

Las presas de abastecimiento en el marco de la ingeniería hidráulica romana. Los casos de Proserpina y Cornalbo

FERNANDO ARANDA GUTIÉRREZ
JOSÉ LUIS SÁNCHEZ CARCABOSO
ESPERANZA ANDRÉS DÍAZ
GERMÁN RODRÍGUEZ MARTÍN
M^a EUGENIA POLO GARCÍA
RAFAEL SÁNCHEZ CRESPO
JOSÉ ANTONIO GUTIÉRREZ GALLEGO

RESUMEN

En el siguiente trabajo, se estudia el papel de las presas de embalse en los abastecimientos de agua a las ciudades romanas, justificando su necesidad en países como el nuestro y describiendo las realizaciones romanas conocidas en este campo. Seguidamente, nos centramos en el caso de las presas de Mérida, estudiando en detalle estas estructuras en el marco de los sistemas hidráulicos de los que formaban parte, analizando sus posibilidades cuantitativas de garantizar un suministro de agua acorde con el de otras ciudades romanas, y comprobando que la calidad de sus aguas sería adecuada para ello. Concluyendo finalmente que ambas presas son sin duda de época romana.

SUMMARY

In this paper, we study the role of dams in the water supply systems to the roman cities, justifying its necessity in countries as Spain, and describing the known roman realizations in this field. Afterwards, we deal with the case of Mérida dams, studying these constructions within the water supply systems which they belong to, analyzing the ability of those systems to guarantee a water supply similar as the roman cities standards, and verifying that the quality of water would be right. Finally, we will conclude that the two ancient dams in Mérida, Proserpina and Cornalbo, are really roman constructions.

INTRODUCCIÓN

La situación de sequía que se vive en nuestro país desde el pasado año 2005, ha traído al primer plano de la actualidad el estado de las reservas de agua almacenadas en nuestros embalses, siguiéndose con gran preocupación e interés la evolución de las mismas. Esta circunstancia climatológica, que se repite de forma cíclica, y está provocada por la enorme irregularidad de precipitaciones típica de nuestro clima, pone de manifiesto la gran importancia de la necesidad de almacenar el agua de los periodos lluviosos para tener una cierta garantía de suministro en los periodos secos, es decir, la necesidad de regular las aportaciones naturales de agua.

Esta necesidad de regulación es muy evidente en zonas como España donde la regulación natural no llega ni al 10% de la aportación media total, y es mucho más acusada en cuencas como la del río Guadiana, donde esta regulación natural es del 1%.

Esta circunstancia es histórica, por lo que las diferentes civilizaciones que se han desarrollado en nuestro suelo han tenido la necesidad de resolver este problema mediante la realización de muy diversos tipos de obras hidráulicas.

La más compleja y costosa de todas ellas, pero también la más eficaz, es la construcción de una presa de embalse, que aún hoy en día requiere la movilización de un enorme número de recursos técnicos, humanos y económicos. Son pues fácilmente comprensibles las enormes dificultades que supondría la realización de una obra de esta envergadura en la antigüedad, por lo que su ejecución sólo sería posible cuando concurriesen las siguientes circunstancias:

- Una sociedad bien desarrollada política, técnica y económicamente.
- La satisfacción de una necesidad muy básica de dicha sociedad.

Creemos firmemente que la civilización romana, básicamente urbana, fue la única de las que se desarrollaron en la antigüedad hispana hasta la edad

moderna, que reunió las dos premisas anteriores, por lo que es bastante consecuente que procedan de esa época los mayores y mejores ejemplos de presas que han llegado hasta nuestros días. Entre ellas destacan por su envergadura y complejidad las que se destinaron al abastecimiento de algunas de las ciudades romanas más importantes de la Península, como detallaremos más adelante.

El caso de Mérida, la antigua *Augusta Emerita*, creemos que es paradigmático, ya que en su entorno se da la mayor concentración de presas de origen romano de toda la antigua *Hispania*. Estas presas son de muy diversos tipos, fábricas, y destinos. Desde las grandes presas de Proserpina y Cornalbo utilizadas para el abastecimiento de la ciudad romana, y de las que trataremos en profundidad en los capítulos siguientes, hasta las más modestas destinadas al abastecimiento y uso agrícola de *villae* y asentamientos rurales (Esparragalejo, Araya, Las Tiendas, Vega de Santa María...).

En fechas recientes han surgido nuevas interpretaciones acerca de la utilidad de las presas como origen del abastecimiento a las ciudades en época romana (Feijoo 2005) basándose en la no potabilidad de las aguas embalsadas, lo que llega a cuestionar el origen de las presas de Proserpina y Cornalbo.

En las páginas que siguen trataremos de exponer las razones y argumentos que, tras un detallado análisis de los estudios realizados por múltiples instituciones e investigadores, creemos que justifican plenamente la necesidad de la construcción de presas como un medio eficaz (a veces el único posible) de garantizar el suministro de agua en cantidad adecuada y de calidad aceptable para el abastecimiento de algunas ciudades romanas, Mérida entre ellas. Así mismo creemos que existen datos suficientes, y que se exponen en este trabajo, que permiten establecer con gran fiabilidad el origen romano de las presas emeritenses de Proserpina y Cornalbo.

Estas dos magníficas realizaciones de ingeniería hidráulica romana son un fiel exponente del genio constructor de la civilización romana y que queda magníficamente reflejado en las palabras que la escritora Marguerite Yourcenar puso en boca del gran emperador Adriano:

“Construir es colaborar con la tierra, imprimir una marca humana en un paisaje que se modificará así para siempre; es también contribuir a ese lento cambio que constituye la vida de las ciudades”.

LA NECESIDAD DE LAS PRESAS EN ESPAÑA, REALIZACIONES ROMANAS Y MEDIEVALES

La construcción de una presa, aunque sea de pequeño tamaño o incluso un simple azud de derivación, representa una lucha contra las fuerzas elementales de la naturaleza, lo que siempre es una labor costosa y compleja.

El estudio y proyecto de una presa requiere avanzados conocimientos en materias como la hidrología, hidráulica, geología y geotecnia, y el cálculo de estructuras, de los que, por supuesto, no se disponía en la época romana. De hecho, hasta la segunda mitad del siglo XIX no se comienzan a aplicar los principios de la mecánica racional al diseño de las presas (Díez-Cascón Sagrado y Bueno Hernández 2001).

Asimismo, se requiere una maquinaria y medios auxiliares de enorme importancia, que evidentemente tampoco han existido hasta fechas relativamente próximas en la historia.

Por lo tanto, la construcción de presas en la época preindustrial debía ser una auténtica epopeya, una lucha posible sólo a costa de enormes esfuerzos, tanto físicos como económicos, lucha por otra parte que muchas veces se saldaría con la derrota...

Y sin embargo, a lo largo de la historia siempre se han construido presas, ya que el hombre siempre ha necesitado agua para diversos usos, desde los más primarios hasta los más sofisticados, por lo que las civilizaciones que se desarrollaban en ámbitos geográficos donde la naturaleza la proporciona irregularmente, no tuvieron más remedio que construirlas para satisfacer esas necesidades.

Las primeras presas conocidas, *Java* en Jordania y *Sadd-el-Kaffara* en Egipto, pueden datarse a principios del tercer milenio antes de Cristo (Schnitter 1994) y a

partir de ellas existe cierta continuidad en las realizaciones de estas estructuras hasta llegar a la época romana, en la que se produce un esfuerzo en la construcción de infraestructuras de enorme magnitud, incluyendo la construcción de numerosas presas.

Este esfuerzo fue posible en gran medida gracias a los largos siglos de predominio general de condiciones de relativa estabilidad política y militar, la famosa *pax romana*, con lo que las condiciones económicas generales serían bastante más favorables que otras épocas posteriores.

Sin embargo, en el campo concreto de las presas, este esfuerzo constructor tuvo lógicamente importantes limitaciones, derivadas tanto del nivel de conocimientos científicos como de los medios constructivos a emplear, que en ambos casos no tienen nada que ver con los actuales, razón por la que ese gran Ingeniero que fue D. Carlos Fernández Casado afirmaba que *“no fue precisamente en esta rama de la ingeniería hidráulica, que son las presas, donde los ingenieros romanos tuvieron sus mayores éxitos, y es donde nuestras realizaciones actuales superan mucho a las suyas”* (Fernández Casado 1985).

Una consecuencia importante de lo anterior es que las presas romanas no suelen ubicarse en ríos importantes, sino en arroyos o vaguadas, y cuando lo hacen en algún cauce de mayor entidad, es en cabecera del mismo, donde la cuenca de aportación es reducida, complementando a veces ésta mediante trasvases.

Como es lógico, la necesidad de realizar una regulación mediante el almacenamiento de agua, o al menos una derivación de los cauces mediante la elevación de su nivel, sería máxima en las zonas áridas o semiáridas que constituyen una parte importante de la cuenca mediterránea y su entorno, por donde se extendió el Imperio Romano.

Por tanto, aunque contamos con algún ejemplo de presas romanas en la Galia e Italia (presa de *Glanum* y presas de *Subiaco*, respectivamente) la máxima concentración de presas romanas se produce en estas zonas, fundamentalmente en las provincias del Este (Asia Menor y Siria) Norte de África, y sobre todo en *Hispania*.

Efectivamente, la *Hispania* romana (actuales España y Portugal) fue, de manera singular, la provincia romana donde tuvo lugar la mayor actividad constructiva en materia de presas. Parece que los romanos ya se dieron cuenta de la problemática hidrológica existente en la Península Ibérica, y de las grandes posibilidades que ofrece la regulación de sus cauces, aunque por supuesto ellos solo pudieron realizarla en los más pequeños, no acometiéndose hasta el siglo XX una regulación amplia de nuestros ríos, tarea que aunque bastante avanzada, no puede considerarse todavía completada.

Seguidamente, trataremos de ver a grandes rasgos cuáles son esas condiciones hidrológicas de nuestro territorio que hacen imprescindible utilizar presas para poder hacer un uso racional de sus aguas, y cómo se dio respuesta a esa necesidad en las épocas romana y medieval.

LA NECESIDAD DE LAS PRESAS EN ESPAÑA

La precipitación en España, además de ser en términos absolutos inferior a la de la mayor parte de los

países de Europa, está muy mal repartida, tanto espacial como temporalmente. Esta circunstancia no es nueva, sino que como veremos, en líneas generales se ha venido manteniendo a través de la historia. Así, hace dos milenios, Estrabón en su *Geografía*, ya decía que Iberia era un país desigualmente regado.

Como media, el territorio español recibe anualmente unas precipitaciones del orden de los 346.000 hm³, que provocan unas escorrentías de unos 111.000 hm³, es decir, únicamente algo menos de la tercera parte del agua precipitada acaba circulando por los cauces.

Sin embargo, esto son tan sólo las cifras globales. Si estudiamos la distribución geográfica de estas escorrentías, resulta que la del conjunto de las cuencas atlánticas representa casi un 74% del total, y a su vez de esta cantidad, algo más del 50% se produce en las cuencas de la cornisa cantábrica y Galicia, es decir en la España “húmeda”. Entre las cuencas atlánticas, las de menores aportaciones son precisamente las del Guadiana, con un 6,6% del total, seguida del

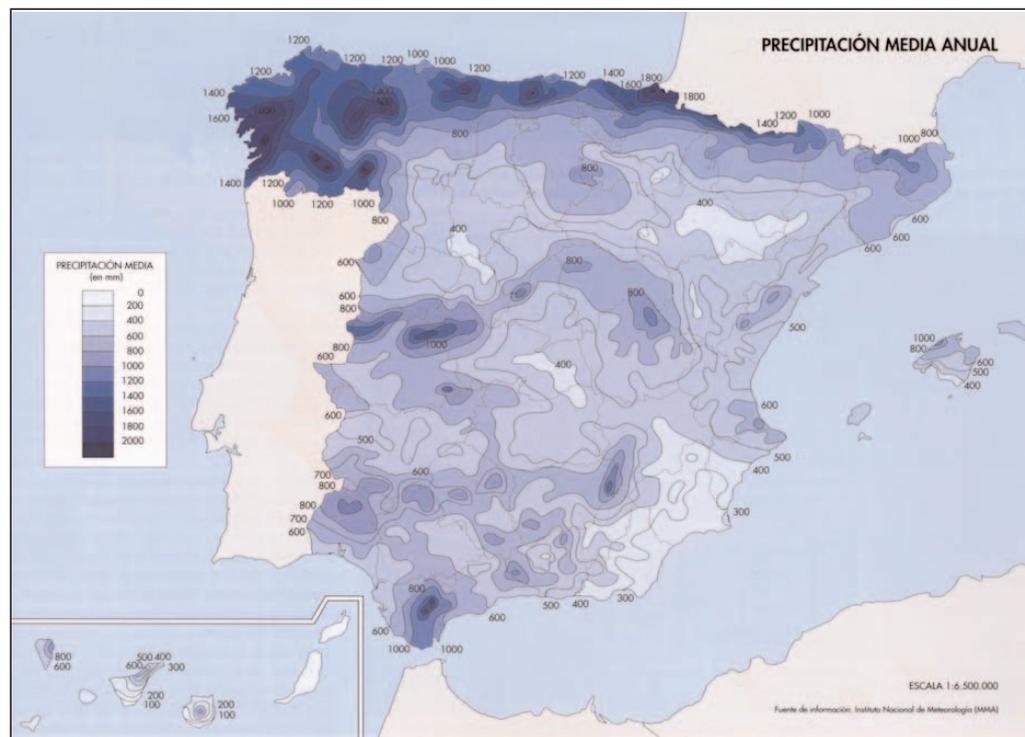


FIGURA 1

Precipitación media en España (fuente: Atlas Nacional de España).

Guadalquivir y Tajo, con el 10,4% y el 13,1% respectivamente (Arenillas Parra 2002).

Pero además de este desequilibrio entre grandes cuencas, existen también patentes desequilibrios internos dentro de cada cuenca. El caso mas evidente es el del Ebro, con una marcada asimetría entre las aportaciones de su margen derecha, procedentes del Sistema Ibérico, y las de la izquierda, originadas en los ríos pirenaicos, por supuesto a favor de estos últimos. Es el caso también del Tajo, donde las aportaciones de su margen derecha, con origen en el Sistema Central, superan con mucho las de la izquierda, procedentes de los Montes de Toledo.

Si pasamos a considerar ahora los desequilibrios temporales, estos resultan tener una enorme importancia. Evidentemente, existe una alternancia anual entre estaciones secas y húmedas, pero además una enorme irregularidad en cuanto a las precipitaciones, y por tanto aportaciones, que pueden producirse entre

unos años y otros, irregularidad además que tiende a ser mayor en las áreas más secas, pudiendo llegar a tener años de aportación prácticamente nula incluso en ríos de considerable tamaño.

No obstante, en algunas zonas del Levante y Sur de España, este factor negativo queda parcialmente compensado por las características geológicas de estos terrenos, que al estar constituido en gran parte por roca caliza, posibilita una regulación natural de las aguas, al infiltrarse gran parte de las aguas precipitadas, y posteriormente, tras un recorrido mucho más lento que en superficie, surgir hacia los cauces (escorrentía subterránea) posibilitando la existencia en estos de cierto flujo base, lo que supone la circulación de ciertos caudales, más o menos continuos, en ausencia de precipitaciones.

En cambio, las cuencas atlánticas en las que predominan los materiales arcillosos y silíceos, este fenómeno de la regulación natural tiene efectos poco

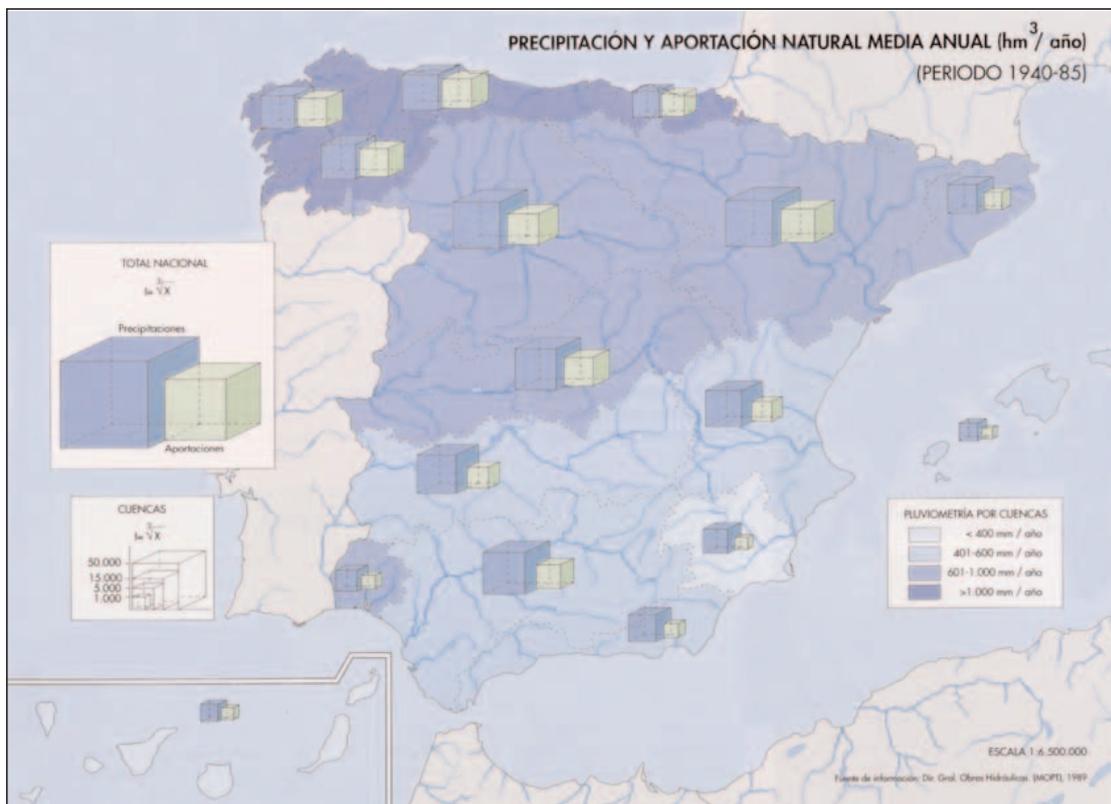


FIGURA 2

Precipitación y aportación media por cuencas hidrográficas (fuente: Atlas Nacional de España).



apreciables, alcanzándose mínimos en este sentido en las cuencas del Tajo, Guadiana y Guadalquivir. Los cauces de estas cuencas llevan agua cuando ha llovido apreciablemente, pero en largas ausencias de precipitaciones sus caudales se reducen drásticamente pudiendo llegar, algunos de ellos, a quedarse en seco.

Estas irregularidades tan enormes hacen que el aprovechamiento de estos ríos en su régimen natural sea muy ineficaz, pudiendo aprovecharse tan solo una mínima parte de los caudales circulantes. Este aspecto ha sido objeto de estudio por la Administración hidráulica española durante la redacción del “Libro blanco del agua”, obteniéndose los resultados que figuran en la tabla adjunta, destacando por su bajo porcentaje de regulación natural las cuencas del Tajo, Guadalquivir y especialmente Guadiana, donde únicamente se podría utilizar en régimen natural un 1% de la aportación media anual.

Sin embargo, los consumos actuales de agua son, en la mayor parte de las cuencas, enormemente superiores a estas posibilidades de los ríos en régimen natural, y en concreto en la del Guadiana, con unos consumos actuales de casi 2.500 hm³/año y unas posibilidades de regulación natural de tan solo 51 hm³/año, suponen multiplicar éstas nada menos que por cincuenta.

Evidentemente esto sólo es posible gracias a la regulación que proporcionan los embalses, que permiten

acumular agua cuando esta circula, para ir proporcionándola después a medida que se necesita.

Seguidamente se incluye una tabla obtenida de la ponencia “Hidrología e hidráulica del solar hispano, las presas en España” (Arenillas Parra 2002) donde se aprecia cuantitativamente todo lo comentado.

Desde luego, a la vista de estas cifras podemos afirmar que nuestro país no sería en absoluto lo que es sin las presas, no siendo precisos más comentarios. Sin embargo, resulta lamentable que en los últimos tiempos estemos asistiendo a una “demonización” de las presas, basada la mayor parte de las veces en unas afecciones ambientales negativas (las positivas suelen olvidarse) estimadas casi siempre con muy poca base científica y una información muy manipulada, o lo que es casi peor, identificando las presas con determinados regímenes políticos o etapas históricas concretas, cuando la propia Historia demuestra que la necesidad de regular las aguas de España ha sido sentida por todos los que hemos pasado por nuestra tierra.

En el caso de la cuenca del Guadiana, que cuenta con varios embalses muy hiperanuales, es decir, que permiten guardar varias veces la aportación media anual, éstos constituyen importantísimas reservas de agua frente a periodos de sequía como el actual, por lo que a fecha de redacción de estas líneas (marzo de 2006)

ÁMBITO	SUPERFICIE (km ²)	PRECIPITACIÓN MEDIA (mm/año)	APORTACIÓN MEDIA (hm ³ /año)	REGULADO RÉGIMEN NATURAL DEMANDA UNIFORME (hm ³ /año)	CONSUMOS ACTUALES (hm ³ /año)
NORTE Y GALICIA	53.780	1.429	44.157	3.119 (9% A.M.)	2.511
DUERO	78.960	625	13.660	892 (7% A.M.)	3.860
TAJO	55.810	655	10.883	605 (6% A.M.)	4.065
GUADIANA	60.210	537	5.475	51 (1% A.M.)	2.531
GUADALQUIVIR	63.240	591	8.601	132 (2% A.M.)	3.760
TOTAL C. ATLÁNTICAS	312.000	745	82.776	4.789 (7% A.M.)	16.727
SUR	17.950	530	2.351	16 (1% A.M.)	1.350
SEGURA	19.120	383	803	225 (30% A.M.)	1.834
JÚCAR	42.900	504	3.432	924 (34% A.M.)	2.962
EBRO	85.560	682	17.967	2.795 (16% A.M.)	10.378
CUENCAS INT. CATALUÑA	16.490	734	2.787	177 (10% A.M.)	1.357
TOTAL C. MEDITERRÁNEAS	182.020	598	27.340	4.137 (17% A.M.)	17.881
TOTAL PENÍNSULA	494.020	691	110.116	8.926 (9% A.M.)	34.608

TABLA 1

Datos hidrológicos de las cuencas peninsulares (fuente: Arenillas Parra, 2002)

en la cuenca media del Guadiana, que se corresponde aproximadamente con la parte extremeña de la cuenca, existen reservas en los grandes sistemas para casi tres años a los consumos normales.

Pensamos sinceramente que deberíamos estar agradecidos a todos los que, a través de la historia, concibieron y ejecutaron estas obras de regulación, estas “pirámides útiles” como se las ha calificado (Schnitter 1994) reconociendo su carácter de obras “faraónicas” pero frente a ello, añadiéndoles inmediatamente el concepto, tan fundamental y, si nos lo permiten, tan “romano” de la **utilidad**.

PRESAS EN ESPAÑA EN LAS ÉPOCAS ROMANA Y MEDIEVAL

Los conocimientos sobre historia de la climatología permiten afirmar que entre los siglos I a.C. y V d.C. se desarrolló un periodo de clima similar al actual,

con temperaturas algo superiores y precipitaciones ligeramente inferiores, aunque tal vez más regulares, periodo climático al que se conoce como “Episodio cálido romano” (Font Tullot 1988). Por tanto, el marco hidrológico general de la península sería bastante aproximado al antes esbozado.

Evidentemente los consumos globales de agua en la época romana serían muy inferiores a los actuales, por lo que en principio cabría pensar que los romanos podrían haberse conformado con utilizar los caudales fluyentes en régimen natural, y de hecho así debió ser en gran parte del territorio peninsular, sobre todo en el Levante y Sur, zonas donde, como se ha dicho, la regulación natural es importante.

Para tomar aguas de un río que fluye con cierta regularidad, basta con construir una pequeña presa, denominada “azud” que eleve el nivel de las aguas y permita su entrada en la conducción. Estos azudes son



FIGURA 3

Presa de la Virgen del Pilar (fuente: Miguel Arenillas).



FIGURA 4

Presa de Muel (fuente: Miguel Arenillas).



FIGURA 5

Presa de la Pared de los Moros (fuente: Miguel Arenillas).



FIGURA 6

Presa de Consuegra (fuente: Miguel Arenillas).

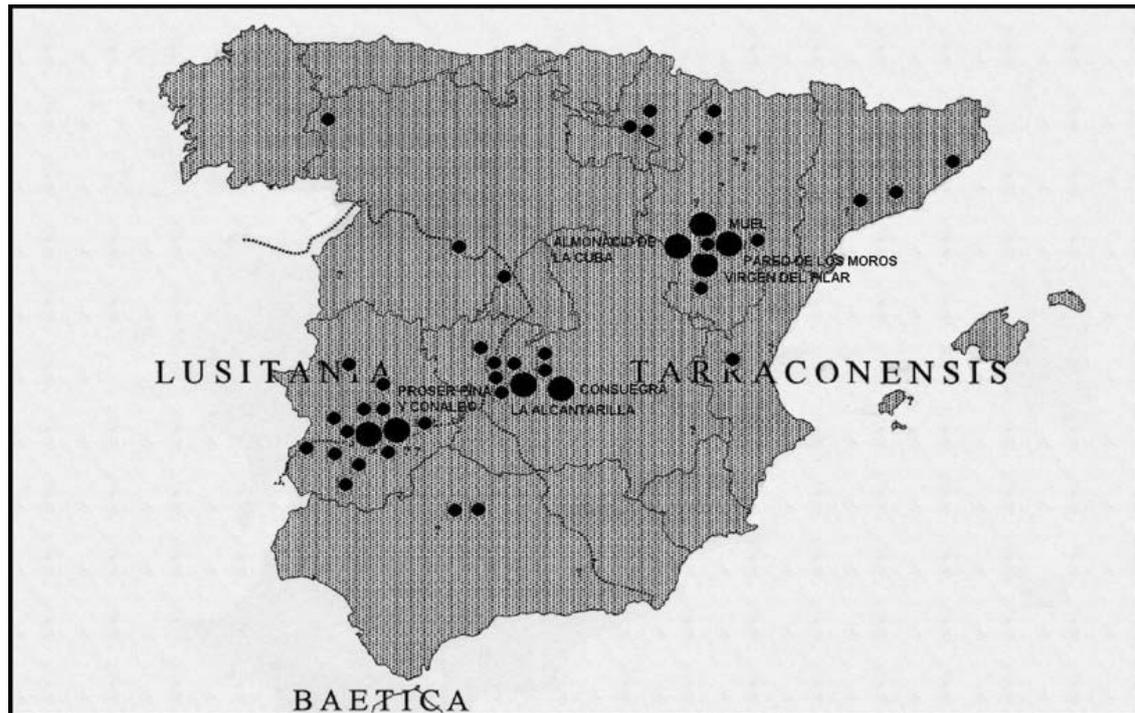


FIGURA 7

Distribución geográfica de las principales presas romanas en España (fuente: J.C. Castillo).

rebasables por el río, y aunque crean un pequeño embalse, su efecto regulador es muy limitado.

