y Sanz de Galdeano, C., Dirección y supervisión Ruiz Reig, P. (IGME) 1990. Mapa geológico y Memoria de la Hoja nº 1.051 (Ronda). Mapa Geológico de España E. 1:50.000 ITGE, 56 pp.
- Delgado Blasco, P. 2005. El acueducto de romano de la Fuente de la Arena. La Torre del Predicatorio, Ronda (Málaga). *Anuario Arqueológico de Andalucía/2002, Tomo III, Vol. II*, 119-125.
- Jiménez Gavilán, P., Fernández Gutierrez del Álamo, R., Jiménez Fernández, P. 2007a. Atlas Hidrogeológico de la provincia de Málaga. Capítulo 2.4.2 "Sierra de Jarastepar" Durán Valsero J.J, (coord. Gral.). Instituto Geológico y Minero de España y Universidad de Málaga. 2007. 296 pp.
- Jiménez Gavilán, P., Morales García, R. 2007b. Atlas Hidrogeológico de la provincia de Málaga. Capítulo 2.4.7 "Sierra de Jarastepar" Durán Valsero J.J, (coord. Gral.). Instituto Geológico y Minero de España y Universidad de Málaga. 2007. 296 pp.
- García García, J.L. Et Alii 2009. Consideraciones hidrogeoarqueológicas sobre el yacimiento romano de Acinipo (Ronda, Málaga), Castaño, J.M. y Nieto, B. (coord.): La Ciudad Romana de Acinipo. Investigaciones 2005-2007. *Avance de resultados, núm. monográfico de Cuadernos de Arqueología de Ronda*, (3), 195-202.
- Hansen, R.D. (1983): "Water and wastewater systems in Imperial Rome", *Boletín de recursos hídricos*, (19), 263-269.
- Ḥimyarī 1963. Kitāb ar-Rawd al-Mi'tar, traducción de Maestro González, M.P., Valencia.
- Ibn al-Jatib 1984. Miyar al-Ijtitar, extracto traducido por Orellana y Campillo, A., para la revista *Ronda y la Serranía. Feria de Pedro Romero*, Ronda, 99 pp.
- IGME-DPM 2010. Perímetro de protección del Manantial de Linarejos destinado al abastecimiento del núcleo urbano de Ronda (Málaga). Instituto Geológico y Minero de España y Diputación Provincial de Málaga (Informe interno).
- Inventario 1960. "Certificado sobre la titularidad municipal de los manantiales de agua de Ronda recogidos en el Inventario de Manantiales de Aguas", Certificado de Secretaría General del Ayuntamiento de Ronda fechado el 27 de octubre de 1960.
- Liñán, C. 2003. Hidrogeología de Acuíferos Carbonatados en la Unidad Yunquera-Nieves (Málaga). Tesis Doctoral, Universidad de Granada (España). 317 pp.
- López Sáez, J.A., Pérez Díaz, S., Galop, D., Alba Sánchez, F. & Abel Schaad, D. 2018. A Late Antique vegetation history of the Western Mediterranean in context. *Late Antique Archaeology*, (11), 83-104.
- Luelmo Lautenschlaeger, R. & López Sáez, J.A. 2017. Antropización de los ecosistemas durante el Holoceno final: de la romanización a la Baja Edad Media. En: Pérez Díaz, S., Ruiz Fernández, J., Cambio climático y cultural en la Península Ibérica: una perspectiva geohistórica y paleoambiental. Universidad de Oviedo, 159-168.
- López Sáez, J.A. & García Hernández, C. (Eds.) 2017. Cambio climático y cultural en la Península Ibérica: una perspectiva geohistórica y paleoambiental. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Oviedo, Oviedo. 183 pp.
- Martín Algarra, A. 1987. Evolución geológica alpina del contacto entre las Zonas Internas y las Externas de la Cordillera Bética. Tesis Doctoral. Universidad de Granada. 1171 pp.
- Martínez Núñez, M^a. A. (e.p.): Recensión a una ciudad de Al-Andalus. Ronda a finales de la Edad Media, *Mainake*, XXXVII.
- Moreno Serrano, F. (TCR, S.A.), Campos Fernández, J., García Rosell, L., Orozco Fernández, M., Sanz de Galdeano, C., Dirección y supervisión Ruiz Reig, P. (IGME) 1990. Mapa geológico y Memoria de la Hoja nº 1.050 (Ubrique). Mapa Geológico de España E. 1:50.000 ITGE, 55 pp.
- Nieto B., Castaño, J.M., Padial, J. Y Peña, L. 2010. Memoria de la intervención arqueológica de urgencia en el solar N° 67 de la Calle Armiñán de Ronda (Málaga), *Anuario Arqueológico de Andalucía/2005, Provincia de Málaga*, 2678-2687.
- Ortiz Córdoba, J. 2013. Las ciudades romanas de la Serranía de Ronda: fuentes para su estudio, *@rqueología y Territorio*, (10) 73-86.
- Rivera Valenzuela, J.M. 1873. Diálogos de memorias eruditas para la Historia de la nobilísima Ciudad de Ronda, Ronda (primera edición en Córdoba, 1767). 107 pp.
- Roldán, F.J., Rodríguez-Fernández, J., Villalobos, M., Lastra, J., Díaz-Pinto, G., Pérez Rodríguez, A.B.. Mapa Geológico Digital continuo E., 1:50.000, Zonas: Subbético, Cuenca del Guadalquivir y Campo de Gibraltar. In GEODE Mapa Geológico Digital continuo de España. [en línea][fecha de consulta 01/01/2019].
- Sánchez López, E.H. 2008. Introducción a los acueductos romanos de Andalucía, *@rqueología y Territorio*, (5), 127-139.

Sánchez López, E. Martínez Jiménez, J. 2016. Los acueductos de Hispania. Construcción y abandono. Fundación Juanelo Turriano, Madrid, 297 pp.

Sierra de Cózar, P., Palop Villarejo, C., Vicario Monreal, J. 1990. Antiguos sistemas de suministro de agua a Ronda:

Acueducto de la Fuente de la Arena. Servicio de Publicaciones del Centro de Profesores de Ronda, Ronda, 34 pp.

Sierra de Cózar, P., Sierra Velasco, J.E. 2011. La sed de Ronda. El abastecimiento de aguas potables a la ciudad a lo largo de su historia. Editorial La Serranía, Ronda. 176 pp.

Recibido: julio 2019

Revisado: noviembre 2019

Aceptado: enero 2020

Publicado: marzo 2021