Sin embargo, en determinadas zonas la respuesta romana a la baja regulación natural de sus cauces fue la construcción de gran número de presas. Los estudios más actualizados que conocemos sobre el tema (Castillo Barranco 2001; Castillo Barranco y Arenillas Parra 2002) señalan la existencia de 73 presas o azudes de origen romano en territorio español, a las que hay que añadir al menos otras 26 en territorio portugués (Schnitter 1994).

La mayor parte de las presas citadas son pequeñas, y algunas son simples azudes de derivación, aunque entre ellas se encuentran ocho presas de dimensiones importantes, que podríamos denominar “presas romanas principales”, que serían las de Almonacid de la Cuba, Muel, Virgen del Pilar y Pared de los Moros, todas ellas en la cuenca del Ebro (provincias de Zaragoza y Teruel) la Alcantarilla y Consuegra, ambas en la provincia de Toledo, la primera en la cuenca del Tajo y la segunda en la del Guadiana, y las

de Proserpina y Cornalbo, en provincia de Badajoz y cuenca del Guadiana.

Esta ubicación de las presas romanas de mayor tamaño ya nos está marcando los tres núcleos geográficos principales en torno a los cuales se agrupan la mayor parte de las presas romanas en la Península: Zaragoza, Toledo y Mérida.

La ubicación de estos tres núcleos es muy significativa desde el punto de vista hidrológico, según vimos anteriormente, situándose en zonas con regulación natural muy baja, lo cual es claro en las presas del núcleo emeritense, y se aclara más en las zaragozanas y toledanas si especificamos que las primeras se sitúan básicamente en la margen derecha del Ebro, y las segundas en la izquierda del Tajo, o en algún caso incluso en la cuenca del Guadiana.

En el núcleo emeritense tenemos por un lado una serie de presas bastante próximas a la ciudad (Álvarez Martínez, Nogales Basarrate et al. 2002) y por otro, otras presas más dispersas por lo que fue la provincia

romana de Lusitania, entre las que debemos incluir las 21 presas romanas portuguesas situadas al Sur del Tajo (Quintela, Cardoso et al. 1988; Schnitter 1994) que a su vez se agrupan en general en torno a las ciudades de Évora, Beja y Lisboa.

En definitiva, las presas romanas en *Hispania* se ubican precisamente donde más falta hace, con cierta anomalía, quizá, en la cuenca del Guadalquivir, donde tan solo se conocen 4 presas romanas (6% del total) ninguna de ellas de importancia.

Evidentemente, todas estas presas fueron construidas con la finalidad de disponer de agua para uno o varios usos concretos, entre los que destaca el abastecimiento urbano. En la Tesis Doctoral *Tipología y materiales de las presas romanas en España* (Castillo Barranco 2001) tan citada en este artículo, se analizan en detalle 49 de las presas romanas, concluyéndose que 19 de ellas tenían esta finalidad primordial, mientras que de las otras 21 su uso se califica como “rural”, término que puede comprender desde usos claramente agrícolas, como el regadío y el abrevadero de ganado, hasta usos de abastecimiento de pequeños asentamientos rurales o incluso de villas y complejos termales asociados a las mismas.

Resulta también significativo que 5 de las 8 presas romanas “principales” (Muel, Alcantarilla, Consuegra, Proserpina y Cornalbo) tengan como finalidad principal el abastecimiento urbano, mientras que en las otras tres no pueda descartarse el uso de abastecimiento, bien a una población o con mayor probabilidad a un asentamiento rural.

En el siguiente capítulo, trataremos de las presas romanas en el marco de los abastecimientos urbanos, tanto en *Hispania* como en el resto de lo que fue el Imperio Romano.

La evidencia del uso de una presa viene dada, normalmente, por los restos arqueológicos existentes de las conducciones asociadas a la misma, o del asentamiento u explotación abastecido. No obstante, tenemos la suerte de contar con al menos una referencia documental a la relación entre una presa y su conducción, el “Bronce de Agón”, de la época de Adriano, en el que



FIGURA 8

Bronce de Agón, en el museo de Zaragoza (fuente: Fundación Agbar, 2004).

se expone una ley relativa a la explotación y mantenimiento de un sistema hidráulico compuesto por una presa y un canal, que servirían agua para usos agrícolas a varias aldeas (*pagi*) en una zona próxima a Mallén (Zaragoza) donde se conservan varias presas muy antiguas, alguna de las cuales podría ser la aludida.

Se da la circunstancia de que dicho bronce, habitualmente expuesto en el Museo de Zaragoza, pudo ser contemplado durante el pasado verano (2005) en el Museo Nacional de Arte Romano de Mérida en el marco de la exposición AQVA ROMANA (Fundación Agbar 2004).

Dado el gran interés que consideramos que tiene el tema, como única referencia epigráfica conocida a una presa romana en *Hispania*, hemos contactado con el Dr. D. Francisco Beltrán Lloris, autor de un extenso artículo de próxima aparición sobre el tema (Beltrán Lloris 2006) que nos precisa que la citada ley establece las obligaciones de limpieza del canal de riego (*riuuus*) entre las diversas aldeas abastecidas desde su “parte superior en la presa” (*ad molem imam*). Aprovechamos estas líneas para manifestar nuestro agradecimiento a su colaboración.

Sobre el fascinante tema de las presas romanas en *Hispania* se podrían seguir diciendo muchas cosas, sobre las que no hemos tratado (tipologías constructivas, materiales, órganos de desagüe y tomas...) pero

con ello se sobrepasaría nuestro objetivo, que no es otro que el de apuntar datos útiles para determinar la funcionalidad y datación cronológica de las presas emeritenses.

Sin embargo, sí que resulta de gran interés, a dichos efectos, relatar sucintamente la evolución histórica de la construcción de las presas romanas, y posteriormente medievales, en España.

Significativamente, parece que todas las presas romanas “principales” se construyen en la época altoimperial, y como 5 de ellas tienen por uso principal el abastecimiento urbano, este hecho está sin duda relacionado con el auge de los municipios, que precisan unos abastecimientos con importantes consumos de agua. Así, la datación habitualmente aceptada para las presas de Almonacid de la Cuba y Muel (y también la de la Virgen del Pilar, aunque ésta no tuviera como uso principal el abastecimiento) es el siglo I d.C.; mientras que en el siglo siguiente se datarían la Alcantarilla, Proserpina y Cornalbo.

A finales del periodo altoimperial, entre los siglos III y IV d.C.; se datarían tan solo Consuegra y la Pared de los Moros.

Sin embargo, desde mediados del siglo III y sobre todo en el siglo IV d.C. van siendo cada vez más frecuentes las pequeñas presas rurales, hecho sin duda asociado al fenómeno bien conocido por los historiadores de decaimiento de la vida urbana y florecimiento de las villas rurales, mientras que ya no volvemos a tener ejemplos de la construcción de presas de grandes dimensiones, debiéndose esperar para ello hasta el Renacimiento.

Efectivamente, parece que al igual que en otros aspectos, la Edad Media supuso un paréntesis en la construcción de presas en España, que si bien no se interrumpió totalmente, si que se redujo drásticamente, tanto en el número de realizaciones como en la importancia de las mismas (Aguiló Alonso 2002) lo

cual no deja de ser lógico si se tiene en cuenta que las condiciones de cierta inestabilidad tanto en lo político-militar como en lo económico que caracterizan este periodo no son, desde luego, las más adecuadas para acometer el enorme esfuerzo que suponía la construcción de una obra de este tipo.

En este sentido es significativo que de dos “grandes” presas que tradicionalmente se consideraban medievales se haya demostrado su adscripción a otras épocas.

Uno de los casos es la ya citada presa de Almonacid de la Cuba, a la que la tradición atribuía un origen medieval, incluso concretado en la época del rey Jaime I el Conquistador (Smith 1970) pero los estudios, relativamente recientes, llevados a cabo sobre la misma (Arenillas Parra, Cortés Gimeno et al. 2001) han demostrado sin lugar a dudas no solo su origen romano, sino también su probable datación en el siglo I d.C.; como antes se comentó.

El otro es el de la presa de Almansa (Albacete) que tradicionalmente se databa en el siglo XIV por la errónea interpretación de una inscripción en la misma presa en la que se leía el año “1384” pero que parece claro que en realidad se refiere a “1584” es decir plena época renacentista, que es cuando se vuelve a acometer la construcción de presas “grandes” en España.

En sentido contrario tenemos que reconocer que también se habían atribuido a la época romana algunas presas que luego han resultado no serlo, como por ejemplo las presas de Melque (Toledo) con la posible excepción de una de ellas (Melque VI) cuyo origen sí pudiera sea romano (Castillo Barranco 2001). No obstante, se trata de presas por lo general “rurales” y de reducidas dimensiones.

Aunque efectivamente puede resultar relativamente fácil confundir fábricas romanas y medievales, en las presas romanas existe casi siempre, de una u otra forma, el “hormigón romano” u *opus caementitium*¹, muchas veces designado como “calicanto”. Estos

1 De *caementa*, que designa a los trozos de piedra que, junto con el mortero de cal, constituían estos hormigones, lo que actualmente designaríamos como “árido grueso”. Sin embargo, esta voz ha dado lugar a la actual “cemento”, que designa al conglomerante del hormigón.

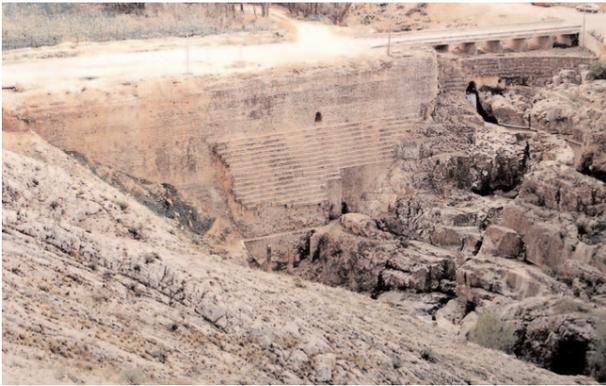


FIGURA 9

Presa de Almonacid de la Cuba (fuente: Miguel Arenillas).

hormigones romanos han sido muy bien estudiados por H.O. Lamprecht, que en su obra cita, como ejemplos de aplicación de este material en presas romanas, las de Proserpina, Cornalbo, Esparragalejo (también cerca de Mérida) y la Alcantarilla (Lamprecht 1996).

Algunas fábricas medievales se pueden asemejar, hasta cierto punto, al hormigón romano, pero la diferencia fundamental es la calidad, en general mucho mayor de éste. Esta calidad deriva no tanto de la mayor pureza de los materiales, o de adiciones de carácter puzolánico a la cal (que conferirían una cierta hidraulicidad a estos hormigones) como de una puesta en obra muy cuidadosa, mediante tongadas horizontales, unidas a veces con finas capas de conglomerante y sobre todo adecuadamente compactadas (Adam 1996) lo que redundaría en una mayor resistencia, durabilidad e impermeabilidad.

En cambio, los calicantos medievales, en general, presentan una calidad inferior, debido por un lado a una compactación deficiente, y por otro probablemente a unas peores características del mortero, tema este último que ya fue puesto de manifiesto por el arquitecto francés del siglo XIX, estudioso de la construcción medieval, Viollet le Duc.

Finalmente, al hablar de realizaciones hidráulicas medievales, no debemos olvidar el importantísimo legado que en esta materia nos dejaron los árabes, auténticos impulsores del regadío sobre todo en el



FIGURA 10

Presa de Almansa (fuente: Aguiló Alonso, 2002).

Levante y Sur de España. Sin embargo, la obra hidráulica árabe por excelencia es la derivación de cauces para riegos (u otros usos) mediante un azud (el origen árabe de la palabra es claro) lo cual es acorde, como ya comentábamos, con el apreciable grado de regulación natural de los ríos levantinos.

Así, los árabes realizan gran cantidad de infraestructuras de regadío, con su toma en azudes en los ríos levantinos y andaluces, incluso en ríos de importancia como el Segura o el Guadalquivir, si bien en muchos casos se ha atestiguado un origen anterior (romano) de estas obras.

En principio, no conocemos en nuestro país grandes obras hidráulicas de regulación atribuibles al periodo de dominación árabe, aunque esta civilización sí que las produjo en otras áreas geográficas (Schnitter 1994). De hecho, por lo que a España se refiere, hay autores que afirman taxativamente que “en ninguna parte de la ingeniería civil árabe figura el embalse” (Aguiló Alonso 2002).

Como conclusión general de todo lo expuesto, creemos que podemos afirmar que la datación hasta ahora atribuida a las presas emeritenses encaja bastante bien con el marco general de lo que se conoce sobre las presas romanas en España, mientras que desde luego, una datación altomedieval plantearía serios problemas con relación a los conocimientos actuales sobre realizaciones en materia de presas en dicha época.



FIGURA 11

Presa de la Alcantarilla (restos del estribo izquierdo) mostrando el opus caementitium que en gran parte la constituye.

LAS PRESAS EN EL MARCO DE LOS ABASTECIMIENTOS URBANOS EN LA ÉPOCA ROMANA

La realización de infraestructuras destinadas a resolver necesidades concretas fue un rasgo característico de la civilización romana, extendido por todo su Imperio.

Cuando se contempla globalmente, pero con cierto detalle, toda esta actividad constructora, se pone de manifiesto la existencia de un equilibrio entre, por un lado, la fidelidad a determinados principios fundamentales, y por otro, una asombrosa capacidad a las circunstancias locales, enormemente variables de unas zonas a otras, y esto es particularmente cierto respecto de las obras hidráulicas, que están supeditadas a las condiciones climatológicas e hidrológicas.

Uno de los primeros y más importantes problemas a

los que se enfrenta el hombre es conseguir agua, elemento absolutamente fundamental para la vida, primero en cantidad y luego en calidad suficiente, y conducirla hasta sus asentamientos. En este sentido, la civilización romana, predominantemente urbana, realizó un esfuerzo sin precedentes en la historia (y que no sería igualado hasta muchos siglos después) para dotar de agua a sus ciudades.

En función de la climatología e hidrología la captación del agua puede ser más o menos complicada. En la propia ciudad de Roma, estas circunstancias son, en principio, bastante favorables, al tener unas precipitaciones medias (en la actualidad) entre los 800-1.000 mm, presencia de terrenos calizos y relieve con cierto desnivel, todo lo cual favorece enormemente la existencia de afloramientos de agua desde el terreno a la superficie, en formas de fuentes o manantiales, y por supuesto de una red hidrográfica bien desarrolla-

da con cauces de caudales importantes. Es decir, estaba asegurada la cantidad de agua.

En cuanto a la calidad de la misma, es evidente que el agua de una fuente o manantial, captada lo más cerca posible de su afloramiento, suele tener, por lo general, una calidad superior a la del agua de un río o un lago. Y decimos “suele tener” porque existen casos en que las aguas de este origen tienen una contaminación de origen natural, al haber incorporado sales disueltas procedentes de los terrenos que ha atravesado desde su precipitación e infiltración hasta su afloramiento.

En España, donde abundan los terrenos salinos fácilmente solubles (yesos, etc.) se da esta circunstancia en alguna ocasión, siendo quizá el caso más conocido el de los manantiales salinos de la zona de los embalses del Guadalorce y Guadalteba (Málaga) que tienen que ser recogidos y trasvasados aguas abajo de los embalses, de forma que no deterioren la calidad de las aguas de éstos, destinada al abastecimiento urbano.

En Roma no parece que se diera este problema con las fuentes y manantiales, y por lo tanto, se tomaba agua, en la medida de lo posible, de esta procedencia, que suele ser un agua clara y limpia, debido al filtrado natural que ha experimentado, mientras que las aguas de ríos y lagos pueden ir turbias, sobre todo en épocas de fuertes lluvias, y son fácilmente contaminables por diversas causas, en especial las de origen antrópico.

Este era un principio general que, efectivamente, era habitualmente aplicado, o intentado aplicar, en los abastecimientos romanos, pero muchas veces ello no era posible, debiendo recurrirse a otros orígenes del agua. Es decir, había que garantizar la cantidad, incluso a costa de perder algo en la calidad del recurso.

Un suministro alternativo bastante evidente son las aguas superficiales, procedentes de ríos o arroyos, e incluso lagos, caso de existir estos. Los romanos utilizaron estos orígenes del agua, incluso en el abastecimiento a su capital como luego veremos. Por supuesto, se intentaba preservar la calidad del agua todo lo posible, por lo que en los cauces naturales la toma solía realizarse por regla general bastante aguas arriba de los mismos, incluso cerca de su nacimiento, siem-

pre que hubiera caudales suficientes y relativamente continuos.

Para captar agua de un río por gravedad resulta preciso realizar una pequeña presa que eleve algo el nivel del agua de forma que una parte de la misma pueda ser derivada, por gravedad, a la conducción. Estas pequeñas presas se denominan “azudes” (los romanos las denominaban, en ocasiones, *saepia*) son rebasables por el río (es decir, éste salta habitualmente sobre ellas) y embalsan una cantidad de agua relativamente pequeña, ya que su función no es la regulación, sino la derivación.

Y finalmente, como vimos anteriormente, en las regiones de clima semiárido o árido en las que los cauces naturales son muy irregulares en cuanto a sus caudales circulantes, transportando a veces agua solo de forma ocasional, se hace preciso acumular y guardar el agua que circula, cuando lo hace, para poder utilizarla posteriormente, y para ello hay que recurrir a las presas que crean un embalse.

Este agua embalsada puede servir para varios usos, pero en ausencia de otra de mayor calidad en cantidades suficientes, lo prioritario es lógicamente el abastecimiento. Seguidamente vamos a exponer los principales casos conocidos de abastecimientos romanos desde azudes o presas.

EL CASO DEL ABASTECIMIENTO DE ROMA

El sistema de abastecimiento romano más conocido es el de la propia Roma, gracias a la obra de Sexto Julio Frontino. Este personaje, de rango senatorial, vivió al final del siglo I e inicios del II d.C. y disfrutó de una importante carrera política (*cursus honorum*) siendo nombrado por el emperador Nerva *Curator aquorum*, cargo que implicaba la responsabilidad sobre el sistema de abastecimiento de agua a la ciudad de Roma.

Nos legó una obra sobre dicho sistema, titulada *De aqueductibus urbis Romae* (Frontino s. II), que constituye nuestra principal fuente de conocimientos sobre los abastecimientos de agua a las ciudades en la época romana.

La urbe llegó a contar con 11 acueductos, 9 de los cuales existían ya en la época de Frontino. Las aguas



captadas por los mismos procedían, por lo general, de fuentes o manantiales, excepto en tres casos; el *Aqua Alsietina* que tomaba del lago *Alsietino* (actualmente Martignano) y los acueductos conocidos como *Anio Vetus*, (época republicana, hacia el 272 a.C.) y *Anio Novus* (comenzado bajo Calígula y terminado bajo Claudio, hacia el 50 d.C.) cuyo origen era, en ambos casos, el río *Anio* (actualmente Aniene).

La calidad de las aguas del *Aqua Alsietina* era, al parecer, bastante deficiente, lo que le hace decir a Frontino (cap. XI) que no entiende que razón pudo tener un emperador tan previsor como Augusto para realizarla. Esta cita se ha utilizado en algún artículo reciente como apoyo de un argumento según el cual, las aguas procedentes de lagos o embalses no podrán ser potables.

Sin embargo, inmediatamente a continuación, Frontino reconoce que, aunque el destino principal de esta conducción es abastecer a la naumaquia, jardines y riegos, en ocasiones había que recurrir a ella para abastecer a las fuentes públicas del barrio del Trastevere (cuando, por reparaciones en los puentes sobre el Tíber, se cortaban las aguas procedentes de los otros acueductos, situados todos ellos en la otra margen del

río). Luego, a pesar de todo, estas aguas se usaban para abastecimiento cuando no había otro remedio.

A título anecdótico, citaremos que la solución definitiva al abastecimiento del Trastevere fue la ejecución, bajo Trajano, de otro acueducto en la margen derecha del Tíber, el *Aqua Traiana*, penúltimo de los grandes acueductos de la Roma antigua.

Respecto a las dos tomas en el río *Anio*, hay que destacar que la cuenca de este río, y en concreto su cuenca alta, fue el origen de cuatro de los acueductos de Roma, ya que además de estos dos, el *Aqua Marcia* y el *Aqua Claudia* tomaban de manantiales afluentes al mismo en su cabecera, encontrándonos aquí una característica que se repite en muchos sistemas de abastecimiento romanos: tomar las aguas lo más arriba posible, en aras de garantizar la mejor calidad de las mismas, aunque ello implicara conducciones de bastante longitud.

Centrándonos en las dos tomas en el propio río *Anio*, cabe destacar que resulta significativo que, a pesar del uso preferente del agua de manantial antes de que las mismas se hubieran incorporado a los cauces naturales, en dos ocasiones históricas fuera preciso recurrir a la toma en uno de dichos cauces para el abastecimiento.

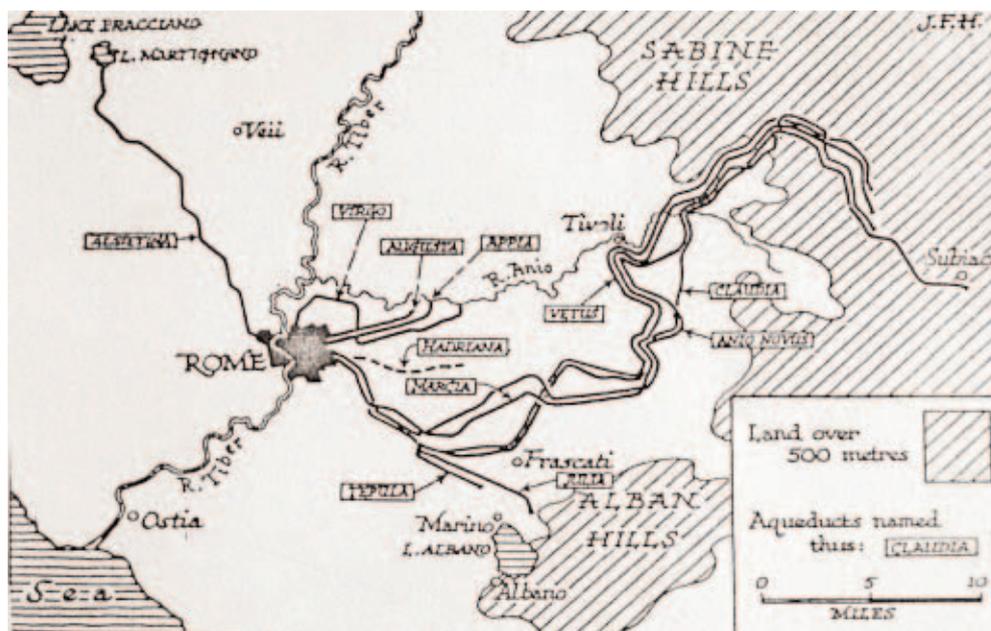


FIGURA 12

Los acueductos de Roma en la época de Frontino (fuente: Fernández Casado, 1985).

to de Roma, lo cual indica que las necesidades hidráulicas de la ciudad llegaron a superar, en ambos casos, las posibilidades consideradas viables en ese momento de utilización de fuentes y manantiales.

Como expusimos anteriormente, se trataba de asegurar la cantidad de agua, aún a costa de perder algo en cuanto a su calidad, lo que está perfectamente expresado por Frontino en su capítulo XCI: “...el *Anio Novus* contaminaba a los demás porque, al llegar a un nivel muy alto y sobre todo con mucho caudal, remedia la insuficiencia de los otros”.

En ambos *Anios* la cabecera inicial del acueducto debía estar constituida por un azud de derivación (Castillo Barranco 2001) según comentamos anteriormente. También comentábamos que un azud no crea un gran embalse, por lo que el agua no es retenida el tiempo suficiente como para que se produzca el principal de los efectos autodepuradores de un embalse: la decantación de los sedimentos arrastrados. Y de ahí la mala calidad de las aguas así captadas, en particular tras épocas de grandes lluvias, que provocan arrastres de material sólido por las aguas del río.

Por ello, en el caso del *Anio Novus*, Trajano ordenó el traslado de su toma hasta un embalse que sí cumpliera esta condición, lo que nos narra Frontino en su capítulo XCIII: “...nuestro Emperador...también entrevió la posibilidad de eliminar las deficiencias del *Anio Novus*. Así dio la orden de abandonar el agua procedente del río y buscarla a partir del lago situado encima de la villa de Nerón, en *Subiaco*, donde el agua es mas clara”.

El citado “lago situado encima de la villa de Nerón” no era, en realidad, un lago natural. Se trataba de tres embalses de apreciable tamaño sobre el río *Anio*, crea-



FIGURA 13

Planta del río *Anio* en la zona de *Subiaco* (fuente: Fernández Casado, 1985).

dos por otras tantas presas, conocidas como las presas de *Subiaco* (Fernández Casado 1985; Schnitter 1994; Malissard 1996).

La construcción de estas presas había sido ordenada por el emperador Nerón, propietario de una gran finca en la zona, para utilizar los embalses con fines meramente recreativos. La construcción de presas para el recreo de monarcas y sus cortes tiene otro ejemplo en España, unos mil quinientos años más tarde, cuando el rey Felipe II ordenó construir la presa de Ontígola (Toledo) por encima de Aranjuez, con esta misma finalidad, proyecto en el que intervino el famoso ingeniero italiano al servicio de los reyes de España, Juanelo Turriano.

Volviendo a nuestro tema, cabe resaltar que nos encontramos ya con la toma de un acueducto romano en una presa de gran tamaño, toma que se realiza precisamente para mejorar la calidad de las aguas de dicho acueducto. Creemos que las implicaciones de este hecho respecto del tema general tratado en este artículo no precisan mayores comentarios.

Las presas de *Subiaco* se emplazaban en cerradas bastante estrechas, por lo que eran estructuras relativamente cortas y altas, alcanzando la mayor de ellas en torno a los 40 metros de altura, lo que la convierte en la presa romana más alta de la que hay noticias. Las tres presas subsistieron, al parecer, hasta el siglo XIV en que fueron destruidas por una riada, quedando escasos restos arqueológicos, y conservándose en el monasterio de *Sacro Speco*, sito en las proximidades, una pintura



FIGURA 14

Pintura medieval del monasterio de *Sacro Speco* (fuente: Fernández Casado, 1985).

en la que aparece representado San Benito de Nursia, pescando en el embalse desde la coronación de una de las presas.

ABASTECIMIENTOS URBANOS DESDE PRESAS EN LAS PROVINCIAS DEL IMPERIO

Dejando aparte a *Hispania*, de la que trataremos en el siguiente apartado, tanto en las provincias del Este como en las del Norte de África nos encontramos con varios casos de presas romanas sobre las que existe un consenso generalizado entre los investigadores del tema en el sentido de que, entre otros posibles usos, estaba indudablemente el del abastecimiento a poblaciones (Fernández Casado 1985; Schnitter 1994).

En el Este podemos citar el suministro de agua a Mísli, cerca de Nigde (Turquía) desde la presa de Boget, el de Mardín (Turquía) desde la presa de Dara Oeste, el de la famosa ciudad de Palmira (Siria) desde

la gran presa de Harbaqua (aunque parece que ésta se utilizaba principalmente para el riego) el de Risafe (Siria) desde la presa de Sele, y el de la importante ciudad de *Cesarea* (Israel) capital de la provincia de Judea, que tomaba el agua desde las dos presas de Maagan mediante un acueducto de unos 5 km.

Cabe comentar que los dos últimos casos citados corresponden a realizaciones que pueden datarse sobre los siglos V a VI, es decir, al final del periodo romano e inicios del bizantino. De hecho, parece que bajo el gran emperador bizantino Justiniano se desarrolló la construcción de numerosas presas en la zona.

Además de los abastecimientos citados a ciudades de cierta importancia, existe constancia de la utilización de presas para garantizar los abastecimientos de fortalezas fronterizas de la zona. Este sería el caso de las dos presas de Lejjun (Jordania) y de las cuatro de Dimona (Israel).



FIGURA 15

Presas romanas de abastecimiento en Oriente Próximo (fuente: elaboración propia a partir de los datos de N. Schnitter).



FIGURA 16

Presas romanas de abastecimiento en el Norte de África (fuente: elaboración propia a partir de los datos de N. Schnitter).

En el Norte de África, granero del Imperio Romano, la mayor parte de las presas tenían como destino principal el riego, aunque existen varios casos de abastecimientos desde presas, debiéndose citar en primer lugar el de la importante ciudad de *Leptis Magna*, cuna del emperador Septimio Severo (actual Labadh, en Libia) en cuyo entorno se ha localizado gran número de presas romanas, dos de las cuales, las de Wadi Lebda y Wadi Caam, abastecían a la ciudad. Además, podemos citar el abastecimiento de Barika (Argelia) desde la presa del mismo nombre, y el de Ighil-Izane (Argelia) desde la de Djidioua.

ABASTECIMIENTOS URBANOS DESDE PRESAS EN HISPANIA

Como vimos anteriormente, en la *Hispania* romana existían numerosas presas, gran parte de las cuales parecen estar asociadas al abastecimiento, tanto de ciudades como de pequeños asentamientos rurales, en este último caso compartiendo este uso con el agrícola.

Citaremos seguidamente los casos que consideramos más importantes de abastecimientos romanos desde presas, dividiéndolos en cuatro apartados. Aunque la distinción entre azud de derivación y presa de embalse pueda ser imprecisa en algunos casos, estableceremos un primer apartado para los suministros urbanos desde azudes de derivación y un segundo para los abastecimientos urbanos desde presas de embalse, con apartados específicos para los casos de Mérida y Toledo. Por último, dedicaremos un quinto apartado a los suministros rurales desde pequeñas presas.

Abastecimientos urbanos desde azudes de derivación

Comenzaremos con el que quizá sea el más famoso acueducto romano en España, el acueducto de Segovia. Su toma se realizaba mediante el azud denominado “de Riofrío”, o “del arroyo Acebeda” en la vertiente norte de la sierra de Guadarrama (Castillo Barranco 2001; González Tascón 2002) y desde allí, en un recorrido de unos 15 km llega a la espectacular arquería de la plaza del Azoguego.



FIGURA 17

Azud de toma del acueducto de Segovia (fuente: Miguel Arenillas).

En este sistema hidráulico se pone claramente de relieve una de las tendencias generales que comentábamos anteriormente, la de captar el agua muy en cabecera de los cauces, buscando seguramente una mayor pureza de las mismas. En efecto, el abastecimiento se podría haber resuelto con una conducción bastante más corta, y todavía con cota suficiente para llegar a la ciudad, tomando desde aguas abajo, por ejemplo en la zona donde actualmente se ubica el embalse de Revenga, que abastece a la actual Segovia.

Tarraco, la actual Tarragona, una de las capitales provinciales romanas de *Hispania*, llegó a contar con dos acueductos, siendo el más conocido el del Francolí, del que forma parte el famoso “Puente del Diablo”. Parece que dicho acueducto no abastecía, por cota, a toda la ciudad, por lo que se realizó una segunda conducción cuya toma, con casi total seguridad, era un azud sobre el río Gaiá, la presa de Pont d’Armentera (Castillo Barranco 2001).

Podemos citar otros dos menos conocidos, como los del abastecimiento de la antigua Pineda de Mar (Barcelona) desde el azud de Ca’La Verda, o el de la *mansio* de Los Bañales, cerca de Sádaba (Zaragoza) desde los azudes del Puente del Diablo y de Puy Foradado (Castillo Barranco 2001).



Otra forma en la que nos encontramos los azudes asociados a abastecimientos urbanos es cuando estos



FIGURA 18

Acueducto de Segovia, arquería de la plaza del Azoguejo.

derivan agua de un arroyo y la conducen mediante un canal alimentador a un embalse de mayor tamaño, creado por una presa en otro cauce distinto. Estos canales alimentadores, además, recogen las aportaciones de la parte superior de la ladera por la que circulan. Se trata de un auténtico trasvase de una cuenca a otra, aumentando así las aportaciones al embalse. Dos ejemplos claros de este caso son el sistema hidráulico de Cornalbo, en Mérida, donde el canal alimentador del embalse tiene su origen en un azud sobre el arroyo de las Muelas, y el de Toledo, donde este origen se sitúa en un azud sobre el arroyo de San Martín de la Montaña.

Además de lo anterior, cabe suponer que el *caput aquae* u origen de gran parte de los acueductos hispanos fuera un azud, aunque muchas veces no queden apenas restos arqueológicos que permitan confirmarlo, situación que puede ser debida a la destrucción de estas estructuras, que por su naturaleza tienen un tamaño relativamente pequeño, por riadas u otras causas, a la ocultación de sus restos por aterramientos o incluso a la sustitución de la obra original romana por otra posterior, que aprovecha las favorables condiciones de ubicación de aquella.

En la tesis de J. C. Castillo se apunta esta posibilidad (toma en azud, o incluso en presa de mayor tamaño) al menos para los acueductos de Barcelona, Chelva, Sagunto y Cádiz (pp. 63 a 77) y se da por segura para

los dos acueductos de *Corduba* (Córdoba, otra de las capitales provinciales romanas) muy bien estudiados por Ángel Ventura (Ventura Villanueva 1996) que establece los puntos de toma principales en cada uno de ellos en sendos arroyos, el arroyo Bejarano y el arroyo Pedroche.

Finalmente, cabe comentar que la toma de un acueducto mediante azud en un cauce podía también ser utilizada en conducciones cuya finalidad fuera distinta del abastecimiento urbano, pudiendo citarse como ejemplo el acueducto de Albarracín a Cella (Teruel) que tomaba de un azud en el río Guadalaviar, cuyo uso se desconoce a ciencia cierta, aunque pudiera haber servido para proporcionar fuerza motriz para el movimiento de molinos (Almagro Gorbea 2002).

Abastecimientos urbanos desde presas de embalse

Parece obligado comenzar citando las conducciones emeritenses asociadas a las presas de Proserpina y Cornalbo, y el abastecimiento romano de Toledo, desde la presa de la Alcantarilla, sistemas de abastecimiento que se tratarán en apartados específicos.

Otros abastecimientos romanos con origen en presas de cierto tamaño, donde además de facilitarse la derivación del cauce sería apreciable el efecto de regulación originado por el embalse, son los de Andelos (Navarra) desde la presa de Iturranduz (Fernández Casado 1985; Castillo Barranco 2001) Consuegra (la antigua *Consaburum*, en la provincia de Toledo) desde la presa del mismo nombre (García-Diego, Díaz Marta et al. 1980; Fernández Casado 1985; Castillo Barranco 2001) o Arevalillo (Ávila) desde la presa del Arévalo (Castillo Barranco 2001).

Gran interés tiene, a nuestros efectos, el abastecimiento de *Olisipo*, la Lisboa romana, que se efectuaba desde los manantiales actualmente conocidos como “Agua Libres”, con una regulación en cabecera realizada mediante la presa de *Olisipo* (Almeida D. 1969; Fernández Casado 1985). Resulta muy sig-

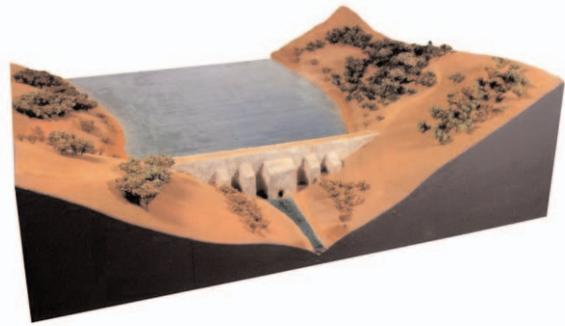


FIGURA 19

Diferente orientación del conjunto del aljibe respecto a la Alcazaba.

nificativo que se considerara necesaria esta regulación de los caudales aportados por los manantiales, antes de su entrada en el acueducto, aún a costa de perder, quizá, algo de calidad original del agua.

Se da la circunstancia de que en época de Felipe II de España, Rey también de Portugal, se estudió la reconstrucción integral del sistema hidráulico, para volver a abastecer a Lisboa. Nuevamente se consideró precisa la regulación, pues las obras comenzaron por la rehabilitación de la presa, proyecto en el que también trabajó Juanelo Turriano. Sin embargo, se abandonó esta por excesivamente costosa, optándose por renunciar a la regulación en cabecera y captar los manantiales directamente. Pero tampoco entonces llegaron los trabajos a buen fin, no restituyéndose finalmente el servicio hasta el siglo XVIII.

Finalmente, citaremos los sistemas de abastecimiento urbano a *Cesar Augusta* (Zaragoza). Se tiene constancia de la aparición de tuberías romanas de plomo en el lecho del río Ebro (Gonzalez Tascón, Vázquez de la Cueva et al. 1994) durante una de las reparaciones del “puente de piedra” a comienzos del XIX, lo que indudablemente indica que el citado puente, de origen romano, era también el *venter* del sifón mediante el cual entraba en la ciudad de un acueducto procedente del río Gállego, cuya captación probablemente fuera un azud, antecesor del existente “azud del Rabal” actualmente dedicado al riego (González Tascón, Vázquez de la Cueva et al. 1994).

No obstante se considera bastante probable la existencia de al menos dos conducciones más, procedentes de la margen derecha del Ebro (Abadía Doñaque 1997) la toma de alguna de las cuales podría estar relacionada con las presas de Muel e incluso, aunque esto parece bastante menos probable, con la de Almonacid de la Cuba (Arenillas Parra, Cortés Gimeno et al. 2001; Castillo Barranco 2001).

Los abastecimientos a Mérida desde Proserpina y Cornalbo

Aunque posteriormente expondremos una serie de datos y argumentos que confirman tanto el uso para abastecimiento urbano como el origen romano de estas presas, expondremos ya brevemente su función dentro de los sistemas de abastecimiento a *Augusta Emerita*.

La Mérida romana llegó a contar con tres sistemas hidráulicos de abastecimiento. El primero de ellos debió ser el de Cornalbo, pero todavía sin el embalse,

obteniendo el agua del subálveo del Albarregas (en otro capítulo se explicará este concepto). Posteriormente se debió realizar la presa para garantizar un mayor caudal en esta conducción.

También se realizaron otros dos sistemas, el conocido como “Rabo de Buey-San Lázaro”, de características similares al inicial de Cornalbo, es decir, captación de aguas subálveas, y el de Proserpina. Las conducciones de estos sistemas, al provenir de la margen derecha del arroyo Albarregas, tenían que salvar el valle de éste sin perder cota, para lo que se recurrió a los monumentales acueductos de San Lázaro y Los Milagros.

Las presas de Proserpina y Cornalbo fueron objeto de una rehabilitación funcional en la primera mitad del siglo XX por los Servicios Hidráulicos del Estado, antecesores de la actual Confederación Hidrográfica del Guadiana, estando actualmente en servicio aunque el abastecimiento de Mérida se resuelve ahora desde otro embalse, el de Alange.

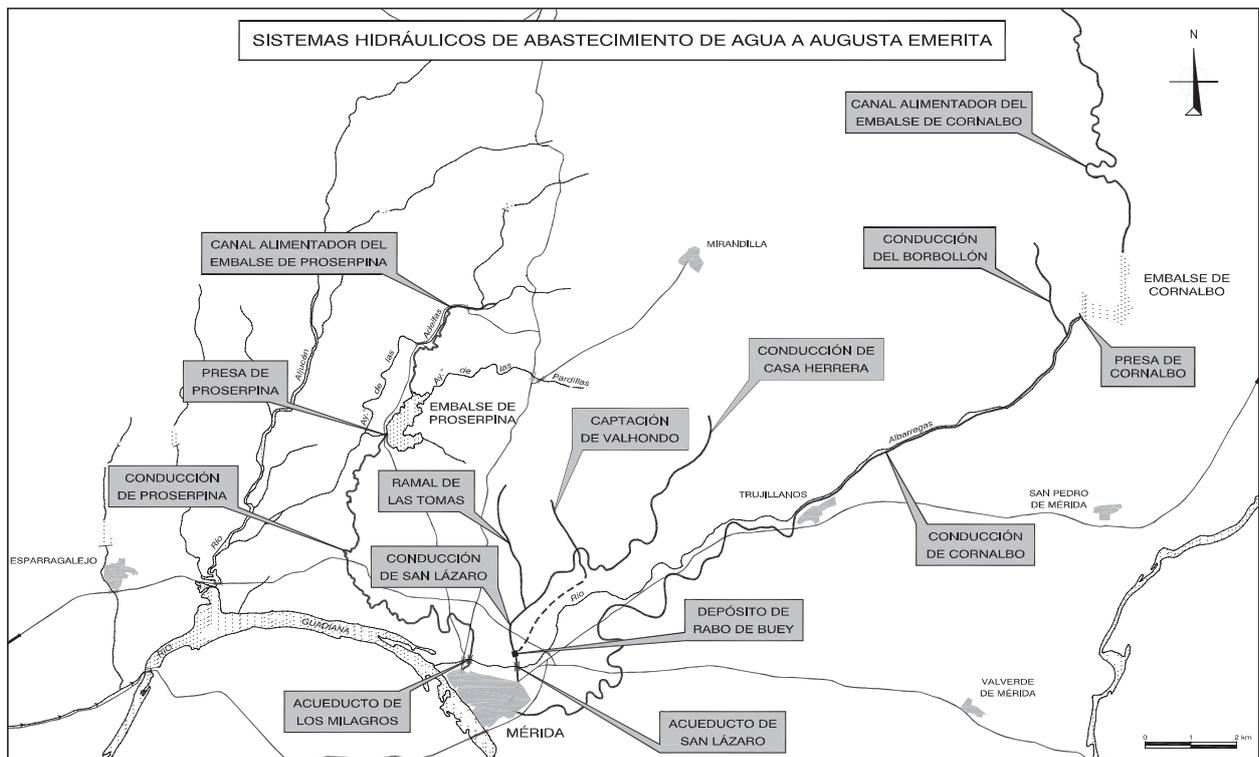


FIGURA 20

Los sistemas hidráulicos de abastecimiento a la Mérida romana (fuente: Miguel Arenillas).



FIGURA 21

Presa de Proserpina desde aguas arriba a embalse vacío (1995).



FIGURA 22

Acueducto de Los Milagros, en la conducción procedente de la presa de Proserpina.

El abastecimiento de Toledo desde la presa de la Alcantarilla

Dedicaremos este apartado a tratar el abastecimiento urbano a *Toletum*, la Toledo romana, desde la presa de la Alcantarilla, por una razón fundamental: la presa de la Alcantarilla presenta enormes similitudes con la de Proserpina (Fernández Casado 1985; Aranda Gutiérrez, Carrobles Santos et al. 1997) de forma que, si se nos permite la expresión, casi podríamos hablar de presas “hermanas”. Por tanto, no podemos tratar sobre una de ellas olvidando a la otra.

Que el origen del acueducto de Toledo es la presa de la Alcantarilla es algo indiscutible, no solo por que

esta es la postura mayoritaria de los autores que desde el siglo XVIII hasta nuestros días han tratado sobre el tema (Aranda Gutiérrez, Carrobles Santos et al. 1997) sino por que los restos existentes permiten establecer, sin que pueda haber la menor duda, que la toma del acueducto se situaba en la presa.

Al igual que Proserpina, la Alcantarilla contaba con dos torres de toma, una cuyos restos son claramente visibles en el estribo derecho de la presa, y otra más profunda, situada en la parte central de la misma. El nivel de destrucción de esta zona central, que además es por donde discurre el cauce del río Guajaraz, hace que la presencia de esta torre profunda no sea evidente (algunos autores no la citan) pero el reconocimiento

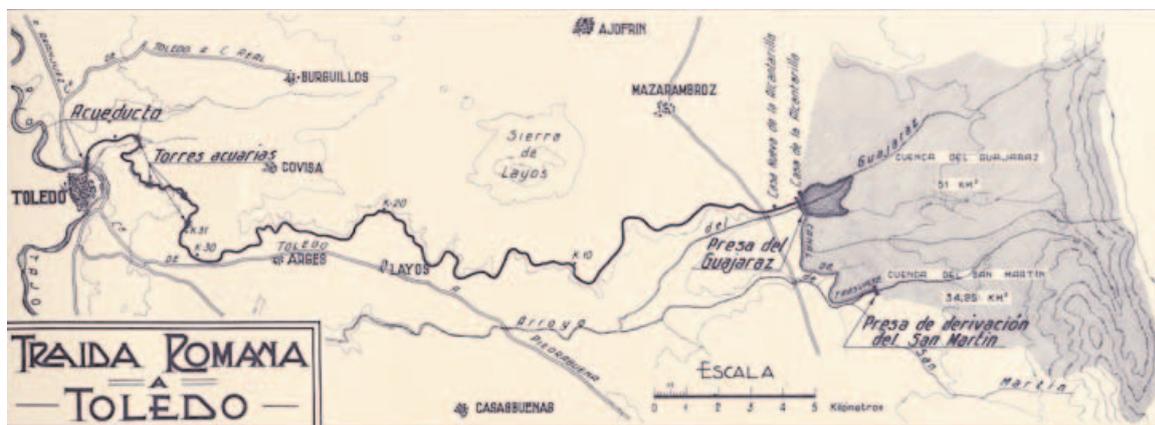
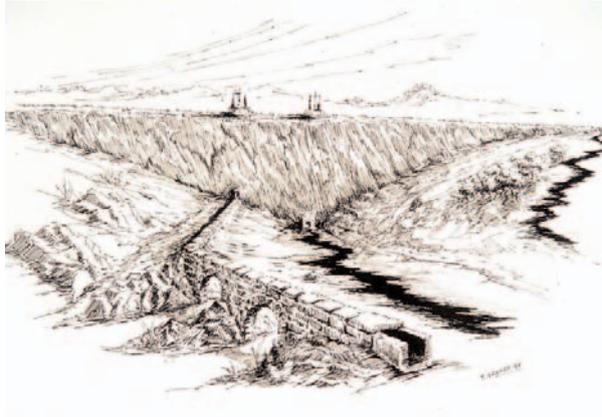


FIGURA 23

El sistema hidráulico romano de abastecimiento a Toledo, según los autores del Proyecto de abastecimiento de aguas a Toledo desde el embalse del Torcón (fuente: M.O.P. 1948).



**FIGURA 24**

*Reconstrucción de la presa de la Alcantarilla desde aguas abajo
(fuente: F. Aranda Alonso).*

detallado de la zona pone de relieve su existencia con casi total seguridad.

En Proserpina, el acueducto debía partir de la torre de la toma alta (en este caso en la margen izquierda) pero por desgracia los primeros restos del mismo no aparecen hasta unos 500 m aproximadamente aguas abajo de la presa. En cambio, en la Alcantarilla los primeros restos de la conducción aparecen mucho más próximos a la torre de la toma alta, y claramente enfilados hacia esta. De hecho, a 180 m aproximadamente de la torre nos encontramos con los restos de dos arcos de una pequeña obra de paso de la conducción sobre una vaguada.

La conducción de Toledo tendría una longitud importante, de entre 30 y 40 kilómetros, y en el extremo final de la misma tenía que salvar el estrecho y profundo valle del río Tajo, mediante lo que se consideraba un acueducto, aunque con total seguridad era realmente un gran sifón cuyas tuberías se apoyaban en un monumental puente (*venter*) de unos 40 metros de altura (Smith 1978; Fernández Casado 1985; Aranda Gutiérrez, Carrobles Santos et al. 1997).

Hay que citar que, desde la puesta fuera de servicio del sistema romano, la ciudad de Toledo padeció de graves problemas para su suministro de agua, que no se resolverían adecuadamente hasta después de 1948

con la entrada en servicio del sistema Torcón (Ministerio de Obras Públicas 1948; Confederación Hidrográfica del Tajo 1999) que toma el agua del embalse de dicho nombre, situado también en la zona de los Montes de Toledo. En 1975 se reforzó el sistema con el embalse de Argés (C.H.T 1999) situado en el mismo río Guajaraz donde se situaba la Alcantarilla, aunque bastante aguas abajo.

Esta situación de la presa de la Alcantarilla en cabecera del Guajaraz hace que tengamos que evocar nuevamente la tendencia romana a captar el agua lo más alta posible. La datación que resulta más probable para el conjunto del sistema hidráulico romano de Toledo sitúa su construcción hacia mediados del siglo I d.C. (Aranda Gutiérrez, Carrobles Santos et al. 1997) y desde luego pensamos que su adscripción a la época romana no puede ponerse en duda.

**FIGURA 25**

*Restos de la torre de toma y estribo derecho de la presa de
La Alcantarilla.*

Finalizaremos este apartado sobre el abastecimiento de Toledo con lo que consideramos que es una excelente noticia. En el primer Congreso de Historia de las Presas, celebrado en Mérida el año 2000 ya pusimos de manifiesto lo lamentable que nos parecía que sobre algunas de las presas romanas más importantes, como era el caso de la Alcantarilla y Cornalbo, no se hubieran desarrollado estudios en profundidad (Aranda Gutiérrez y Sánchez Carcaboso 2002). Como veremos posteriormente, en el caso de Cornalbo los estudios citados ya están en realización, y ahora tenemos la enorme satisfacción de que recientemente (enero de 2006) la Confederación

Hidrográfica del Tajo ha adjudicado la “Asistencia técnica para el estudio y documentación del abastecimiento de agua a Toledo en la época romana”, siendo el adjudicatario la empresa Ingeniería 75, la misma que realizó para la Confederación Hidrográfica del Guadiana los estudios sobre el sistema hidráulico de Proserpina y las otras conducciones emeritenses a los que luego nos referiremos con detalle.

Es de esperar que la realización de dichos estudios arroje nueva luz sobre este importantísimo sistema hidráulico romano y su presa de cabecera, y que de manera indirecta, se mejore además el conocimiento que se tiene sobre los sistemas emeritenses.

Abastecimientos a asentamientos rurales desde pequeñas presas

Muchas de las presas romanas de *Hispania* no están asociadas a una ciudad, sino a pequeños asentamientos rurales. Dichas presas tendrían un uso agrícola, pero es muy probable que también sirvieran para garantizar el abastecimiento de dichos asentamientos.

En efecto, el abastecimiento humano resulta prioritario a cualquier otro uso del agua, y así lo recoge en nuestros días la legislación española al respecto. Por lo que es totalmente lógico que si se disponía de agua para otros usos, se hubieran cubierto antes las necesidades humanas.

Por otra parte, los asentamientos rurales tipo *villae* contaban con frecuencia con lujos tales como establecimientos termales, e incluso fuentes ornamentales en los edificios principales. Todo lo cual originaría un importante consumo de agua, por lo que la garantía de dicho suministro tendría que ser resuelta, en muchos casos, por un embalse.

Como ejemplos bastante interesantes de villas romanas con embalses asociados podemos destacar los casos de la villa del Hinojal, en la dehesa de Las Tiendas, cerca de Mérida (Álvarez Martínez 1976) y de la villa de *Materno* en Carranque (Toledo) (Fernández-Galiano 1998). En ambos casos el edificio principal debió ser sumamente lujoso, con excelentes pavimentos de mosaico, y en el caso de



FIGURA 26

Fuente de Oceanus, en la villa de Materno en Carranque (Toledo).

Carranque una fuente ornamental con un mosaico de *Oceanus*, dios de las aguas.

Podemos citar también el caso de la presa de Esparragalejo (Badajoz) que sin duda abastecía a una villa situada a 1,5 km aguas abajo, que tenía un complejo termal adosado (Gorges y Rico 1999; Castillo Barranco 2001) o el excepcional complejo hidráulico de la villa de Correio Mor (Portugal) en las cercanías de Elvas, que contó con una importante presa (de muro pantalla y terraplén) dedicada al riego y uso pecuario, y un gran depósito a cielo abierto que, mediante *arcuationes*, abastecía de agua a la villa (termas, fuentes, jardines, etc.).

Mención aparte merece el caso de la presa de Las Tomas, muy cerca de la actual ciudad de Badajoz (a la entrada desde Mérida por la antigua Nacional V, detrás de las naves de “Hierros Díaz”). Esta presa está relacionada con la villa del mismo nombre, datada en el siglo IV d.C. (Serra Rafols 1945; Gorges y Rico 1999).

La presa, aunque de un tamaño mucho más pequeño, presenta importantes similitudes con la de Proserpina, hasta el punto de que si en el caso de la Alcantarilla nos permitimos hablar de una presa “hermana”, ahora habría que hablar de una “hermana pequeña”, donde el adjetivo significa tanto “de menores dimensiones” como “más joven”, ya que la datación de esta presa parece corresponderse con la de su yacimiento asociado (Castillo Barranco 2001).



FIGURA 27

Restos de la presa de "Las Tomas" (Badajoz) zona central y torre de toma.

En la presa de las Tomas nos encontramos una única torre de toma adosada al muro de presa, pero a diferencia de Proserpina y la Alcantarilla, no se sitúa embebida en el terraplén, sino hacia aguas arriba.

Sin embargo, existe un detalle constructivo en dicha torre de toma que encontramos exactamente igual en la torre de la toma profunda de Proserpina, que es el refuerzo de los muros de la torre, algo por encima del nivel de su solera, mediante grandes sillares de granito colocados en las esquinas a modo de chaflanes, formando ángulos de 45° con ambos muros.

En cualquier caso, todo parece indicar que la tecnología básicamente aplicada en ambas presas es la misma, por lo demás bastante similar a la de la mayor parte de las presas romanas conocidas en la provincia de Lusitania, tanto en actual territorio español como portugués (Quintela, Cardoso et al. 1988; Castillo Barranco 2001).

LA NECESIDAD DE REGULACIÓN EN LOS ABASTECIMIENTOS DE AUGUSTA EMERITA

Como vimos anteriormente, la cuenca del Guadiana, en la que se encuentra Mérida, tiene el menor porcentaje de regulación natural de todas las cuencas peninsulares, lo que significa que es la cuenca donde resulta más difícil aprovechar los caudales circulantes por sus cauces sin recurrir a una regulación artificial de los mismos.

Pero además, la zona de Mérida presenta unas características geológicas y geomorfológicas que hacen que las fuentes y manantiales sean de caudales bastante escasos, con lo cual el abastecimiento desde los mismos resulta muy problemático en cuanto a garantizar suficientemente los caudales precisos.

Por otra parte, la ciudad de Mérida llegó a contar con un enorme esplendor en la época romana, hasta el

punto de llegar a situarse entre las diez primeras ciudades del Imperio, siendo no sólo la capital provincial de la Lusitania, sino probablemente la capital de la *Diocesis Hispaniarum* a partir de la reordenación provincial de Diocleciano (Arce 1986).

Es evidente que una ciudad de este esplendor debió tener su abastecimiento de agua asegurado, de ahí que llegara a contar con tres sistemas hidráulicos, en dos de los cuales se tuvo que recurrir a una regulación con presas de embalse.

Seguidamente analizaremos por un lado la demanda hídrica, los consumos probables de agua de la ciudad, y por otro las posibilidades de suministro que ofrece el territorio sobre el que se asienta la ciudad, comparando ambas y concluyendo que, al igual que ocurre en nuestros días, sin una adecuada regulación no sería posible proporcionar los caudales precisos.

ESTIMACIÓN DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS EN LA MÉRIDA ROMANA

La estimación de los consumos de agua en las ciudades de la Antigüedad es un problema bastante complejo, pues hay pocos datos documentales, y los que existen no son en absoluto fiables. En efecto, los romanos establecían una asociación directa entre la superficie mojada de una conducción y el caudal, sin considerar el efecto de la variación de la velocidad.

Así por ejemplo, Frontino en su obra sobre los acueductos de Roma nos da unas cifras de caudal, que traducidas a unidades del sistema métrico nos resultan realmente exageradas, pero que hay que tomar tan solo como meramente orientativas por la razón antes citada.

Según estas cifras, los nueve acueductos de Roma existentes en su época transportarían cada día cerca de 1 hm³ de agua (un millón de metros cúbicos) aunque algunos autores actuales hablan de entre 700.000 m³ y 1 hm³ (Trevor Hodge 1985) y otros afirman que no puede cuantificarse nada al respecto (Smith 1978). Cuando existen restos arqueológicos suficientes para establecer una sección tipo y obtener la pendiente de la conducción, lo que es relativamente frecuente, se puede calcular la capacidad de transporte de los acue-

ductos en unas hipótesis medias de funcionamiento, pero asumir sin más que este era el caudal habitualmente aportado por la conducción a la ciudad, como suele hacerse, presupone una disponibilidad continua del recurso que en ocasiones podría no darse.

La estimación de la población de las ciudades también plantea graves problemas, pues cuando existen referencias, estas suelen aludir a los “ciudadanos” en el sentido jurídico del término, olvidando a la gran masa de esclavos y *peregrini* (personas libres sin la ciudadanía) que evidentemente también consumían agua. De hecho, a veces se ha propuesto la utilización precisamente de la capacidad de los acueductos para sacar conclusiones demográficas. Con mayor frecuencia, estas estimaciones se realizan a partir de un estudio de las superficies ocupadas por las ciudades, o incluso de los aforos de los edificios destinados a espectáculos públicos.

Finalmente, la estimación de la dotación por habitante y día, que relaciona los dos datos antes comentados, también resulta muy problemática, pues lógicamente su cálculo precisaría conocer los datos de consumo y población. Con los escasos datos disponibles, y hechas todas las salvedades antes citadas, se obtienen dotaciones realmente muy elevadas, casi exorbitantes, de acuerdo a las normas actuales.

Ante este hecho cabe hacer algunos importantes comentarios. En primer lugar señalar que el uso que se hace del agua viene condicionado, lógicamente, por la mayor o menor disponibilidad del recurso. Si éste está asegurado, su empleo va siendo cada vez mayor, pasándose de la satisfacción de las necesidades primarias al disfrute de lo que podríamos llegar a considerar “lujos”, tales como establecimientos de baños, fuentes ornamentales, riego de huertos y jardines urbanos, etc. Y es bien conocido que las grandes urbes romanas disfrutaron, desde luego, de dichos lujos.

En segundo lugar, la naturaleza de las conducciones romanas, básicamente conducciones en lámina libre (salvo en los sifones, en caso de existir estos) implica un sistema de explotación bastante rígido, en cuanto a que la modificación de los caudales circulantes es compleja, pues supone tener que actuar en

la cabeza de la conducción, que podía estar situada a una gran distancia de la ciudad. Por lo que lo normal sería que el caudal circulante fuera más o menos constante.

De hecho, para la mentalidad romana primitiva, una conducción de agua no debía ser sino el traslado de un manantial desde su situación natural hasta la ciudad. Buena prueba de ello es que el término *ninfeo* designa tanto el edificio destinado a albergar la captación de un manantial en su origen, como los depósitos terminales, con fuentes asociadas, de una conducción. Los manantiales fluyen libremente, luego lo mismo debía ocurrir con los acueductos, incluso cuando el origen de estos ya no eran manantiales.

Por supuesto, los depósitos terminales de las conducciones, donde se hacía una regulación antes de la distribución urbana, y probablemente en muchas ocasiones otros depósitos auxiliares más pequeños para el abastecimiento de barrios o zonas concretas, flexibilizarían en cierta medida la explotación del sistema y disminuirían la cantidad de agua no utilizada.

No obstante, esta debía alcanzar un porcentaje importante de la aportada por la conducción, siendo buena prueba de ello la prescripción que hace Vitrubio (Vitruvio Polión s. I) de que el agua sobrante de los depósitos destinados a termas y a particulares revirtiera al depósito que alimentaba las fuentes públicas. Suponemos que a su vez éste también podría rebosar, o que lo haría a través de las propias fuentes, que en muchos casos debían ser de funcionamiento libre, es decir, que el agua manaba siempre de ellas, se utilizase o no. En cualquier caso el agua sobrante *aqua caduca* se incorporaría al sistema de saneamiento, contribuyendo al mejor funcionamiento de éste.

Finalmente, no debemos olvidar que dado el estado de la tecnología y materiales con los que contaban los romanos, las pérdidas por filtraciones, roturas, etc. en las conducciones y redes de distribución debían alcanzar cifras importantes (Smith 1978) como nos confirma Frontino. De hecho en nuestros días la lucha contra tales pérdidas mediante un adecuado mantenimiento de las redes es uno de los empeños

principales de los encargados de suministros hidráulicos, sean para abastecimiento o para otros usos.

En el caso de Roma, su población se estima que pudo llegar al millón de habitantes (Smith 1978) lo que con los datos de caudal antes citados, supondría una cifra de entre 700 y 1.000 litros por habitante y día (l/h-d) cuando para grandes ciudades del tamaño de Madrid, en la actualidad se manejan dotaciones en torno a los 400 l/h-d.

En el caso de *Toletum*, Rey Pastor estimó la población en unos 20.000 habitantes a partir de los restos arqueológicos de los edificios de espectáculos (circo y anfiteatro) y dado que la capacidad de la conducción se estima en 100 litros por segundo (l/s) que podrían ser habitualmente proporcionados sin problemas por la presa de la Alcantarilla (Aranda Gutiérrez, Carrobbles Santos et al. 1997). Suponiendo un funcionamiento continuo de la misma, la dotación resultante es de 432 l/h-d.

Recientes estudios realizados sobre el acueducto de Nimes (Fabre, Fiches et al. 2005) del que forma parte el famoso Pont du Gard, estiman su capacidad en 400 l/s, que en este caso coincide con el caudal medio de los manantiales captados, y puesto que la población se estima en 50.000 habitantes, resulta una dotación de 690 l/h-d.

La capacidad media de los acueductos de *Corduba* ha sido evaluada por Ventura (Ventura Villanueva 1996) en un total de aproximadamente 380 l/s y la población, según el mismo autor, podría ser de entre 23.000 y 50.000 habitantes, resultando dotaciones de entre 1.400 y 660 l/h-d. Sin embargo, en este caso dudamos mucho de que los acueductos pudieran proporcionar en continuo los caudales indicados en muchas ocasiones, no desde luego por su capacidad, sino por la falta del recurso hidráulico en épocas de escasez de precipitaciones.

De hecho, el propio Ventura recoge en su obra que el año 1905, al parecer extremadamente seco, tan solo se aforaron un total de 22,15 l/s entre el arroyo Bejarano, origen como vimos de uno de los acueductos cordobeses, y otros manantiales afluentes a esta conducción, cuya capacidad media se cifra sin embargo en 250 l/s.

CIUDAD	Nº HABITANTES	Nº ACUEDUCTOS	CAUDAL (l/s)	CAUDAL (m ³ /día)	DOTACIÓN (l/h-d)
ROMA (hip.1)	1.000.000	9	11.574	1.000.000	1.000
ROMA (hip.2)	1.000.000	9	8.102	700.000	700
TOLEDO	20.000	1	100	8.640	432
CORDOBA (hip.1)	23.000	2	380	32.832	1.400
CORDOBA (hip.2)	50.000	2	380	32.832	660
POMPEYA	8.000	1	75	6.480	810 - 500
NIMES	50.000	1	400	35.000	690
LYON	-	4	760	76.000	-
CHERCHELL	-	1	460	40.000	-
TRIER	-	1	300	25.450	-

TABLA 2

Capacidad de las conducciones de diversas ciudades romanas y dotación teórica resultante.

Respecto a otras ciudades romanas, podemos señalar que Ventura cita en su obra un estudio sobre el acueducto de Pompeya de Eschebach (Eschebach 1983) que atribuye a Pompeya 8.000 habitantes y a su acueducto 75 l/s, con lo que resultarían estrictamente 810 l/h-d, aunque luego se reduce esta dotación hasta los 500 l/h-d.

No se habla de dotación, aunque sí de caudal en otras ciudades, entre las que podemos destacar *Lugdunum* (Lyon) capital provincial abastecida por cuatro importantes acueductos, que en conjunto podrían aportar hasta 760 l/s, Cherchell (Argelia) con 460 l/s o *Treveris* (actual Trier, en Alemania) con casi 300 l/s.

La conducción de Cornalbo, o “*AQVA AVGUSTA*” presenta una importante sección, con dimensiones medias de 0,7 x 1,2 m² (ancho x alto) y una pendiente media del 3 por mil, por lo que inicialmente parece que podría tener una capacidad² muy considerable, incluso superior a un metro cúbico por segundo (1.000 l/s).

Sin embargo, cabe hacer dos precisiones de importancia. La primera de ellas es que del inventario arqueológico realizado con ocasión del estudio de

caracterización de las conducciones realizado por la Confederación Hidrográfica del Guadiana (C.H.G. e Ingeniería 75 1997) se deduce que el revestimiento de *opus signinum* no supera los 0,6 metros de altura en los restos encontrados, por lo que normalmente el agua no debía superar dicho calado.



FIGURA 28

Restos de la conducción de Cornalbo en Mérida, junto a la travesía de la N-V.

La segunda es que aunque la pendiente total de la conducción es la indicada, la misma presenta dos tramos

2 Los cálculos de capacidad hidráulica de las conducciones se han realizado aplicando la fórmula de Manning, con un coeficiente $n=0,017$ (revestimiento de *opus signinum* con algo de deterioro) y considerando cierto resguardo, estimado en un 10% del calado máximo.

de pendientes diferenciadas, una primera en que la pendiente es mayor, mientras la conducción va siguiendo el cauce del Albarregas, y seguramente drenando su subálveo (hasta Trujillanos, aproximadamente) y otra inferior en adelante, que lógicamente resultaría limitativa en cuanto a capacidad, y que dado que en el estudio citado se estima de “entre el tres y el uno por mil” podemos adoptar para el cálculo un valor de 1,5 milésimas. Con todo ello resulta un caudal de 300 l/s, que desde luego consideramos una cifra bastante más aproximada a la capacidad real de esta conducción.

Respecto de la conducción de Rabo de Buey-San Lázaro, su tramo final entre los arcos de la Godina y el acueducto de San Lázaro, por donde debían circular todas las aportaciones recogidas por sus ramales (Las Arquitas y Casa Herrera) tiene unas dimensiones medias de 0,6 x 0,6 m² (ancho x alto) y una pendiente media del 2 por mil, por lo que puede estimarse un caudal de 280 l/s, siempre y cuando, la conducción pudiera captar este agua.

Finalmente, la conducción de Proserpina presenta unas dimensiones medias de 0,6 x 0,8 m² (ancho x alto) y una pendiente media, bastante baja, de tan solo el 0,35 por mil, por lo que puede estimarse un caudal de 150 l/s.

La población máxima de *Augusta Emerita* se estima por parte de diversos autores que pudo alcanzar unos 30.000 habitantes, valor que consideraremos para el cálculo de dotaciones.

Teniendo en cuenta que la conducción de Cornalbo se considera, de forma unánime, la primera de todas, y desde luego, por su cota de entrada, es la única capaz de abastecer a todas las zonas de la ciudad, parece que debemos considerar la posibilidad, al menos inicial, de un abastecimiento con esta única conducción, con la que ya se conseguiría una dotación de 864 l/h-d, que aunque elevada, encaja en los órdenes de magnitud antes citados, pero ello siempre y cuando, insistimos, existiera agua en cantidad suficiente para poder ser captada.

730 l/s, o en dotación 2.102 l/h-d, cifra absolutamente desorbitada, que duplica el límite superior de las antes citadas, pero que adelantamos ya que no se pudo dar nunca, al no haber agua disponible nada más que para aproximadamente un 14% de este caudal, como veremos en el siguiente apartado, lo cual nos está indicando que las dos conducciones posteriores a la de Cornalbo, así como la presa de cabeceira de ésta, no constituyen sino intentos de asegurar unas disponibilidades mínimas de agua, que estaría limitada no por la capacidad de transporte de las conducciones, sino por la dificultad de su obtención, en particular en años secos.

EL ORIGEN DEL AGUA DE SUMINISTRO DE LA MÉRIDA ROMANA

Para evaluar las posibilidades de suministro hidráulico a *Augusta Emerita*, debemos comenzar por estudiar las condiciones en cuanto a hidrología superficial y subterránea de su entorno, que a su vez son consecuencia fundamentalmente de la climatología, la geología y la topografía del terreno.

Según la clasificación de Koppen, el clima de Mérida puede calificarse en el grupo Cs, cuya descripción es “mesotermal templado húmedo, con verano seco e invierno lluvioso”. Según la clasificación de Martonne sería “Mediterráneo seco” y según el índice termoplumiométrico de Cereceda y Carbonell, la zona debe calificarse como “árida”.

En cuanto a precipitaciones medias anuales, el entorno de Mérida se sitúa básicamente entre las isoyetas correspondientes a 500 y 600 mm, más cerca de la primera. La media histórica registrada en las estaciones meteorológicas de las presas de Montijo, Proserpina y Cornalbo es respectivamente de 505, 532 y 525 mm. La evaporación en lámina libre en los embalses citados alcanza valores importantes, cercanos a los 1.200 mm anuales. Los valores extremos alcanzados en las series históricas de precipitación de las presas citadas son de máximos algo inferiores a los 900 mm, y mínimos algo superiores a los 200 mm.

Este último dato ya nos está dando una idea de la enorme irregularidad de las lluvias que pueden caer



Con los otros dos acueductos en funcionamiento a su capacidad teórica antes indicada, se alcanzarían los

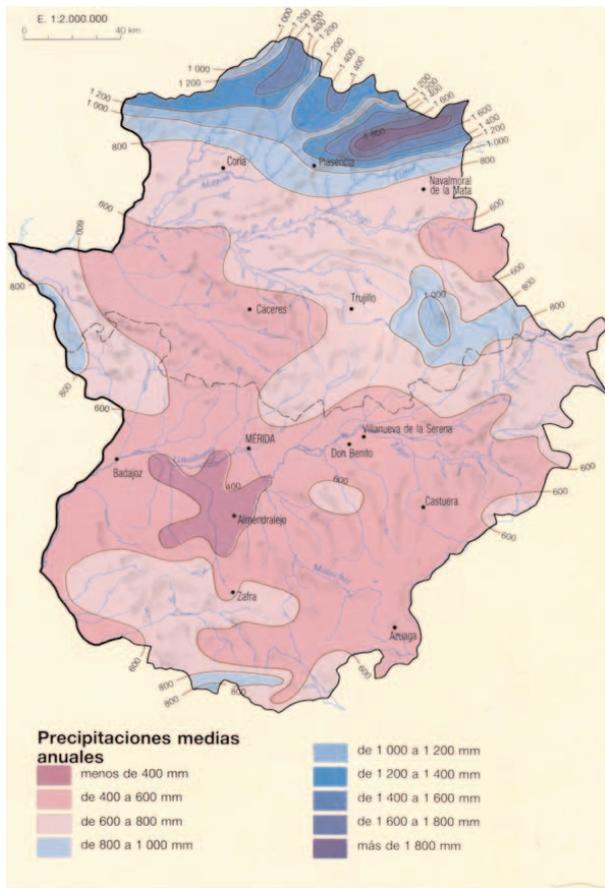


FIGURA 29

Precipitaciones medias anuales en Extremadura (fuente: Gran Atlas de España).

sobre la zona de unos años a otros, irregularidad interanual que se superpone a la importante diferencia existente dentro de un mismo año entre la estación húmeda y la seca.

Si las formaciones geológicas que constituyen la base del terreno sobre el que se producen estas precipitaciones tuvieran una permeabilidad suficiente, la escorrentía subterránea podría tener cierta importancia, y compensar de alguna forma estas irregularidades, gracias a la acción reguladora del propio terreno. Sin embargo, ya vimos que con carácter general en la cuenca del Guadiana no era así, y como veremos, la zona de Mérida no es una excepción.

Efectivamente, desde un punto de vista geológico podemos afirmar que en la zona sur del occidente

peninsular, el dominio de las formaciones del Paleozoico Inferior es casi completo, estando estas constituidas fundamentalmente por extensos pizarrales, alineaciones de cuarcitas, batolitos graníticos o granitoides por lo general bastante arrasados, y únicamente algunas calizas. Sobre dicha base rocosa, se disponen con frecuencia sedimentos terciarios formados por materiales detríticos, arcillosos, arcósicos y a veces margosos, y finalmente los cuaternarios, fundamentalmente aluviones en los cauces y vegas de los ríos importantes.

En definitiva, se trata de materiales bastante impermeables, como las pizarras, granitos y dioritas, que tan solo ofrecen paso al agua por sus diaclasas o fracturas, o como las arcillas, que se saturan de agua con mucha lentitud. Cuando estas arcillas alcanzan potencias de cierta importancia, como en la vecina comarca de Tierra de Barros, sí pueden tener un cierto efecto de regulación natural con ciclos de saturación y posterior drenaje, pero la velocidad de circulación del agua en las mismas es tan reducida que los caudales aportados son siempre muy pequeños.

Las calizas constituyen una excepción, pero su presencia en la zona es reducida, pudiendo citarse en las proximidades de Mérida tan solo el área de la sierra de Carija y su continuación hacia el Lácara.

Otra excepción la constituyen los sedimentos detríticos, que al estar constituidos muchas veces por tamaños relativamente gruesos, sí pueden ser bastante permeables, generando acuíferos de cierta importancia. Pero dada la situación de estos sedimentos, casi siempre asociados a cauces fluviales, estos acuíferos son en realidad subálveos, es decir, están comunicados con las aguas superficiales del cauce.

Por tanto, nuestros ríos presentan enormes diferencias de caudales circulantes, no solo entre los meses húmedos y los secos, sino de unos años a otros. Un ejemplo cercano y significativo de esta situación lo tenemos en la cuenca del río Machel, afluente del Guadiana por su margen izquierda, regulado cerca de su desembocadura en éste por la presa de Alange, con unos 2.500 km² de cuenca. La aportación media resultante de los casi quince años de explotación del



FIGURA 30

Principales acuíferos en Extremadura, apreciándose que la zona de Mérida carece de estos (fuente: Atlas Nacional de España).

embalse es de unos 180 hm³, con máximos de cerca de 500 hm³ el año hidrológico³ 1997-1998 y mínimos de aportación prácticamente nula el 1994-1995.

La naturaleza bastante impermeable de la mayor parte de las formaciones que constituyen el terreno del área de Mérida tiene asimismo como consecuencia la no existencia de manantiales caudalosos en la zona. Por supuesto, existen numerosas fuentes y manantiales que corresponden a puntos de drenaje natural de las aguas previamente infiltradas en el terreno, pero su caudal es pequeño, por la razón antes indicada de la impermeabilidad y además por que la configuración geomorfológica del terreno, con pendientes por lo general suaves y desniveles moderados, no favorece tampoco la existencia de grandes cuencas subterráneas cuyas aguas confluyan en una zona para aflorar al terreno.

De hecho, en su mayor parte, el drenaje de los terrenos debe producirse en forma difusa a los subálveos, de donde, una vez rellenos estos, pasaría en su caso, a los cauces superficiales.

Cerca de Mérida pero en la margen izquierda del Guadiana se sitúa la localidad de Alange, donde se

ubican los manantiales más célebres en la zona, que también son quizá los más caudalosos, uno de ellos da origen al famoso balneario, en el que se conservan dos piscinas originales romanas, y el otro a la “fuente de la Jarilla” cuyas aguas son apreciadas por los vecinos de la comarca como de gran calidad.

Pues bien, el caudal del manantial del balneario es tan solo de 5,3 l/s, y el de la fuente de la Jarilla de 2 l/s, lo que ilustra perfectamente nuestra aseveración de que no existen manantiales caudalosos en la zona.

En un reciente artículo sobre estos temas, se cita la fuente de la Jarilla, comentándose que aún en la actualidad la gente hace cola para llenar recipientes con sus aguas, y afirmándose que sin duda los romanos no la condujeron a Mérida al estar en la otra margen del Guadiana.

Este último razonamiento contrasta desde luego con muchas realizaciones romanas que conocemos, donde la presencia de ríos o valles importantes no fue obstáculo para pasar las conducciones al otro lado, como en los casos que antes citamos del cruce del Tíber para abastecimiento del barrio del Trastevere en Roma, el del Ebro en Zaragoza o del Tajo en Toledo. En Mérida el cruce del Guadiana se hubiera resuelto con facilidad utilizando como “*venter*” el monumental puente sobre el Guadiana, sin más que disponer en el mismo unas tuberías de plomo.

Por lo tanto, lo que evitó el empleo de este manantial para abastecimiento de Mérida fue lo escaso de su caudal, que por cierto es lo que motiva las colas de gente para coger agua en la fuente a las que se refiere el citado artículo.

Volviendo a Mérida, en lo que no cabe pensar en absoluto es que los caudales teóricos de las conducciones de Proserpina y Cornalbo (sobre todo el de esta última) ni tan siquiera una fracción importante de los mismos, pudiera ser proporcionada por manantiales, manantiales por otra parte cuya existen-

3 En hidrología se utiliza en vez del año natural el año hidrológico, comprendido entre el 1 de octubre de un año y el 30 de setiembre del siguiente.

cia es desconocida, no apareciendo ninguno cuando ambos embalses han estado vacíos (año 1995). Podría objetarse que era una época de prolongada sequía, por lo que los manantiales podrían haberse secado, pero ello nos daría la razón de que es imprescindible una regulación de las aguas.

Tenemos que concluir que el abastecimiento desde manantiales, aunque fuera la solución más deseable, sencillamente no era posible en la Mérida romana, ni lo es en la actual, debido a la población y a sus necesidades.

Sí era posible, en cambio, utilizar las aguas de los subálveos. Para poder aprovechar el agua de éstos en la época romana, se realizó el sistema hidráulico de Rabo de Buey-San Lázaro, compuesto por una serie de galerías subterráneas dispuestas sensiblemente bajo cauces superficiales, que van drenando el subálveo de estos, y a la vez transportando las aguas recogidas. Merece la pena que dediquemos algún espacio a este interesante sistema hidráulico, pues nos aportará datos determinantes para estimar los caudales suministrados a la Mérida romana.

El sistema constaba de dos ramales, conocidos como “las Arquitas”, así llamado por los brocales de los pozos de registro (*spiramina luminaria*) de la conducción (también se conoce a este ramal como “las Tomas”) y “Casa Herrera”, existiendo ciertas dudas sobre la posible existencia de un tercer ramal, “Valhondo”, aunque parece que éste es del siglo XIX⁴. Estos ramales finalmente se reunían y salían a la superficie en la zona conocida como los “arcos de la Godina”, entrando en la ciudad para lo cual debía salvarse el valle del Albarregas mediante el antiguo acueducto romano de San Lázaro. La longitud total de todos los ramales era de unos 13 kilómetros.

Este sistema ha permanecido en funcionamiento hasta nuestros días. A principios del siglo XVI fue preciso realizar un nuevo acueducto para cruzar el

Albarregas en sustitución del romano, cruce que en realidad no se realizaba en lámina libre sino en presión, no siendo el acueducto sino un soporte de las tuberías de un sifón (lo que los romanos denominaban *venter*). Estas tuberías, embebidas en la fábrica del acueducto, no solo discurrían por la parte superior del mismo, sobre el nivel de las arcadas, sino por la inferior, como ha podido comprobarse recientemente (febrero de 2006) en los trabajos de apertura de un paso peatonal en el acueducto llevados a cabo por la Confederación Hidrográfica del Guadiana, lo que a nuestro juicio evidencia la necesidad de restituir lo más rápidamente posible el servicio de abastecimiento, durante las obras del acueducto-sifón.

En el siglo XIX se realiza una limpieza y acondicionamiento del ramal de las Arquitas, así como un nuevo depósito terminal (depósito de Rabo de Buey) que abastecerá a las fuentes públicas de Mérida hasta mediados del siglo XX. Los aforos efectuados entonces arrojan unos 600.000 litros de agua diarios, que corresponden a un caudal continuo de 7 l/s.



FIGURA 31

Galería del ramal de “las Arquitas” o “las Tomas”.

4 A nuestros efectos esta cuestión carece realmente de importancia, pues la parte de la cuenca del arroyo Valhondo situada por encima del nivel del ramal de Casa Herrera debía ser captada por éste.

**FIGURA 32**

Tuberías encontradas en el acueducto moderno (S. XVI) de San Lázaro durante las obras de apertura de un paso peatonal en el mismo.

En el año 2003, dentro del marco de las obras de defensa contra avenidas del arroyo Albarregas, la Confederación Hidrográfica del Guadiana rehabilita el depósito terminal del siglo XIX y lo conecta con la red de riego de los grandes parques realizados con estas mismas obras en las márgenes del tramo urbano del arroyo.

Durante esta última operación se manejan aforos realizados en la conducción, que cifran su caudal máximo en unos 3-4 l/s, muy constantes gracias a la regulación natural proporcionada por el terreno. Evidentemente, el estado actual del sistema no es el óptimo, presentando diversas fugas (algunas de ellas aprovechadas por la población para usos como el lavado de coches) y siendo probablemente las aportaciones del ramal de Casa Herrera casi nulas, dado el gran deterioro del mismo.

Estos datos nos pueden servir para realizar unas estimaciones aproximadas, pero de gran interés al ser los únicos datos cuantitativos disponibles, sobre las aportaciones de los sistemas hidráulicos romanos. A la vista de los aforos actuales, cabe fijar la aportación del ramal de las Arquitas en 5 l/s, supo-

niendo que los otros 2 l/s de aportación del sistema en el siglo XIX provenían del ramal de Casa Herrera, que estaría en una situación de deterioro avanzado, aunque todavía no total, y que no se restauró.

Se ha calculado la superficie de la cuenca del arroyo de las Arquitas, que resulta ser de 5,20 km², con lo que obtenemos una aportación específica cercana a 1 l/s por km². Igualmente se han calculado las cuencas susceptibles de ser captadas por el ramal de Casa Herrera (corresponden a partes de los arroyos de Valhondo, La Magdalena y pequeñas vaguadas afluentes al arroyo Casa Herrera) resultando una superficie total de 11,21 km², que con la aportación específica antes citada, representarían 10,78 l/s.

Por tanto, cabe pensar en un caudal total para el sistema Rabo de Buey-San Lázaro de casi 16 l/s, que representa una fracción de tan solo un 6% aproximadamente de su capacidad máxima teórica, que como vimos era de 280 l/s.

La importante magnitud de la obra realizada para conseguir tan solo unos pocos litros por segundo, y el hecho de que estos exigüos caudales hayan sido objeto de un uso permanente en la historia ya nos están indicando claramente las dificultades que ofrece el obtener agua adecuada para abastecimiento en el área de Mérida.

Esta solución de drenaje de los subálveos mediante galerías fue adoptada también en el origen de la conducción de Cornalbo, probablemente antes de la construcción de la presa, existiendo todavía un ramal (el Borbollón) que se conecta a la conducción principal, y especulándose con la posibilidad de que bajo lo que luego fue el embalse existiera previamente otro (Martín Morales, Arenillas Parra et al. 2000) así como que esta conducción, al ir en un primer tramo subterránea y siguiendo aproximadamente el cauce del Albarregas, captase el subálveo y posibles aportaciones de éste. (C.H.G. e Ingeniería 75 1997).

Suponiendo que fuera así, que nos parece lo más probable, dada la proximidad geográfica, podemos

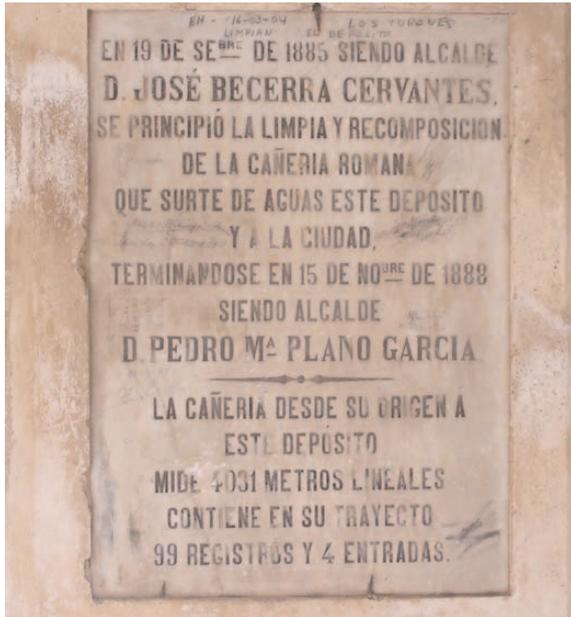


FIGURA 33

Depósito de Rabo de Buey. Lápida conmemorativa de la rehabilitación del ramal de Las Arquitas en el siglo XIX.



FIGURA 34

epósito de Rabo de Buey. Caudal aportado actualmente por el ramal de Las Arquitas (3-4 l/s).

extrapolar los datos de aportación específica antes manejados para la conducción de Rabo de Buey-San Lázaro a la de Cornalbo.

Aproximadamente hasta Trujillanos, esta discurre subterránea y próxima al Albarregas, por lo que consideraremos como cuenca de aportación de la misma la del Albarregas en esta localidad, que es de 32,00 km² (aquí se incluye la aportación del Borbollón).

Desde este punto hasta Mérida, la conducción sigue básicamente enterrada (excepto en las vaguadas, como la del Hospital Psiquiátrico) pero a media ladera, por lo que solo podría recibir aportaciones de la zona superior, estimada en otros 7,00 km². Por tanto, cabe pensar en una superficie de aportación total de unos 39 km² para toda la conducción, que aportarían un caudal de 37,5 l/s, lo que no supone más que un 13,4 % de la capacidad de la conducción, que como vimos llegaba a los 280 l/s.

Estando, como vemos, muy limitado el abastecimiento con aguas subálveas, no quedaba otro remedio que recurrir a las superficiales.

Sin embargo, el empleo de éstas no era fácil. El propio Guadiana o sus afluentes principales no debieron ser considerados, pues presentaban problemas de varios tipos: de calidad, ya que sus aguas en avenidas debían venir muy turbias, de cota, ya que habría que captar sus aguas muy aguas arriba de la ciudad para dominar totalmente ésta, y constructivos, ya que sería preciso construir un azud para la derivación, y ya vimos que, en general, se evitaba la construcción de estas obras en ríos caudalosos.

Por tanto, se recurrió a arroyos mucho más modestos, como el Albarregas en su cabecera, donde ya se habían obtenido aguas subálveas, y sin duda comprobado su insuficiencia, y el arroyo de las Pardillas, arroyos con caudales pequeños y que sin duda buena parte del año llegarían a ir secos, pero que veces llevarían bastante agua, que sí podía ser retenida y almacenada, luego podría ir siendo aportada a la conducción para su uso en la ciudad.

Además, en ambos casos, la superficie de las cuencas de aportación de ambos embalses fueron aumentadas en gran medida mediante el empleo de canales de alimentación que trasvasaban agua de otras cuencas

**FIGURA 35**

Pozo de registro de la conducción del Borbollón, tributaria de la de Cornalbo.

colindantes. Así, Proserpina tiene una cuenca propia de 9,81 km², a la que hay que añadir otros 15,24 km² de cuenca trasvasada, cifras que en Cornalbo son de 6,7 y 19,8 km², respectivamente.

Dado que ambas presas de Cornalbo y Proserpina llevan más de cincuenta años en explotación por la Confederación Hidrográfica del Guadiana, existen series históricas de datos que nos permiten examinar, aunque sea a muy grandes rasgos, y desde luego hablando siempre de valores medios, la hidrología y posibilidades de cada uno de estos dos sistemas.

La aportación media anual de Proserpina viene a ser de unos 1,5 hm³, con unos gastos propios en el embalse por evaporación y pérdidas en torno a los 0,6 hm³. La capacidad de embalse en la época romana debía ser similar a la actual, alrededor de los 5 hm³ de los que 4 hm³ serían útiles, por lo que el embalse funcionaría como hiperanual. Con este volumen de embalse sería posible habitualmente derivar la diferencia entre las aportaciones y el gasto propio, resultando un volumen anual aprovechable de 0,9 hm³, lo que supone un caudal continuo de unos 28 l/s, que corresponde a un 19% de la capacidad teórica de la conducción.

El embalse de Cornalbo ofrece valores bastante similares. La aportación igualmente está en el entorno de los 1,5 hm³, mientras que el gasto propio el

embalse por evaporación y pérdidas es superior al de Proserpina, pero ello es debido fundamentalmente a las importantes filtraciones de la presa en su estado actual. Hay que tener en cuenta que, con la configuración romana del sistema hidráulico de Cornalbo, incluso dichas filtraciones serían aprovechables, ya que las mismas terminan en definitiva en el cauce o el subálveo del Albarregas, que como hemos dicho, eran drenados por la propia conducción, con lo cual el agua inicialmente retenida por la presa y luego escapada de la misma, era también aprovechada.

Por tanto, a efectos de nuestros cálculos consideraremos un valor similar al de Proserpina. La capacidad de embalse en la época romana nos es, en principio, desconocida, pero a la vista de la altura de la torre de toma, la altura máxima del embalse podría estar del orden de un metro por debajo de la coronación actual de la presa, por lo que dicha capacidad sería próxima a los 8-10 hm³, con lo cual el grado de hiperanualidad es bastante alto. Por tanto, se obtendrían unas posibilidades medias también de unos 0,90 hm³ anuales, lo que corresponde a un caudal continuo de unos 29 l/s, que incrementados con las aportaciones del drenaje del subálveo del Albarregas antes estimadas (disminuidas en la parte de cuenca interceptada por la presa, que es de 6,7 km², pues su aportación se incluye en la del embalse) llegarían a los 60 l/s, es decir, un 20% de la capacidad teórica de la conducción.

En la actualidad el embalse de Cornalbo abastece a una serie de localidades agrupadas en una Mancomunidad (Trujillanos, Mirandilla, San Pedro de Mérida, Aljucén y El Carrascalejo) con unos 5.000 habitantes, que con el embalse limitado actualmente a un nivel máximo de llenado de unos 3 hm³, por los problemas de filtraciones antes citados, pueden sufrir fallos de suministro de presentarse varios años secos seguidos, fallos que las simulaciones realizadas demuestran que no se presentarían aumentando el nivel de llenado hasta 5 hm³, por lo que se está estudiando la realización de dicha actuación, para la cual se deben realizar determinadas actuaciones en la presa, que están en proceso de Evaluación de Impacto Ambiental.

Sumando las aportaciones medias comentadas de las tres conducciones, obtendríamos una cifra en torno a los 104 l/s que para los 30.000 habitantes representaría una dotación cercana a los 300 l/h-d, tan solo un 14% de la dotación teórica que resultaba de considerar exclusivamente las capacidades máximas de las conducciones, y desde luego bastante inferior a las teóricamente consideradas para la época romana, como vimos anteriormente, pero aun así bastante adecuada con relación a los parámetros actuales, superior a la que disfrutó Mérida en cualquier época entre la romana y la actual, y, lo que es más importante, con alta garantía de suministro gracias a la combinación de la regulación natural del terreno por un lado, y la artificial de los embalses por otro.

Y esto es así ya que, aunque se trata de datos medios, que no contemplan incidencias como sequías o periodos muy húmedos, precisamente el carácter hiperanual de ambos embalses (bastante considerable

en el caso de Cornalbo) posibilitaría que, en cierta medida, se compensaran los años húmedos y los secos.

Se observa que sin las presas, caudales y dotación se reducen prácticamente a la mitad, quedándonos tan solo unos 16 l/s de Rabo de Buey-San Lázaro y unos 37 l/s de Cornalbo, en total 53 l/s, que suponen 153 l/h-d, es decir, un 51% de la dotación total.

Como puede apreciarse en la tabla 4-2, la captación desde los embalses ofrece una relación entre el agua total caída sobre su cuenca y el agua aportada ligeramente superior al 10%, que es el coeficiente de escorrentía habitualmente adoptado para el cálculo de aportaciones medias en la España seca. Esta relación es del orden de casi el doble de la que ofrecen las tomas de agua subálvea, evidenciando la indudable eficacia de los embalses como elementos reguladores, aunque luego en estos haya que pagar un

DATOS MEDIOS ANUALES						
CUENCA	SUPERFICIE (km ²)	AGUA TOTAL PRECIPITADA (*) (hm ³)	APORTACIÓN ANUAL CAPTABLE(hm ³)	RATIO AGUA CAPTABLE/ PRECIPITADA	APORTACIÓN ANUAL APROVECHABLE (hm ³)	CAUDAL (l/s)
1. CAPTACIÓN EN EMBALSE						
PROSERPINA	25,05	13,15	1,46	11,10%	0,89	28,22
CORNALBO	26,50	13,91	1,49	10,71%	0,92	29,17
T. EMBALSES	51,55	27,06	3,00	11,08%	1,81	57,39
2. CAPTACIONES SUBÁLVEAS						
CORNALBO	32,30	16,96	0,98	5,78%	0,98	31,06
R.BUEY-S.L.	16,41	8,62	0,50	5,78%	0,50	15,78
T. SUBALVS.	48,71	25,57	1,48	5,78%	1,48	46,84
3. CONJUNTO						
TOTAL	100,26	52,64	4,43	8,41 %	3,29	104,23

(*) Considerando una precipitación media anual de 525 mm.

TABLA 3

El origen del agua de abastecimiento en Augusta Emerita, datos cuantitativos.



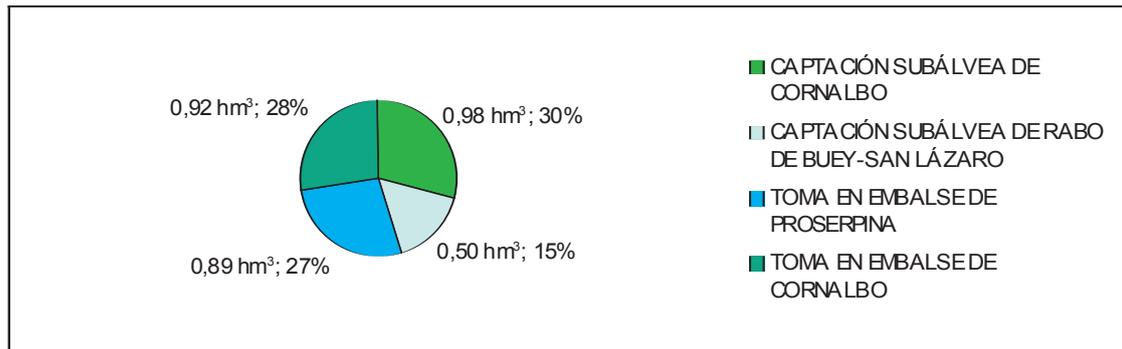


GRÁFICO 1

El origen del agua de abastecimiento en Augusta Emerita.

inevitable tributo en forma de evaporación y pérdidas, que reducen a las dos terceras partes la aportación utilizable respecto de la total.

Como resumen, podemos afirmar que los romanos utilizaron para el abastecimiento de Mérida unos 100 km² de terreno, en las cuencas del Albarregas, Fresnedas y Aljucén, repartidos a partes casi iguales entre aportación a embalses y a subálveos, aportando los primeros casi 2 hm³ anuales, y los segundos las tres cuartas partes de dicho número.

Estas cifras demuestran además, como ya apuntábamos, que la existencia de los tres sistemas de abastecimiento en absoluto es gratuita o redundante, sino que venían motivados por una auténtica necesidad, como era la búsqueda por todos los medios técnicos entonces existentes de un agua adecuada, por calidad, cota y garantía, para el abastecimiento de la ciudad, en un entorno no demasiado propicio para ello.

Con los tres sistemas de abastecimiento y sus dos presas, se consigue por tanto una dotación que se

CIUDAD	Nº HABS.	Nº ACUEDUCTOS	CAUDAL (l/s)	CAUDAL (m ³ /día)	DOTACIÓN (l/h-d)
ROMA (hip.2)	1.000.000	9	8.102	700.000	700
TOLEDO	20.000	1	100	8.640	432
CORDOBA (hip. 2)	50.000	2	380	32.832	660
POMPEYA	8.000	1	75	6.480	500 - 800
NIMES	50.000	1	400	35.000	690
MÉRIDA Cornalbo sin presa	30.000	1	31	2.700	90
MÉRIDA Cornalbo sin presa+ Rabo de Buey	30.000	2	47	4.000	135
MÉRIDA- Los 3 acueductos con las dos presas	30.000	3	104	9.000	300

TABLA 4

Dotación de diversas ciudades romanas y comparación con los resultados para Augusta Emerita en las tres situaciones de suministro indicadas.

aproxima ya a los órdenes de magnitud de los de las ciudades romanas que se comentaron anteriormente:

Queda por tanto patente el importantísimo papel desempeñado por las presas de regulación en los abastecimientos a la Mérida romana, resultando claro que si realmente los romanos hicieron a los emeritenses “millonarios en agua” según la afortunada expresión de ese gran arqueólogo que fue D. José Álvarez Sáenz de Buruaga, ello fue en gran medida posible gracias a los embalses creados por nuestras presas.

LA CALIDAD DE LAS AGUAS EMBALSADAS Y SU APTITUD PARA EL CONSUMO HUMANO. SITUACIÓN EN PROSERPINA Y CORNALBO

Es evidente que en la actualidad existen técnicas que permiten realizar una depuración del agua consi-

guiendo que estas sean potables, aunque la calidad inicial de las mismas sea bastante deficiente.

En la época romana, y prácticamente hasta la segunda mitad del siglo XIX, el único tratamiento que prácticamente cabía dar a las aguas era un tratamiento puramente físico, consistente en la decantación y filtración. Evidentemente, esto no era suficiente para eliminar los gérmenes patógenos que eventualmente podían acompañar al agua con desastrosos efectos, aunque a veces se intuían los efectos desinfectantes de los iones metálicos, lo que justifica la frecuente presencia de monedas y otros elementos metálicos en cisternas y depósitos.

En cualquier caso, los problemas sanitarios más serios causados por las aguas de abastecimiento se dan fundamentalmente en las ciudades que experimentan un

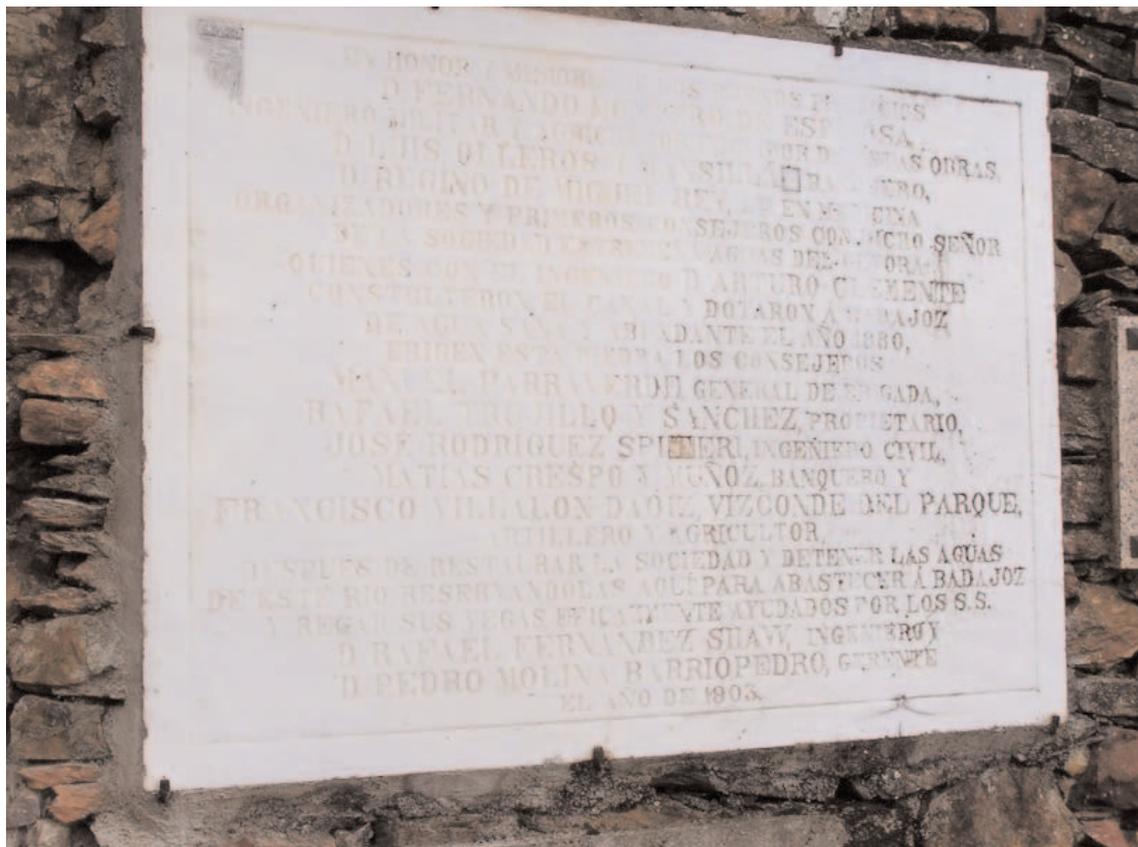


FIGURA 36

Placa conmemorativa de la inauguración de la presa de “Peña del Águila”, para abastecimiento a Badajoz, en la que se lee (9ª y 10ª líneas) “...DOTARON A BADAJOZ DE AGUA SANA Y ABUNDANTE EL AÑO 1880”. Mas abajo (18ª línea) se especifica que lo que se hizo fue “...DETENER LAS AGUAS DE ESTE RÍO RESERVÁNDOLAS AQUÍ PARA ABASTECER A BADAJOZ”.

crecimiento muy rápido y descontrolado en la época de la Revolución Industrial, careciendo de infraestructuras adecuadas de saneamiento y abastecimiento, de forma que las aguas residuales contaminan los pozos, fuentes y manantiales utilizados.

En este sentido, el pasar a tomar de un embalse representó una mejora trascendental, por el mero hecho de que se pasaba a captar el agua alejada de la fuente de contaminación, aunque esta circunstancia ha quedado hasta cierto punto enmascarada por el hecho de que esta vuelta a los embalses como fuentes de suministro del agua de abastecimiento urbano viene a coincidir aproximadamente en el tiempo con la aparición de sistemas de desinfección (cloración) que pasan a utilizarse sistemáticamente.

Un ejemplo de la mejora que representó la toma en un embalse lo tenemos en la ciudad de Badajoz, que tras la construcción en 1880 de la presa de la “Peña del Águila”, que abastecía a la ciudad mediante el “Canal

del Gévora”, pasó a tener un suministro de agua “sana y abundante”, como atestigua la placa conmemorativa (Salas Martínez y Martín Morales 2006).

La cuestión que se plantea, por tanto, es si en ausencia de esta desinfección y de tratamientos avanzados de depuración, las aguas embalsadas podrían ser utilizadas para el suministro urbano. A demostrar que la respuesta a esta cuestión puede ser afirmativa estableciendo unas precauciones elementales dedicaremos el presente capítulo, realizando en primer lugar unas consideraciones generales sobre la calidad del agua de los embalses.

En segundo lugar veremos la situación actual de los embalses de Proserpina y Cornalbo, ya que como decíamos en el capítulo anterior, la circunstancia de que ambas presas lleven bastante tiempo en explotación por la Confederación Hidrográfica del Guadiana, permite que se cuente con abundantes datos de calidad de sus aguas.



FIGURA 37

Presa y embalse de Cornalbo, mostrando el importante valor medioambiental de su entorno.

Evidentemente, el caso de ambos embalses es muy diferente, pues mientras en el de Proserpina la presión urbanística descontrolada hace que la influencia antrópica sea muy grande, el de Cornalbo cuenta con un entorno realmente privilegiado, hasta el punto de que ha sido declarado Parque Natural por la Junta de Extremadura, situación que en este caso sí sería bastante extrapolable a la que pudiera darse en la época romana.

GENERALIDADES SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA DE LOS EMBALSES

Una masa de agua retenida constituye, con carácter general, un tipo de ecosistema denominado “lenticó”. Sin embargo existen grandes diferencias en función de la profundidad de las aguas, ya que si estas alcanzan una profundidad de varios metros, su inercia térmica es muy considerable, y los efectos de la estratificación, sobre todo en lo relativo a la distribución de la temperatura y la luz, son muy importantes.

Las variaciones de la temperatura del agua debidas a la climatología se amortiguan rápidamente con la profundidad, siendo esta amortiguación prácticamente total a partir de los 10 metros. Como es conocido, a mayor temperatura corresponde una menor densidad, por lo que las aguas más cálidas tienden a estar en la superficie.

Por tanto, durante el verano, en el que la superficie del embalse se calienta por efecto de la radiación solar, las aguas del embalse se estratifican en una capa superior templada, llamada “epilimnio”, una zona intermedia llamada “mesolimnio”, donde se produce un cambio rápido de temperatura (a la curva que relaciona la profundidad y la temperatura en esta zona se le denomina “termoclina”) y una zona inferior fría, denominada “hipolimnio”.

El agua del hipolimnio está prácticamente aislada de los procesos superficiales, por lo que mantiene unas características bastante constantes, siendo las reacciones biológicas y bioquímicas que se desarrollan en el mismo relativamente lentas y de efectos acumulativos, dado su aislamiento.

En invierno, la capa superior pierde temperatura, ganado densidad y haciendo posible su mezcla, por lo que la temperatura del agua tiende a homogeneizarse en valores en torno a los 4°, y sólo en inviernos excepcionalmente fríos y largos la temperatura llega a ser creciente con la profundidad. En estas circunstancias, factores externos como aportaciones y salidas de agua, viento, corrientes... pueden producir una mezcla de las aguas, homogeneizando así también su calidad.

Como las aportaciones de agua se suelen producir precisamente en la estación fría, y suelen ser aguas de buena calidad aunque ocasionalmente de cierta turbidez (al ser procedentes de la escorrentía generada por las precipitaciones) estas aguas de nueva entrada en el embalse se reparten por el mismo, entrando en juego diversos mecanismos de autodepuración.

La acción autodepurativa de los ríos, mediante la actividad metabólica de los organismos presentes en sus aguas, que realizan la descomposición de la materia orgánica, proceso en el que es fundamental el aporte de oxígeno, es bien conocida (Hernández Muñoz 1987).

En los embalses, esta acción autodepurativa se ve potenciada por otros fenómenos, entre los que cabe citar la dilución, por mezcla de aguas de diversa calidad, y la “dilución equivalente”, que consiste en una serie de fenómenos que actúan de forma análoga a la dilución, mejorando la calidad de las aguas embalsadas.

Uno de los fenómenos que causa esta dilución-equivalente es la decantación, es decir, la precipitación de las materias sedimentables, que además de restar turbidez al agua, produce un descenso del número de bacterias presentes, ya que estas también son en gran medida arrastradas al fondo conjuntamente con las partículas sedimentables.

Otro fenómeno responsable de la dilución equivalente en un embalse es la radiación solar, que tiene un importante efecto bactericida, que se estima hasta 6,5 veces superior al debido a la decantación. Así se ha demostrado por R. Mitchel y C. Chamberlin, de la

Universidad de Harvard, que 0,6 horas de insolación bastan para reducir en un 90% la concentración de la bacteria *Escherichia coli*, (indicador de la presencia de restos fecales humanos).

Todo ello nos indica que si la carga contaminante aportada a un embalse es moderada, el efecto auto-depurador del mismo es capaz de preservar unas condiciones de calidad adecuadas en sus aguas.

LA CALIDAD DE LAS AGUAS DE PROSERPINA Y CORNALBO

Es evidente que en la actualidad las aguas embalsadas en Proserpina y Cornalbo, como las de cualquier otro embalse, no cumplen los requisitos establecidos en la legislación vigente en España para considerarlas como aguas potables en su estado natural. Pero esta situación no ha sido siempre igual ya que, al margen de las contaminaciones de tipo natural debidas a las características de los terrenos sobre los que se asientan los embalses o de las cuencas vertientes a los mismos, la contaminación de origen físico-químico o biológico debida a la acción humana, ya sea por la acción directa (vertidos industriales, fecales...) o por actividades agrícolas o ganaderas no ha tenido la misma intensidad a lo largo de los años.

En la actualidad tenemos medios para analizar una multitud de parámetros indicadores del estado de calidad del agua, pudiendo distinguir claramente los diferentes compuestos contaminantes presentes en el agua y su origen, ya sean contaminantes naturales, o contaminantes debidos a la acción del ser humano y sus actividades. Generalmente, es ésta última la más frecuente y también la más peligrosa.

Conocer la situación, en este aspecto, de los embalses de Proserpina y Cornalbo en época romana es imposible, pero no es demasiado descabellado decir que debería ser más parecida a la situación actual de Cornalbo que a la de Proserpina.

En efecto, mientras que Cornalbo se ha visto relativamente libre de la presión humana directa y solamente se ve afectada por las actividades agrícolas, y sobre todo ganaderas, existentes en su entorno más

inmediato, el caso de Proserpina es un ejemplo vivo de lo que la actividad humana descontrolada puede llegar a producir en un embalse. Pero incluso en el caso de Proserpina, esta actividad es relativamente reciente (desde la segunda mitad del pasado siglo) por lo que no es difícil encontrar en la zona personas que han conocido una calidad de sus aguas radicalmente diferente a la actual (incluso la mitología popular les ha llegado a atribuir ciertas propiedades curativas).

La normativa legal vigente en materia de aguas prepotables

En España, la Ley de Aguas y el Reglamento de la Administración Pública del Agua y de la Planificación Hidrológica, aprobado por el Real Decreto 927/88, de 29 de julio y modificado por Real Decreto 1541/94, de 8 de julio, en desarrollo de los títulos II y III de la Ley de Aguas, son las normas que regulan las características exigibles a las aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable, que deberán cumplir al menos las condiciones que, de acuerdo con las Directivas de la Unión Europea, se establecen en sus anexos.

A este efecto, el anexo número 1 del Reglamento, clasifica las aguas superficiales susceptibles de ser destinadas al consumo humano en tres grupos, según el grado de tratamiento que deben recibir para su potabilización, determinando que los niveles de calidad para cada uno de esos grupos no podrán ser menos estrictos que los que figuran en la tabla que incluye, salvo que se prevea para las aguas un tratamiento especial que las haga potables.

La norma comunitaria, y por lo tanto la española, permite que dichos niveles se superen, con carácter general, en caso de inundaciones o catástrofes naturales y, con carácter restrictivo para determinados parámetros, por razones meteorológicas o geográficas o en el caso de aguas superficiales de lagos de escasa profundidad y con aguas casi estancadas. En concreto hace referencia a lagos de profundidad no superior a 20 metros cuya renovación hídrica necesita más de un año y que no reciban vertidos directos de aguas residuales. Esta situación se da de forma habitual en Proserpina y especialmente en Cornalbo.

Los parámetros para los que se permite la excepción son: nitratos, fosfatos, DQO, DBO5 y oxígeno disuelto.

La clasificación de aguas prepotables y el tratamiento apropiado para cada una de ellas que establece el Reglamento español es la siguiente:

- Tipo A1. Tratamiento físico simple y desinfección.
- Tipo A2. Tratamiento físico normal, tratamiento químico y desinfección.
- Tipo A3. Tratamiento físico y químicos intensivos, afino y desinfección.

Además de la desinfección por cloro, obligatoria en todos los casos y de la que después hablaremos, el tratamiento físico simple puede estar formado sencillamente por una decantación y filtración del agua antes de su consumo, técnicas estas que sabemos que conocían y usaban los romanos. Por ello utilizaremos los valores de referencia de las aguas prepotables A1 para comprobar el estado actual de calidad de las aguas de Proserpina y Cornalbo. Todo ello teniendo en cuenta que estamos hablando de características de calidad ambiental y sanitaria del siglo XXI, con una garantía de seguridad acordes con las exigencias de una sociedad desarrollada, tal y como la entendemos hoy en día. A este respecto, baste señalar las encarecidas recomendaciones de beber solamente agua embotellada y nunca la del grifo que realizan las agencias de viaje y las autoridades sanitarias de nuestro país cuando una persona se dispone a emprender viaje a la mayoría de los países subdesarrollados o incluso en vías de desarrollo. Los efectos que el agua que allí se consume de forma habitual en la población autóctona sin mayores problemas, tendría unos efectos devastadores en nuestros organismos, en los que la flora bacteriana interna e incluso los sistemas inmunes están adaptados a otros parámetros.

En la tabla siguiente se reproducen a título de ejemplo, los resultados de los controles de verano e invierno, que suelen dar los valores más extremos, realizados en Proserpina y Cornalbo el pasado año 2005 por el Laboratorio de Calidad del Agua de la

Confederación Hidrográfica del Guadiana, considerado uno de los mejores de España en su género. Recordemos que ese año se caracterizó por una extremada sequía, en el que las aportaciones a los embalses fueron mínimas y por lo tanto, los volúmenes de agua en los embalses con consumos importantes en relación a sus aportaciones, caso de Cornalbo, disminuyeron de forma considerable; lo que conlleva que la concentración de los elementos contaminantes presentes en sus aguas aumenten proporcionalmente.

Como podemos observar en el caso de Cornalbo los únicos parámetros cuyos valores están fuera de los límites para considerar sus aguas como prepotables del tipo A1 son los bacteriológicos y, en determinadas épocas del año, la temperatura. Por el contrario, en Proserpina existen además de los anteriores, otra serie de valores generalmente asociados a una contaminación fecal de las aguas (amonio, fosfatos y DBO5) o a un exceso de materia orgánica (pH, Materia en suspensión...) que superan los valores permitidos. En el siguiente apartado profundizaremos un poco más en ellos.

Análisis de los contaminantes presentes en las aguas de Proserpina y Cornalbo.

Temperatura: La temperatura del agua no es un indicador de contaminación en sí misma, su inclusión en el listado obedece a que al superar determinados umbrales, actúa como catalizador de múltiples reacciones químicas y biológicas. Generalmente es un factor externo a los embalses, salvo que el aumento esté provocado por vertidos de algún proceso industrial. Evidentemente este no es el caso de Proserpina y Cornalbo, ni en la actualidad ni menos aún en época romana. Por lo tanto la temperatura del agua en estos embalses está directamente ligada al clima de la zona, con veranos muy cálidos. Esta circunstancia la convierte en un factor de una variabilidad enorme no sólo de unas estaciones a otras, sino también de unas horas del día a otras, e incluso es función como hemos visto de la profundidad del agua. En las presas de Proserpina y Cornalbo en las que las tomas se sitúan a varios metros de profundidad, y probablemente por debajo de la termoclina, es prácticamente seguro que

PARÁMETROS	PREPOTABLES A1		AÑO 2005			
	LÍMITE	UD.	JUNIO		DICIEMBRE	
			PROSERPINA	CORNALBO	PROSERPINA	CORNALBO
Temperatura Agua	25	°C	27,2	28,3	10,6	9,7
CARACTERÍSTICAS ORGANOLEPTICAS						
Color	20	U.Pt	10	7	11	7
CARACTERÍSTICAS FISICO-QUIMICAS						
Conductividad 20°C	1000	µS/cm	265	138	292	173
pH	6,5-8,5	pH	8,8	7,8	7,9	7,6
Materias en Suspensión	25	mg/L	2	6	31	20
CARACTERÍSTICAS QUIMICAS						
Cloruros	200	mg/L Cl-	20,3	13,7	22,5	17,3
Sulfatos	250	mg/L	14,8	9,2	15	10,9
Nitratos	50	mg/L	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Fosfatos	0,4	mg/L	3,33	0,03	< 0,01	< 0,01
Fluoruros	1,5	mg/L F-	0,36	0,12	0,46	0,17
Boro	1	mg/L B		< 0,05		< 0,05
Cianuros	0,05	mg/L CN-	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cromo	0,05	mg/L Cr	< 0,02	< 0,020	< 0,02	< 0,020
Manganeso	0,05	mg/L Mn	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Hierro	0,3	mg/L Fe	< 0,05	0,05	< 0,05	0,05
Cobre	0,05	mg/L Cu	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Cinc	3	mg/L Zn	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Arsénico	0,05	mg/L As	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Cadmio	0,005	mg/L Cd	< 0,02	< 0,020	< 0,02	< 0,020
Mercurio	0,001	mg/L Hg	< 0,00002	< 0,00002	0,00004	< 0,00002
Bario	0,1	mg/L Ba		< 0,05		0,05
Plomo	0,05	mg/L Pb	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Selenio	0,01	mg/L Se		< 0,03		< 0,03
CARACTERÍSTICAS QUIMICO-BIOLÓGICAS						
Ox.Dto %	>70	% Satur.	118	114,6	82,6	94,1
D.B.O. 5d	3	mg/L O2	1,3	1,1	7,6	1,3
Fenoles	0,001	mg/L	< 0,001	0,001	< 0,001	< 0,001
H.A.P.	0,0002	mg/L		< 0,00002		< 0,00002
Plaguicidas totales	0,001	mg/L		< 0,0001		< 0,0001
Amonio	0,05	mg/L	0,01	0,01	0,32	0,01
CARACTERÍSTICAS BACTERIOLÓGICAS						
Coliformes totales	50	UFC/100	1.000	7.900	5.600.000	11.000
Coliformes fecales	20	UFC/100		3		0
Estreptococos fecales	20	UFC/100		24		650
Salmonellas	AUSENTE	ml		AUSENTE		AUSENTE

TABLA 5

Resultados de los controles de calidad de las aguas de los embalses de Proserpina y Cornalbo y su comparación con los límites para aguas prepotables A1. En rojo los valores que sobrepasan dichos límites.

nunca se superaría el umbral de referencia de 25° C, ni en los días y horas más calurosos del año.

Indicadores químicos: Los indicadores químicos de contaminación fecal que han sido considerados clásicamente son: cloruros, nitratos, nitritos y amonio. Aunque también se utilizan diversas sustancias tales como fosfatos, clorofila, turbidez, etc.

A los **cloruros** se les ha dado el carácter de indicador debido a que se encuentran en gran cantidad en la orina del hombre y animales, no obstante han perdido valor como indicador de contaminación fecal debido a que se encuentran presentes en todo tipo de aguas. El **amonio**, es el principal indicador químico de contaminación fecal, pues el cuerpo los expulsa en esta forma, lo que supone que indica una contaminación reciente. Los **nitritos**, en cambio, constituyen

un paso intermedio en el proceso de oxidación, por lo que son indicadores de contaminación fecal a medio-corto plazo, ya que desde que se produce la contaminación hasta que aparecen los nitritos debe pasar un tiempo no excesivamente largo. En cuanto a los **nitratos**, debido a su amplia utilización como abono agrícola, también se pueden encontrar, sobre todo en las aguas subterráneas, en concentraciones excesivas, por lo que han perdido gran parte de su valor como indicadores. Aún así, se consideran como indicadores de contaminación fecal a largo plazo, pues es el estado más oxidado del amonio, lo que hace pensar que un agua con nitratos es un agua que fue contaminada hace tiempo y en la que no se ha repetido el vertido.

En el caso de Cornalbo ninguno de estos indicadores supera los límites permitidos, aunque sí varios de

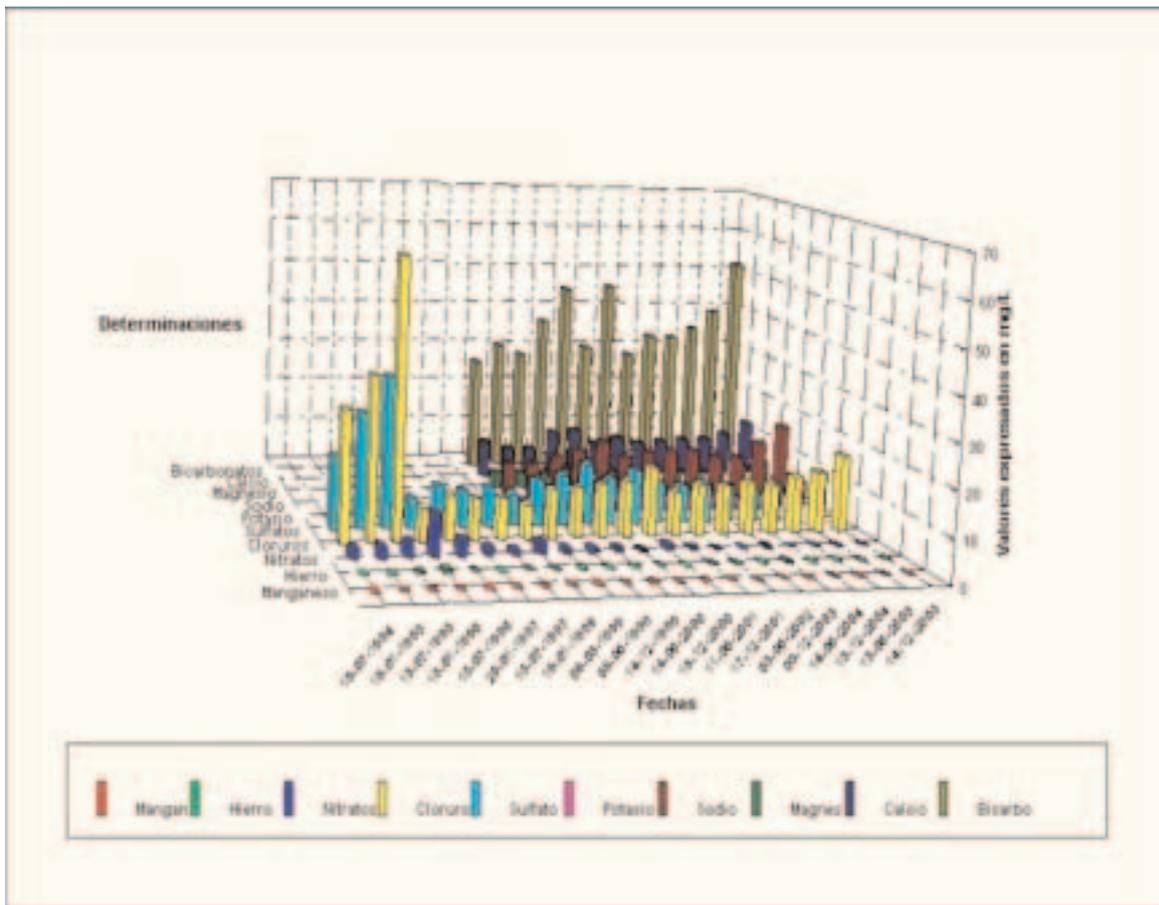


GRÁFICO 2

Indicadores químicos de calidad de las aguas del embalse de Cornalbo, entre los años 1994 y 2004. Los valores elevados de cloruros y sulfatos al inicio de la serie, corresponden a la gran sequía de los años 1991-1996.



ellos en Proserpina, lo que nuevamente pone de manifiesto cómo la acción humana mucho más intensa en éste último, ha deteriorado fuertemente la calidad de sus aguas.

Indicadores biológicos: La contaminación fecal ha sido, y sigue siendo, el principal riesgo sanitario en el agua, ya que supone la incorporación de microorganismos patógenos procedentes de enfermos y portadores, y la transmisión hídrica a la población susceptible. Por ello el control sanitario de riesgos microbiológicos es tan importante, y constituye una medida sanitaria básica para mantener un grado de salud adecuado en la población. De ahí la obligatoriedad de un tratamiento de desinfección (generalmente a base de la adición de cloro) a las aguas destinadas a ser potabilizadas con independencia del tratamiento previo a que vayan a ser sometidas.

Los grupos de microorganismos más habituales en heces humanas son **coliformes totales** y **fecales**, *Escherichia coli* y **estreptococos fecales**. Muchos de estos microorganismos no son exclusivos del intestino humano, sino que forman parte también de la flora intestinal de diversos animales de sangre caliente. Esto es importante, ya que la contaminación fecal causada por animales puede entrañar riesgos sanitarios, por lo que hay que considerar los microorganismos más abundantes y frecuentes en las heces de los animales, sobre todo en los de ganadería extensiva más habituales en la zona (vaca, cerdo, oveja...). En todos ellos encontramos coliformes y estreptococos fecales, aunque su abundancia relativa es mayor en los estreptococos fecales. Los coliformes fecales son un subgrupo de los coliformes totales, capaz de fermentar la lactosa a 44,5° C. Ya que los coliformes fecales se encuentran casi exclusivamente en las heces de los animales de sangre caliente, se considera que reflejan mejor la presencia de contaminación fecal. Los coliformes fecales se denominan termotolerantes por su capacidad de soportar temperaturas más elevadas. Esta es la característica que diferencia a coliformes totales y fecales.

El empleo de la relación CF/EF (Coliformes Fecales/Estreptococos Fecales) puede ser de gran utilidad para la determinación del origen humano o

animal de la contaminación. Cuando el cociente CF/EF es mayor de 4 se trataría de una contaminación fecal de origen humano; cuando CF/EF es menor de 0,7 la contaminación es de origen animal; y en el intervalo entre 4 y 0,7 no se puede interpretar el origen de la contaminación, e incluso puede tratarse de una contaminación mixta humana-animal.

Como podemos observar en los resultados de la tabla expuesta anteriormente, el coeficiente CF/EF de Cornalbo se encuentra en valores del orden de una décima (0,1) en el peor de los casos, lo que demuestra claramente una contaminación provocada por las actividades ganaderas de la zona. La enorme diferencia entre el número de coliformes totales entre las muestras de verano e invierno abunda en esta hipótesis ya que es en invierno cuando la abundancia de pastos hace que el ganado pastoree libremente por el campo, produciéndose así el mayor número de vertidos fecales.

Lamentablemente, al no estar destinadas en la actualidad las aguas de Proserpina al consumo humano, no se analizan los datos de coliformes fecales ni de estreptococos fecales, aunque sí de coliformes totales. La enorme diferencia entre los datos de verano e invierno en estos últimos hacen suponer también una mayor componente de la contaminación fecal proveniente de actividades ganaderas.

En cualquier caso, se observan índices superiores en Proserpina respecto a Cornalbo, de la mayoría de los indicadores físicos, químicos, biológicos y bacteriológicos, lo que indica un mayor grado de contaminación del primero de los embalses. Esta circunstancia no es nueva pues ya se puso de manifiesto con ocasión de los análisis realizados a las aguas de Proserpina y Cornalbo en 1991 por el CEDEX recogidos en el trabajo denominado "*Estudio de las condiciones de eutrofia del embalse de Proserpina y de las posibles medidas para su control: estudio comparativo con el embalse de Cornalbo*" (CEDEX 1992).

Las conclusiones de este estudio revelaban un estado de fuerte eutrofización del embalse de Proserpina, achacada tanto a la intensa actividad

humana en el entorno del embalse, con vertidos a fosas sépticas que inevitablemente terminan infiltrándose en las aguas del embalse, como a la actividad ganadera de los terrenos situados en la cuenca de aportación.

Como resumen de todo lo antedicho, podemos concluir que si eliminamos la contaminación fecal procedente de las actividades ganaderas existentes en el entorno del embalse de Cornalbo, sus aguas podrían ser perfectamente potabilizables mediante un simple tratamiento físico (decantación y filtración), factible y conocido en época romana.

No es difícil suponer que las fuentes de suministro de agua a la población debían estar sometidas a un importante control y vigilancia, por lo que las actividades ganaderas (fuente de contaminación del agua conocida en todas las épocas) en caso de existir, deberían estar totalmente prohibidas en las zonas vertientes a los embalses. Por supuesto, las condiciones del embalse de Proserpina en época romana deberían ser muy similares a las de Cornalbo, y por lo tanto, sus aguas podrían usarse con las mismas garantías para el abastecimiento a *Augusta Emerita*.

CONSIDERACIONES Y ACLARACIONES SOBRE LOS ESTUDIOS REALIZADOS SOBRE LAS PRESAS DE PROSERPINA Y CORNALBO

PRESA DE PROSERPINA

Las reseñas históricas acerca del sistema de Proserpina (o “La Albuera”, como ha sido conocido de forma tradicional) son bastante numerosas a partir del Siglo XVI. En todas estas referencias, se asocia la presa con la conducción de Los Milagros, lo que da una idea de lo asumido que ha estado históricamente la relación entre ambas.

Esta situación no solo es evidente desde un punto de vista ingenieril, sino que además nos parece que ambas construcciones son totalmente inseparables. De forma que en nuestra opinión, como ya ha quedado de manifiesto en otros apartados del presente artículo, no se justifica la una sin la otra.

Interrelación del sistema hidráulico Canal Alimentador-Presa-Conducción

El sistema hidráulico de Proserpina está compuesto por tres elementos diferenciados, el canal alimentador, la presa y la conducción a Mérida. No nos extenderemos aquí en la descripción de cada uno de ellos ya que es suficientemente conocida, pero sí queremos apuntar dos razones que creemos importantes para justificar la necesidad de una presa intermedia entre el canal alimentador y la conducción.

La primera razón es relativa a la **calidad del agua** captada. El canal alimentador recoge aguas de escorrentía superficial de diversos arroyos situados al norte de Mérida, fundamentalmente el arroyo de Las Adelfas, por lo tanto son aguas que pueden venir bastante turbias. Además, no se conserva ningún indicio en los restos de fábricas del canal que nos hicieran pensar que éste estuviera cubierto, condición que sí se cumple en las conducciones romanas de abastecimiento humano y que sí se cumple en la conducción de Los Milagros. Por lo tanto era necesaria la existencia de un depósito intermedio que hiciese las funciones de decantador para eliminar la turbidez del agua en los periodos de avenidas. Este depósito entendemos que no es otro que la presa de Proserpina.

La segunda razón que justifica la necesidad de la construcción de la presa dentro del sistema de abastecimiento a *Augusta Emerita* es la **necesidad hidrológica** de su existencia, tema sobre el que ya se trató en el capítulo 4. Los 4 hm³ de capacidad de que dispone la presa por encima de la cota de la toma del bocín de la margen izquierda aseguran una disponibilidad de agua de forma continua que no sería posible sin su existencia.

Por otra parte, la conducción de Proserpina a diferencia de la de Rabo de Buey-San Lázaro e incluso la de Cornalbo (ramal del Borbollón) no tiene ningún vestigio de conducciones subterráneas que permitirían suponer la captación de aguas provenientes del subálveo de los arroyos que conforman la cuenca de aportación. Además la geología del terreno, como ya se ha comentado en apartados anteriores, no permite

la existencia de manantiales que pudieran alimentar la conducción de forma suficiente.

Cuestiones topográficas

Los estudios realizados por el Centro Universitario de Mérida (E.U. de Ingenieros Técnicos en Topografía) han permitido la caracterización topográfica completa de la traza de la conducción de Proserpina a Mérida, incluso han permitido la localización, ayudándose de métodos geofísicos, de algún tramo en túnel cuyo trazado era desconocido. Estos estudios corroboran la posibilidad topográfica de que el canal de alimentación y la conducción estuvieran conectados sin necesidad de la existencia de la presa, pero queremos analizar un poco más esta cuestión.

La cota de entrada del canal alimentador al embalse es la 249,50 y la de la posible toma de inicio de la conducción en el bocín es la 236,01; teniendo en cuenta que la distancia aproximada entre ambos puntos se sitúa en torno a 3.500 m nos da una pendiente media de 3,85 milésimas para este supuesto canal de conexión, algo superior a la del propio canal alimentador, 3,2 milésimas, pero del orden de 10 veces mayor que el de la conducción, que entre la toma del bocín y el acueducto de Los Milagros es de 0,35 milésimas, bastante reducida e inferior a las recomendaciones al respecto de Vitrubio (5 milésimas) pero dentro del límite marcado por Plinio el Viejo (0,2 milésimas) (Polo García, Gutiérrez Gallego et al. 1999) y del mismo orden de magnitud de las adoptadas en la conducción de Nîmes (Fabre, Fiches et al. 2005).

Esta diferencia no parece muy lógica si estamos hablando de una única conducción. Además iría en contra de una regla básica en las conducciones en lámina libre, que es mantener la carga hidráulica lo más alta posible, con el fin de contar con margen suficiente para sortear obstáculos inesperados o puntos complicados. La pérdida de carga hidráulica se produciría lo más cerca posible del final de la conducción, cuando ya se está seguro de que se llega con cota suficiente al punto de suministro.

pués obligar a unas pendientes realmente reducidas. Por lo tanto, nos inclinamos más a pensar que el canal alimentador y la conducción de Los Milagros son obras independientes, con fines totalmente diferentes y que necesariamente obligan a la existencia de un depósito entre ambas, la presa de Proserpina.

Además, la hidráulica nos permite conocer de forma aproximada las capacidades de cada una de las conducciones. Como ya se ha mencionado en apartados anteriores la capacidad del canal alimentador, dadas sus dimensiones y pendiente, debería estar comprendida entre 3 y 4 m³/s. como máximo, muy superior a la de la conducción de Los Milagros que no pasaría en el mejor de los casos de unos 150 l/seg., lo que nos vuelve a plantear una cuestión de lógica, ¿para qué captar una cantidad de agua tan grande, si la tenemos que verter sin poderla transportar hasta la ciudad?

Parece más adecuado pensar que la capacidad del canal alimentador estaba relacionada con la capacidad de regulación de la presa, y la de la conducción con las necesidades de abastecimiento de la ciudad, lo que de nuevo nos conduce a la necesaria existencia de un depósito regulador intermedio.

Llegados a este punto, queremos hacer constar un error que hemos detectado en un artículo respecto al posible punto de toma de la conducción de Los Milagros en la presa, motivado por la equivocación en la identificación de las márgenes en el esquema de tomas de la presa de Proserpina, denominado margen norte a la que en realidad es la sur y viceversa. El esquema real es el que se acompaña a continuación.

Por tanto, es perfectamente lógico que al discurrir la conducción por la ladera Sur, entronque en el bocín de la margen izquierda o sur (el más próximo a Mérida) que es el que tiene una toma con cota suficiente para llevar el agua hasta la ciudad. Todo ello con independencia de que las tomas que se conservan en la actualidad probablemente tengan poco que ver con las tomas primitivas de la presa, salvo las tomas profundas de plomo del bocín de margen derecha (Norte) que por razones tanto constructivas, como de tipología del material (como ya se verá mas



No parece por tanto razonable que se pierda inicialmente la mayor parte de la cota disponible, para des-

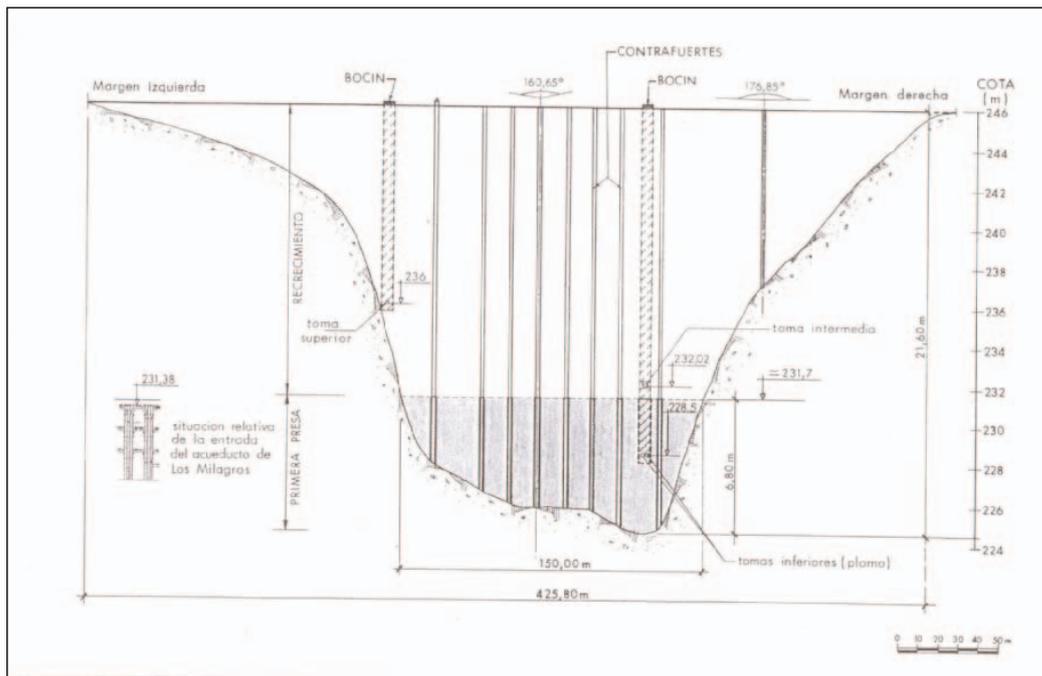


FIGURA 38

Alzado de la presa con esquema de tomas (fuente: C.H.G. e Ingeniería 75, 1996).

adelante), como por haber quedado inutilizadas y ocultas por los sedimentos en época muy temprana, muy probablemente se correspondan con tomas originales.

Estudios efectuados sobre los materiales de la presa y embalse

En el caso de Proserpina, la mayoría de los estudios de materiales realizados, y sus resultados, están recogidos en el estudio denominado “Caracterización histórica, funcional y constructiva del sistema hidráulico de Proserpina”, redactado por la Confederación Hidrográfica del Guadiana (C.H.G.) con la asistencia técnica de la empresa Ingeniería 75, en 1996 (C.H.G. e Ingeniería 75 1996).

Este estudio, al no estar publicado editorialmente, es muy poco conocido, y del mismo solo han trascendido de forma muy parcial, resúmenes publicados en diversas revistas científicas, técnicas, y en diversos congresos. En este artículo nos referiremos continuamente a los datos del citado estudio (a todos ellos, y no solo a los que corroboran la hipótesis de la

romanidad de la presa). Estos estudios se realizaron con ocasión de las importantes labores de vaciado y limpieza del embalse que se efectuaron en el periodo 1992-93 y que condujeron al descubrimiento de la estructura completa de la presa y sus tomas.

Además, tanto el CEHOPU (Centro de Estudios Históricos de Obras Públicas y Urbanismo), como el Laboratorio de Geotécnica adscrito al CEDEX (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas), realizaron en esa misma época diversas catas, sondeos y estudios para conocer las características geotécnicas, constructivas y morfológicas, tanto de la fábrica de la presa, del terraplén adosado a la misma, como de los sedimentos existentes en el embalse.

Por último, en 1999 con motivo de los trabajos de rehabilitación de la torre de toma de margen derecha, se realizó una completísima campaña de testificación geofísica tanto del muro como del terraplén de la presa que en líneas generales confirmó lo antedicho por el laboratorio de geotecnia del CEDEX. En este sentido cabe hablar de una gran homogeneidad en el





FIGURA 39

Interior de la galería de desagüe del bocín profundo.

calicanto (*opus caementitium*) de la presa y no tanto en el terraplén, donde se aprecian capas con distinto grado de compactación y con materiales de origen probablemente diferente, fruto posiblemente de las sucesivas reparaciones efectuadas en la presa a lo largo de su historia.

En el marco de estas actuaciones se procedió a la búsqueda y rehabilitación de la galería de desagüe original de la presa, que se encontraba totalmente cegada y cuya salida, aguas abajo del terraplén, era desconocida al encontrarse por debajo del nivel

actual del terreno. El aparejo de la parte de galería que se encuentra mejor conservada, nos vuelve a señalar un origen muy posiblemente romano, al estar formado por grandes sillares de granito con una disposición constructiva de una gran calidad (Martín Morales, Aranda Gutiérrez et al. 2001).

Esta galería, que entendemos puede ser una pieza fundamental en el estudio global de la presa, no está asociada, por su cota, a la conducción de Los Milagros, y probablemente cumpliría funciones de desagüe de la presa, asociada o no a posibles usos situados aguas debajo de la misma. En cualquier caso, creemos que sería muy interesante la realización de estudios arqueológicos detallados acerca de la misma, aunque su ubicación en terrenos privados puede justificar parcialmente el olvido al que hasta ahora ha estado sometida.

En lo que respecta a la fábrica de la presa, las catas y sondeos del CEHOPU comprobaron que la misma está compuesta por un núcleo de calicanto (*opus caementitium*) revestido exteriormente por una pantalla de sillares y sillarejos en contacto con el agua (paramento visible) y otra pantalla interna de mampostería que

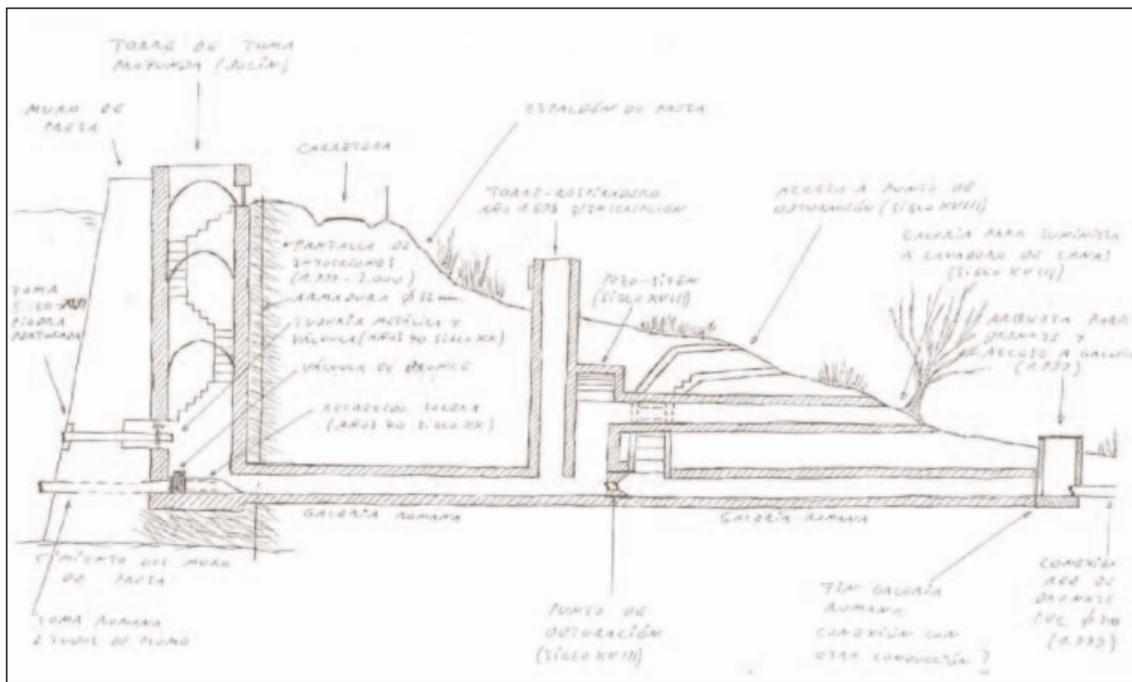


FIGURA 40

Esquema de salidas del bocín profundo, a partir de los descubrimientos realizados en 1999.

separaba el calicanto del terraplén, disposición bastante parecida a la de la presa de la Alcantarilla.

La sillería y mampostería está compuesta por materiales graníticos y grano-dioríticos principalmente, muy abundantes en la zona, aunque hay diversas hipótesis respecto a la ubicación de las canteras, encontrándose trazas de grandes extracciones en las inmediaciones de la presa de La Vega de Santa María, a 5-6 km de Proserpina.

El calicanto se fabricaría con los restos de sillares y mampuestos unidos con la cal obtenida en las canteras próximas del cerro de Carija. En cuanto al aparejo del revestimiento de aguas arriba (el de sillería), es evidente que está muy transformado por las diversas reparaciones que ha sufrido la presa a lo largo de la historia, por lo que en la actualidad es muy difícil asegurar si lo que vemos es original.

A este respecto, la realización de nuevas catas profundas en el trasdós de la presa podría arrojar alguna luz en esta cuestión, también serviría para completar el conocimiento de los contrafuertes de aguas abajo, cuya existencia se descubrió con ocasión de las catas efectuadas en el terraplén.

En el momento actual, el revestimiento de sillares del paramento de aguas arriba, plantea más preguntas que respuestas, ¿Por qué la forma semicircular de la parte inferior de los contrafuertes? Esta forma hidráulica es más propia del tajar de un puente que de una presa en la que no hay velocidad de paso del agua. ¿Por qué zonas con una disposición de sillares muy regular están seguidas de otras de mucha mayor heterogeneidad? Finalmente, ¿Por qué la labra y disposición de los sillares de los contrafuertes semicirculares no guarda relación alguna con los del paramento adyacente?

En cualquier caso creemos que es un campo de estudio que todavía no ha aportado todo lo que puede dar de sí, y en el que el completo alzado fotogramétrico que realizó la CHG en 1995 puede resultar una herramienta útil, frente a estudios parciales que pueden llevar a interpretaciones aventuradas.

En cuanto al terraplén, los estudios demostraron que junto a unas capas superiores formadas por arenas gruesas con algunos contenidos de arcillas, en la zona más profunda existe un nivel de limos con alto contenido en materia orgánica, y de características



FIGURA 41

Paramento inferior de la presa, en la zona de los contrafuertes centrales.

muy similares a las capas más profundas de los sedimentos hallados en el embalse. ¿Posible vertido sobre la presa más antigua?

Por lo que respecta a los sedimentos del embalse, se han realizado estudios palinológicos y geotécnicos. Los primeros, efectuados por el CEDEX y la Universidad de Alcalá de Henares, se realizaron sobre dos cortes de la columna de fangos en la fase final de su extracción, ambos situados en la zona

más próxima a las tomas profundas de la presa. Además el CEDEX extrajo también muestras inalteradas, mediante sondeos mecánicos, de toda la columna de limos para el estudio de sus propiedades geotécnicas.

El estudio estratigráfico de estos cortes puso de manifiesto la existencia de diversos periodos de tiempo en los que la presa estuvo fuera de servicio y posteriores reconstrucciones. La aparición de restos de sillares

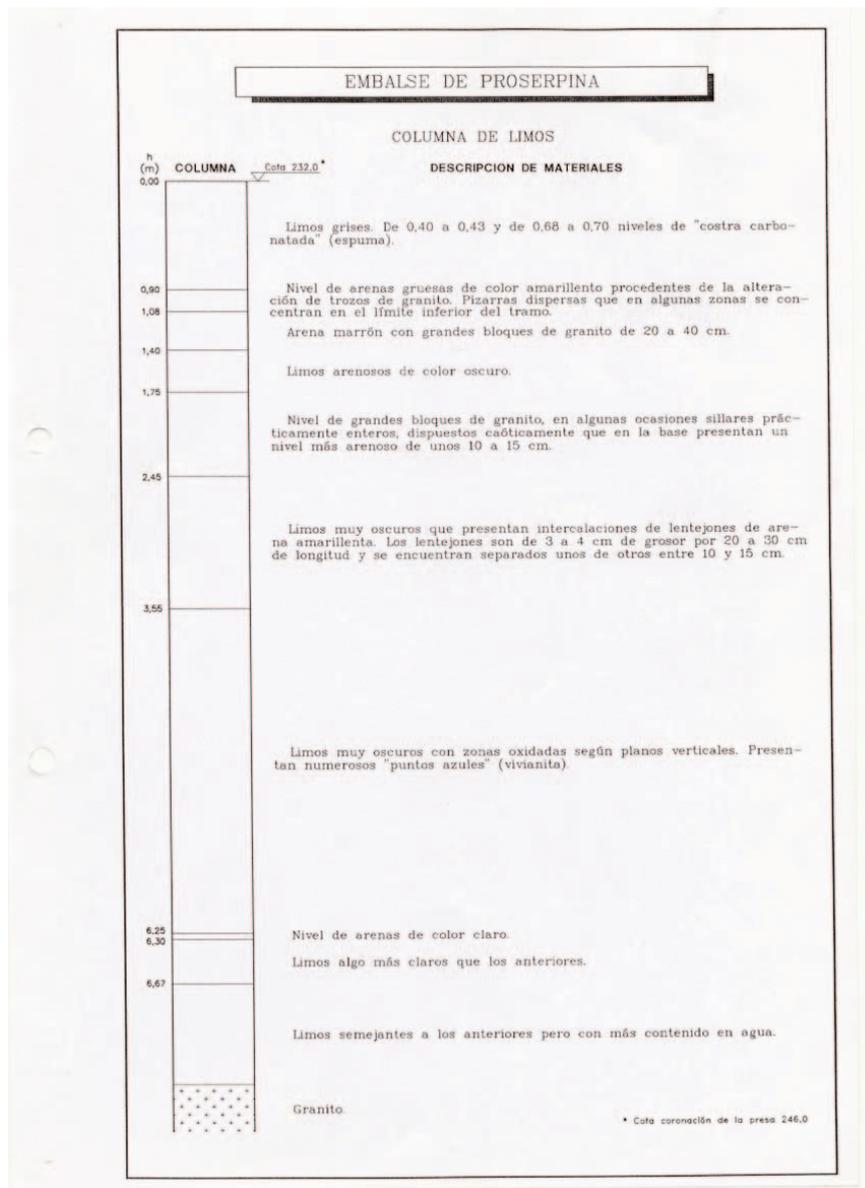


FIGURA 42

Estratigrafía del corte estudiado por la Universidad de Alcalá de Henares.

intercalados junto a los depósitos en niveles muy definidos, es un elemento que apoya esta hipótesis.

Datación cronológica

La cuestión de la datación cronológica de una fábrica antigua, a falta de referencias documentales sobre su construcción, es una tarea generalmente muy complicada y sujeta a importantes limitaciones desde un punto de vista científico. Los métodos de datación que generalmente se emplean intentan datar la fábrica por comparación tipológica o constructiva con otras estructuras similares de las que se tenga una certeza en cuanto a su cronología.

También se puede ubicar en el tiempo por su relación funcional con otras construcciones fechadas en una época concreta. Además existen métodos de caracterización de materiales que forman parte de una construcción y de los que se sabe su origen por su forma, su composición o manufactura. Por último, existen métodos de laboratorio que nos permiten conocer con bastante exactitud la cronología de materiales orgánicos, los dos más conocidos y utilizados son la dendrocronología y la datación por radiación de isótopos del carbono, más concretamente el carbono 14.

La relación completa de ensayos y estudios realizados con este fin en la presa de Proserpina es la siguiente:

- Estudio palinológico⁵ de los sedimentos del embalse.
- Estudio analítico de muestras de las tuberías de plomo originales.
- Caracterización química y metalográfica de las tuberías de plomo.
- Estudio por radiocarbono 14 de diversas muestras de madera.
- Estudio dendrocronológico⁶ de las mismas muestras.
- Estudio bacteriológico de las maderas.

Estudio palinológico de los sedimentos

De uno de los cortes mencionados en el apartado anterior, el CEDEX extrajo una serie de muestras con la finalidad de analizar e interpretar históricamente la secuencia polínica. Estas muestras fueron tomadas manualmente, en diversos estratos horizontales con un tubo de acero inoxidable y borde afilado, con la finalidad de tener suficiente material con la mínima mezcla de horizontes en cada punto.

Pese a que se disponía de las muestras tomadas mediante sondeos mecánicos verticales para la caracterización geotécnica de los sedimentos, se desecharon para este estudio, ya que el método de extracción supone una mayor probabilidad de contaminación entre los diferentes estratos. Así se reconoce en el informe de resultados donde se dice que *“La oportunidad de tomar las muestras directamente en los taludes de la excavación en curso apoyó la elección de este método, con preferencia sobre los sondeos mecánicos efectuados con fines diversos. Las muestras así tomadas evitan contaminaciones, tienen una mayor precisión temporal que las extraídas con sonda y permiten reconocer fácilmente los cambios verticales y horizontales.”* (Ruiz del Castillo y Peña Martínez 1997).

En estas muestras se realizaron dataciones por el método del carbono 14, en concreto sobre cinco de ellas pertenecientes a diferentes niveles que fueron enviadas al Laboratorio ISO Trace de la Universidad de Toronto para su datación por el método de espectrometría de masas con acelerador de partículas. Los resultados obtenidos, que se muestran en la tabla adjunta, presentan una secuencia lógica con su disposición en el corte y por su espectro polínico, excepto para la muestra situada en el nivel superior (el más próximo a la superficie) que dio una edad claramente inferior a la que le correspondería por su situación. Esta discrepancia la explican los autores en relación a una posible contaminación con partículas de carbono, ya observada al describir el corte de la excavación.

5 La palinología es el estudio de los pólenes, en este caso los que quedaron "atrapados" en los fangos del embalse.

6 La dendrocronología es el estudio de la edad de las maderas, a partir de sus anillos.

REFERENCIA LABORATORIO	PROFUNDIDAD (cm)	EDAD BRUTA AÑOS A HOY	FECHAS CALIBRADAS				
			100%	INT. CONF. 68,3%		INT. CONF. 95%	
-	0	-	1992	-	-	-	-
TO-5826 (P7)	58	730±50	1285	1275	1295	1225	1310
TO-5827 (P6)	88	240±50	1660	1645	1675	1625	1690
TO-5828 (P4F)	128	620±50	1345	1300	1405	1285	1420
TO-5829 (P4C)	263	1.430±50	640	605	660	545	675
TO-5830 (B)	379	1.880±50	130	70	235	0	260

TABLA 6

Dataciones de las muestras. Las sucesivas columnas se refieren a: Referencia del laboratorio, profundidad a la que se ha extraído (± 1 cm) y edades brutas y calibradas, expresadas estas en años d.C. (100% de probabilidad) e intervalos de variación (68,3% y 95% respectivamente).

Con respecto a las muestras de los sondeos mecánicos se dice literalmente: “Las dataciones obtenidas de las muestras de los sondeos mecánicos presentan, en general, mayores discordancias, incluso cifras que sobrepasan en varios milenios a la edad de la presa. Esto y su más difícil correlación con las muestras del sondeo manual, sobre las que hemos efectuado los análisis polínicos, aconseja desecharlas en este estudio”.

Por lo que al análisis polínico se refiere, se concluye que la tipología de vegetación existente en la zona ha tenido una cierta continuidad a lo largo del tiempo, las variaciones en las proporciones de las mismas se asocian a variaciones conocidas de la climatología de la zona (Font Tullot 1988) que por otra parte se correlacionan de forma muy aproximada con las dataciones obtenidas para los diferentes estratos de pólenes.

En las conclusiones del estudio se afirma que “*la datación de la base de los sedimentos confirma una antigüedad próxima a la estimada de la construcción de la presa*”. Por lo tanto, no es que solo una de las cinco muestras se date en época romana, sino que es la muestra basal (la del fondo) la que así se data. El conjunto completo de muestras, obtenidas a diferentes

niveles estratigráficos, nos permite conocer la evolución de toda la secuencia histórica de los sedimentos del embalse.

El estudio palinológico realizado a su vez por la Universidad de Alcalá de Henares, confirmó la tipología de vegetación del estudio del CEDEX y la estabilidad climatológica a lo largo del tiempo. Este estudio no efectuó dataciones de las muestras obtenidas.

Estudios realizados en las tuberías de plomo halladas en el paramento

Se extrajeron muestras de las tuberías de plomo halladas al retirar los limos del embalse, sobre las que se efectuó un estudio analítico (D. Salvador Rovira Lloréns, Museo de América) y una caracterización química y metalográfica (D. Antonio Ballester Pérez, Catedrático de la UCM, Facultad de Ciencias Químicas). Tanto los espesores como los diámetros de los tubos se ajustan a los calibres “oficiales” romanos, concretamente al “Tubo de 125” (*fistula centenum vicenum*), o bien al “Tubo de 100” (*centenaria*), según los calibres de uso por los fontaneros romanos (Frontino S. II). Por otra parte, la forma de unión,



FIGURA 43

Detalle de las tuberías de plomo originales.



FIGURA 44

Tapón "antiguo", ballado entre los fangos del pie de presa.

mediante soldadura longitudinal con rebaba exterior, también es típica de las tuberías de plomo romanas. Algunos datos de la caracterización química y metalográfica (elevados contenidos de cobre y antimonio) apuntan hacia una purificación incompleta del metal de plomo, típica de la época imperial romana (C.H.G. e Ingeniería 75 1996).

Estudios realizados en las muestras de madera encontradas

En el transcurso de las labores de limpieza y los sondeos posteriores aparecieron diversas piezas de madera, una pieza cónica (posible tapón) enterrada en los limos junto a las tuberías de plomo profundas. Otra de forma parecida pero de dimensiones más reducidas, encontrada en el fondo del bocín de margen derecha (profundo), una pieza cuadrada y larga encontrada en el interior de uno de los tubos de plomo y que presumiblemente se utilizó como desatascador desde el interior del bocín. Y una esquirla de madera que estaba embebida en el interior del calicanto del muro, y que apareció en uno de los sondeos realizados por el CEHOPU situado muy próximo a las tomas de plomo.

La aparición de estos restos orgánicos abre un abanico enorme de posibilidades de cara a establecer una posible datación exacta de la Presa, sobre todo con la última de las piezas aparecidas, ya que por su situación, en el interior del muro de la presa, es evidente

que corresponde al momento de construcción de la misma.

Sobre dos de las muestras, el tapón que llamaremos "antiguo" y que apareció enterrado en los limos y la pieza larga del interior de la tubería de plomo, se hicieron análisis bacteriológicos que no aportaron nada significativo para el trabajo que nos ocupa. Sus resultados pueden consultarse en el ya citado estudio de caracterización de Proserpina (C.H.G. e Ingeniería 75 1996).

En el Laboratorio de Dendrocronología del Centro de Investigación Forestal del INIA (Instituto Nacional de Investigaciones Agronómicas) se sometieron a análisis dendrocronológico, tres muestras de dos piezas, dos del tapón antiguo y una de la pieza larga, desgraciadamente las secuencias de anillos presentes en la madera no eran estadísticamente suficientes para estimar con precisión la antigüedad de las piezas (aunque de la pieza larga se apunta una fecha *post quem* 1609), por otra parte no existen patrones de referencia para el tapón antiguo, por lo que parece improbable su datación por estos métodos en el futuro (C.H.G. e Ingeniería 75 1996).

Por último se realizó el análisis por radiocarbono 14 de las cuatro piezas encontradas. Las tres primeras, en las que había material suficiente, fueron analizadas por el Laboratorio de Geocronología

del Instituto de Química-Física “Rocasolano” del CSIC, y la muestra encontrada en el sondeo del calicanto, al ser muy pequeña, no era posible su análisis por métodos convencionales por lo que se envió para su datación al *Centre for Isotope Research* de la Universidad de Groningen (Holanda). Los resultados obtenidos en las muestras correspondientes al tapón “antiguo” y la esquirla del calicanto confirman su origen en época romana, además estas dos muestras resultaron ser estadísticamente semejantes para un 95%, de acuerdo con la distribución de Student, por lo que se pudieron calibrar conjuntamente, resultando como edad más probable finales del Siglo I o primera mitad del Siglo II (52-147 D.C.) (C.H.G. e Ingeniería 75 1996). Los datos obtenidos se reflejan en el cuadro siguiente:

ubicación de las dos muestras de madera que fueron datadas como de origen romano, una embebida en el calicanto del muro, y la otra enterrada en los fangos del fondo, esta contaminación es muy poco probable, por lo que la precisión de los métodos utilizados es muy alta, estimándose que el error máximo de datación es de unos 50 años (C.H.G. e Ingeniería 75 1996).

Además, considerando que la datación se ha realizado sobre muestras de dos piezas diferentes, halladas en la misma zona pero en ubicaciones distintas, sin relación entre sí, datadas por dos métodos diferentes en dos laboratorios distintos y que además al ser estadísticamente semejantes en un 95% han permitido una calibración conjunta, obteniéndose los mismos resultados que en la datación efectuada individual-

MUESTRA	EDAD C-14 CONVENCIONAL (AÑO REF.: 1950)	EDAD CALIBRADA	EDAD MÁS PROBABLE*
Tapón antiguo*	1940 ± 30 años BP	8-134 d.C. (100%)	52-147 d.C. (90%)
Muestra del interior de la presa*	1850 ± 50 años BP	70-261 d.C. (94%)	
Pieza larga	230 ± 30 años BP	1635-1680 d.C. (44%) 1741-1803 d.C. (43%)	
Tapón moderno	Moderna		
* Las dos muestras son estadísticamente semejantes para un 95%, de acuerdo con la distribución de Student. Se pueden, por tanto, calibrar conjuntamente.			

TABLA 7

Resultados de la datación por Carbono-14 de las muestras de madera encontradas en la presa de Proserpina.

Sobre el método de datación por radiocarbono 14 cabe plantearse una reflexión acerca de su bondad. Es evidente que tiene sus limitaciones, pero estas apuntan sobre todo hacia la posible “contaminación” de las muestras en el proceso de toma de las mismas y su exposición a los cambios de concentración del carbono 14 atmosférico, como ya apuntábamos al explicar el proceso de selección de muestras del estudio palinológico efectuado por el CEDEX. Dada la

mente por cada laboratorio, se pone de manifiesto la precisión de la datación y confirma el origen romano de los materiales analizados.

Podría pensarse que aun siendo las piezas de origen romano, éstas podrían haber sido reutilizadas en época posterior, no pudiendo asegurar el origen romano de la presa. En nuestra opinión esta hipótesis, que en cualquier caso solo sería aplicable al tapón

antiguo, carece de lógica ya que no tiene sentido reutilizar varios cientos de años después un material que habría sufrido una gran degradación, existiendo abundante madera en la zona en cualquier época para confeccionar ese mismo tipo de pieza, lo que queda demostrado con el hallazgo en la propia presa de otras dos piezas de características similares, pero de época moderna.

PRESA DE CORNALBO

Como se comentó anteriormente, el Sistema hidráulico de Cornalbo, era otro de los que abastecían a la colonia *Augusta Emerita*, junto al de Proserpina y Rabo de Buey-San Lázaro. Está compuesto, análogamente al de Proserpina, por un canal alimentador, la presa y la conducción desde la presa hasta Mérida. En este caso existe una singularidad consistente en que la conducción debió ser anterior a la presa, alimentándose inicialmente tan solo de las aguas subálveas de la cuenca del Albarregas. Al inicio de la conducción entre la presa y Mérida se le une por la margen derecha una segunda conducción, denominada del Borbollón, que captaba las aguas del subálveo de este arroyo incorporándolas a la conducción principal.

Reseñas históricas

La conducción romana de Cornalbo es quizás, la menos estudiada de las tres que abastecían *Emerita Augusta*, aunque es la única de la que sabemos su nombre original "AQVA AVGVSTA", gracias al descubrimiento de una placa de mármol aparecida en la misma, junto al estadio municipal de Mérida.

El estudio de la conducción se ve dificultado además por la escasa presencia de restos de la misma que han llegado a nuestros días. Limitándose los mismos a las proximidades de la presa, el ramal de Borbollón y las cercanías de Mérida, habiendo desaparecido casi por completo en la zona intermedia.

En lo que respecta a la presa propiamente dicha, no aparecen referencias escritas de la misma hasta



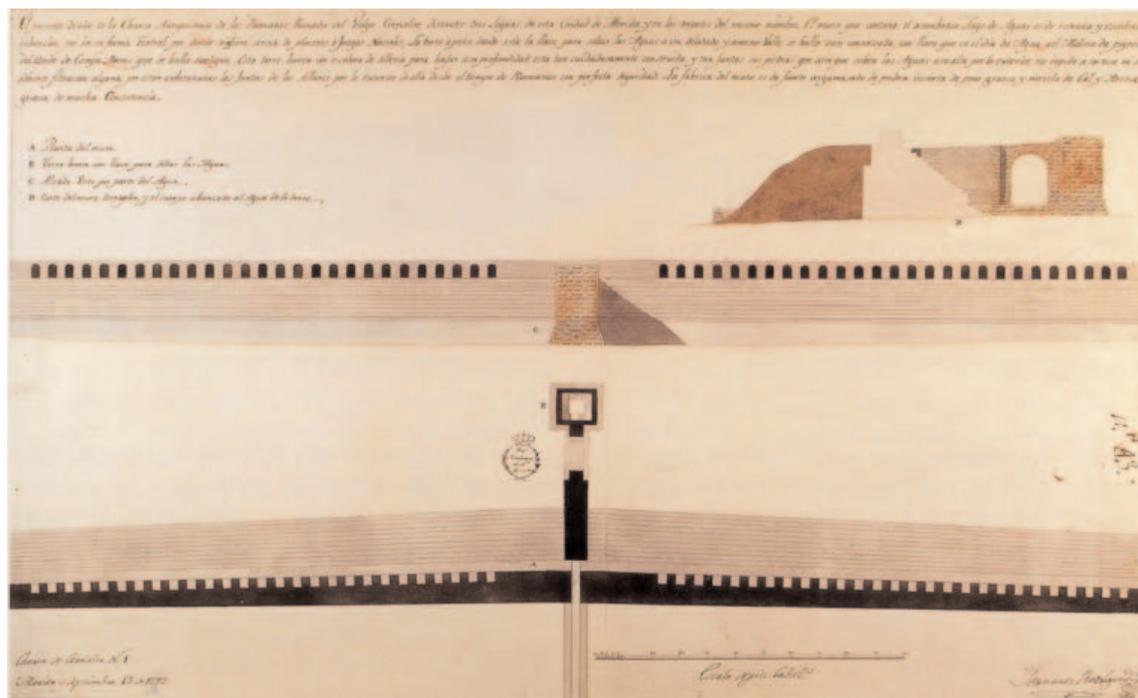
FIGURA 45

Lápida de mármol de la conducción de Cornalbo, en el Museo Nacional de Arte Romano (fuente: "Los bronzes romanos en España", Ministerio Cultura 1990).

1633, año en el que Moreno de Vargas hace una leve referencia a ella (comparándola con Proserpina) en su libro *Historia de la ciudad de Mérida*. En aquel momento, la presa estaba en uso para molineras y abrevadero de ganado. Posteriormente en el siglo XVIII, existe una petición de concesión para la construcción de una fábrica de papel por el Conde de Campomanes, a la sazón ministro de Carlos III.

Por algunos autores (Martín Morales, Arenillas Parra et al. 2000) se ha planteado la posibilidad de que la estructura reticular de esta presa se deba a esta época ya que existen otros ejemplos coetáneos de presas realizadas en España con la misma estructura (presa del Gasco, en la provincia de Madrid).

Cabe destacar aquí que para intentar sustentar esta hipótesis, se realizó una importante labor de investigación histórica en los archivos del Conde de Campomanes por parte de la empresa Ingeniería 75, y en especial de D^a Carmen Díaz-Guerra Jaén, gran estudiosa de la presa de Cornalbo, en búsqueda de cualquier dato que permitiera documentar dicha posible reparación, búsqueda que resultó totalmente infructuosa, aunque sí aparecieron documentadas otras actuaciones en la zona, como la reparación de la conducción del Borbollón.



“El presente diseño es la charca antiquísima de los Romanos llamada del vulgo Cornalvo, distantes tres Leguas de esta ciudad de Mérida y en los montes del mismo nombre. El muro que contiene el asombroso Lago de Aguas es de estraña y excelente inbención, por ser en forma teatral por donde refiere servía de placeres o Juegos Navales. La torre o pozo donde está la llave para soltar las Aguas a un dilatado y ameno valle, se haya vien conservada con llave que en el día da Agua al Molino de papel del Conde de Campo Manes, que se halla contiguo. Esta torre hueca con escalera de sillería para bajar a su profundidad está tan cuidadosamente construida y tan juntas sus piedras que aunque suben las Aguas a su alto por lo exterior, no impide su uso ni se adbierte filtración alguna por estar enbetunadas las juntas de los sillares por lo exterior de ella desde el tiempo de Romanos con perfecta seguridad. La fábrica del muro es de fuerte argamasa de piedra incierta de poco grueso y mezcla de Cal y Arena gruesa de mucha consistencia”

FIGURA 46

Plano de la presa de Cornalvo, realizado en 1797 por Fernando Rodríguez para la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando y transcripción de su leyenda (fuente: Arbaiza Blanco-Soler y Heras Casas 1998).

Sin embargo, a finales del siglo XVIII la presa parece encontrarse en un estado de conservación adecuado, según el plano de Fernando Rodríguez de 1797 (Arbaiza Blanco-Soler y Heras Casas 1998) que reproducimos, transcribiendo también por su interés las anotaciones del mismo, en las que sí se habla de la fábrica (molino) de papel de Campomanes. Este estado de la presa contrasta con el estado de ruina en que se encontraba en 1910, cuando el Estado empieza a interesarse en la posible rehabilitación de la presa, que se aprecia en la fotografía adjunta.

En cualquier caso, es esta gran reparación de principios del pasado siglo XX (1926) realizada por los Servicios Hidráulicos del Estado, la que determina la fisonomía actual de la presa. Por lo tanto, a lo largo de la historia la presa ha sufrido múltiples reparaciones y abandonos, por lo que su aspecto actual podría diferir mucho del original romano. Únicamente la torre de toma conserva clarísimos rasgos en su aparejo que nos llevan a afirmar su indudable origen romano, cuestión esta además compartida por todos los autores que han estudiado la presa.



FIGURA 47

Fotografía de 1910 de la torre de toma (antes de la reparación de 1926).

Estudios recientes

En 1997, la Confederación Hidrográfica del Guadiana, con la colaboración de la empresa Ingeniería 75, acometió la redacción del “*Estudio de caracterización del sistema hidráulico de las conducciones romanas a la ciudad de Mérida*” (C.H.G. e Ingeniería 75 1997). Este estudio se realizó con la finalidad de complementar los trabajos previos realizados en el sistema hidráulico de Proserpina, a los que nos hemos referido exhaustivamente en los anteriores apartados, con la intención de tener un estudio global de los tres sistemas de abastecimiento romanos a la colonia Emérita Augusta, incidiendo de forma especial en el estudio de los otros dos: Cornalbo-Borbollón y Rabo de Buey-San Lázaro.

El carácter de este estudio, en lo que a Cornalbo respecta, estuvo más centrado en el conocimiento, histórico-arqueológico, hidráulico y funcional de las conducciones, que en la propia estructura de la presa

de Cornalbo. En la actualidad, y por motivos de adaptación a la normativa vigente de seguridad de presas en España, la Confederación Hidrográfica del Guadiana, con la colaboración de la empresa consultora TYPESA, está desarrollando los trabajos comprendidos en el “*Pliego de bases de estudios de caracterización estructural, estabilidad y mejora de las condiciones de seguridad de la presa de Cornalbo*”. Aunque en la fecha de redacción del presente artículo ya se conocen algunos datos interesantes sobre la estructura interna de la presa, no es posible establecer conclusiones definitivas hasta la completa finalización de los trabajos.

Cabe señalar, no obstante que los métodos utilizados han sido por un lado la prospección geofísica (georadar, sísmica de reflexión y refracción, microgravimetría...) y por otro la realización de sondeos, con y sin recuperación de testigos, y también testificados por métodos geofísicos, complementado todo ello con otras labores de investigación en campo y laboratorio.

Los resultados obtenidos son de enorme interés de cara al conocimiento real de las condiciones de seguridad de la presa y el diseño de actuaciones de mejora de estas, realmente imprescindibles, sin embargo aportan muy poco, por desgracia, a una posible identificación y datación de las diversas fases constructivas de la presa. Un resumen de los estudios realizados y los resultados preliminares obtenidos fue presentado en septiembre del pasado año al II Congreso de Historia de las Presas (Aranda Gutiérrez, Sánchez Carcaboso et al. 2006).

Comparación con el sistema de Proserpina

La semejanza tan importante entre los sistemas de Proserpina, Cornalbo y la Alcantarilla (Canal Alimentador-Presa-Conducción) en cuanto a su concepción global, nos llevan a afirmar que su construcción es producto de una misma “escuela” (Martín Morales, Arenillas Parra et al. 2002) y que por las mismas razones que en los otros dos sistemas, la presa de Cornalbo es parte inseparable de su sistema de abastecimiento, si bien en este caso la conducción también captara aguas subálveas, lo que

parece indicar un origen anterior de la misma.

Esta prelación de la conducción respecto a la presa, apuntada por la mayor parte de los autores, como se dijo, se sustenta por un lado en la atribución a la época fundacional de la conducción (Hiernard y Álvarez Martínez 1982) y por otro en la complejidad constructiva de la presa, con soluciones de ingeniería más evolucionadas que en Proserpina o la Alcantarilla, especialmente relevantes en la ubicación exenta de la torre de toma o en la estructura reticular del paramento de aguas arriba.

En nuestra opinión, por las razones de garantía y disponibilidad de recursos hídricos apuntadas en apartados anteriores, pensamos que la presa no debió ser muy posterior al resto de la conducción. En cualquier caso caben pocas dudas de que la torre de toma que conocemos (por supuesto, junto con la galería que le da salida aguas abajo de la presa) solo se justifica por la existencia de una presa situada aguas abajo, por lo que dado que el origen de la torre y galería de toma es claramente romano, la presa asociada a ella era igualmente de este origen.

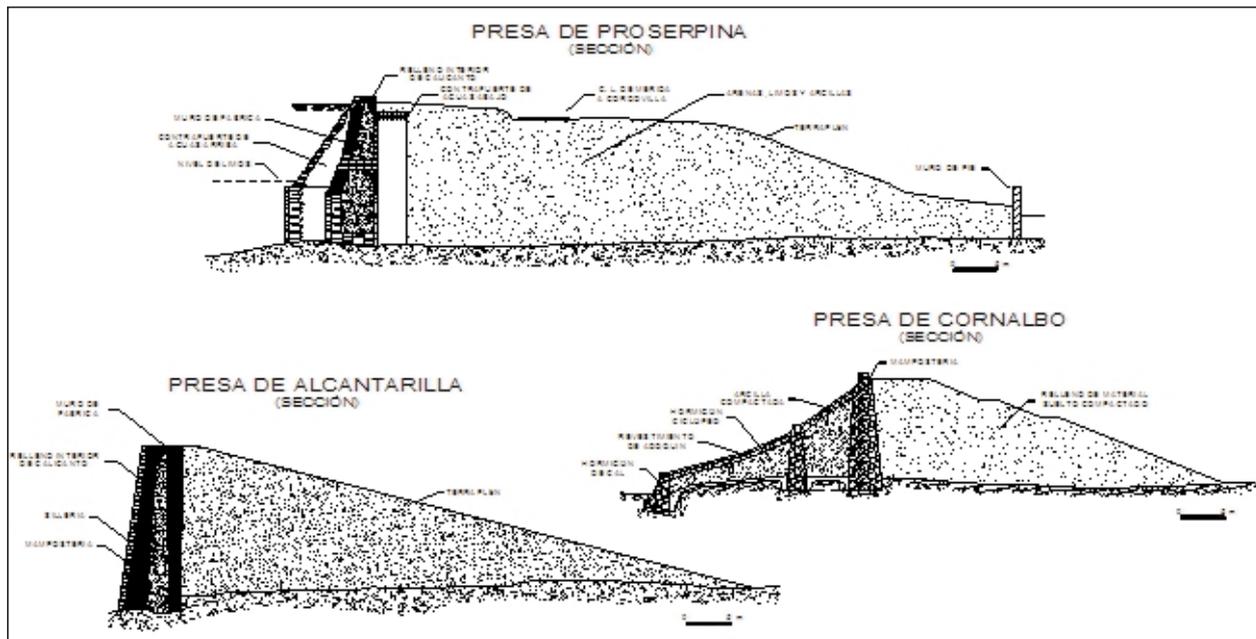


FIGURA 48

Secciones de las presas de Proserpina, Cornalbo y La Alcantarilla (fuente: Miguel Arenillas).

REFLEXIONES HISTÓRICAS

Pensamos que hay suficientes argumentos para demostrar que las presas de Proserpina y Cornalbo fueron construidas en época romana.

A lo largo de este trabajo hemos venido argumentando las distintas cuestiones que hicieron necesaria la construcción de dichos embalses; entre los que debemos resaltar por un lado la escasa disponibilidad del recurso hídrico en la zona, y por otro las importantes necesidades de la Colonia (industrias, termas, fuentes y jardines —públicos o privados—, etc.) a todas luces imposibles de atender con las escasas aguas provenientes de los manantiales de este área.

El primer abastecimiento de agua con que contó *Augusta Emerita*, según opinión de la gran mayoría de autores que han trabajado sobre el tema (Fernández Casado 1972; Jiménez 1976, Hiernard-Álvarez Martínez 1982; Castillo 2001; Álvarez Martínez 1997; 2002) fue la conducción de Cornalbo (*Aqua Augusta*) sin la presa. Esta captación, no excesivamente abundante en agua, procedía directamente de manantiales subálveos, y mediante conducción cerrada llegaba a la ciudad, y en concreto a uno de los puntos más elevados de la urbe. En un principio, dado el tamaño de la ciudad y sus necesidades, debió cumplir sus objetivos; sin embargo, con el paso del tiempo, las necesidades de agua de la Colonia tuvieron que ir adaptándose al crecimiento poblacional y a los menesteres que la urbe requería. En palabras de Jiménez (Jiménez 1976b) el crecimiento poblacional de *Emerita* fue progresivo.

En un segundo momento, cuando la ciudad cuenta ya con una población estable importante, y los problemas del agua van siendo cada vez más graves, sobre todo en los meses de estío, en los que el río *Ana* fluía a duras penas, el *Barraeca* estaba seco en la mayor parte de su curso, los pozos muy bajos, y los aljibes de las casas adineradas como única reserva, sería cuando se alzarán voces para solventar ese gran problema. La única solución factible que pudieron encontrar fue la construcción de dos grandes presas, cuyos embalses sin duda podrían paliar tan endémica situación: Proserpina y Cornalbo.

Tras un estudio de los alrededores de *Augusta Emerita*, valoraron las distintas posibilidades que les ofrecía el terreno, comprobando que contaban con muy pocas fuentes en los alrededores que les proporcionasen un caudal abundante de agua; de ahí que tuviesen que recurrir a las aguas superficiales. Los sitios adecuados para poder establecer embalses ya eran conocidos por los romanos de antiguo, se trataba de las vaguadas del arroyo de las Pardillas y del nacimiento del Albarregas. Ambas zonas podían proporcionarles, mediante la adecuada regulación, un volumen considerable de agua. Posiblemente la precisa para resolver las necesidades de la Colonia.

En la zona de Proserpina, en las proximidades del arroyo de las Pardillas, se habían explotado canteras de granito, cuyos huecos probablemente eran reservorios de las aguas de lluvia, no manantiales. En ese lugar, aprovechando el curso estacional del arroyo, parece muy probable que se hubiera construido ya una primera presa cuya finalidad en estos momentos se nos escapa, pero que a todas luces no se ejecutó para abastecer del líquido elemento a la ciudad. Decimos esto, como ya expusimos en el apartado correspondiente, pues la cota de este embalse no permitiría el aporte a la conducción de Los Milagros, lo cual invalida la posibilidad del abastecimiento de agua a *Emerita* desde este primer embalse.

Como se comentó, la cronología de los sedimentos depositados cerca del fondo del embalse nos lleva aproximadamente a los inicios del siglo II d.C.; fecha similar a la aportada por los análisis de carbono-14 para el tapón de madera descubierto en las inmediaciones del desagüe de fondo. El proceso de depósito de estos sedimentos iniciales llevaría varias decenas de años, y dado que dicho proceso comenzaría con la puesta en servicio de la primera presa, cabe suponer que ésta debió realizarse posiblemente en época Flavia.

La existencia de esta primera presa, mucho más pequeña, debió ser valorada convenientemente por los romanos, tanto por conocer ya las aportaciones que su cuenca les podía proporcionar, como por el abaratamiento que les suponía de la nueva obra.

La construcción de la nueva presa requeriría sin duda el vaciado de la primitiva durante su ejecución, que debió durar varios años a tenor de la envergadura de la obra y de los medios con que en esos momentos contaban, lo que probablemente quedara plasmado en los sedimentos, en los que se aprecia una capa de arena (profundidad entre los 6,25 y 6,30 metros) que corresponde a un periodo de vaciado del embalse, relativamente temprano, que bien pudiera haber sido debido a dicho motivo.

El nuevo embalse, ya con cota y agua embalsada suficiente, contó con un desagüe de fondo que vertía directamente al arroyo (en siglos posteriores se desvió para otros fines) y una salida a media altura que llevaba el agua a través de la conducción de Los Milagros a la ciudad. Esta salida sí tiene cota suficiente para que discurra el agua según los parámetros requeridos.

En un reciente trabajo de Feijoo (Feijoo 2005) se apuntaba la posibilidad que el acueducto tomase directamente el agua de los manantiales allí existentes; sin embargo, este planteamiento no nos parece posible por varios motivos:

1 – Los manantiales en zonas graníticas (estamos en un batolito granítico) son escasos, y en el caso que nos ocupa prácticamente inexistentes. Lo que hay son “remanadizos”, no verdaderos manantiales, que en verano se secan.

2 – Caso de existir manantiales, el caudal que darían sería mínimo para una obra del coste y la envergadura de la conducción de Los Milagros. Obra que más de la mitad del año estaría sin uso, limitándose a los meses de pluviosidad abundante. Algo inconcebible para la mentalidad romana.

3 – Se plantea además un problema de cotas que hace inviable ese planteamiento, ya que el lecho originario de ese arroyo está en torno a la cota 225, quedando por tanto, el canal muy por encima de la zona de afloramiento de las posibles aguas subterráneas, que no podría estar muy alejada del cauce. Además, cuando se produjo el vaciado de la presa no apareció ningún resto que pudiese inducir a plantear la presencia de

alguna antigua galería subterránea, como sí ocurre en Cornalbo.

La nueva presa de Proserpina se levantó, probablemente, según se desprende de las tres dataciones por carbono-14 realizadas, en un arco cronológico que comprende el gobierno de los emperadores hispanos. Este embalse, atendiendo a la argumentación planteada, se construyó para suplir la importante carencia de agua que debió sufrir la ciudad en esa época. Este segundo embalse y la conducción de Los Milagros van íntima e indisolublemente unidos, independientemente del uso que del líquido elemento hiciesen a la llegada a la ciudad.

Lo que sí está claro es que, en época romana, sin las presas de Proserpina y Cornalbo la urbe no podía abastecerse convenientemente, y en los meses de estío se presentarían graves problemas. Como ocurrió en etapas posteriores con mucha menor población, donde las autoridades buscaron las más diversas soluciones para paliar la carencia de agua. Situación que hoy día está resuelta gracias al gran embalse de Alange.

En el caso de la presa de Cornalbo, se repite el mismo esquema que en Proserpina, aunque cambian algunos parámetros: un amplio vaso de embalse (Gijón, et al. 2003) que puede albergar un volumen considerable de agua, y la presencia de unas canalizaciones anteriores que llevaban el agua a la ciudad, el *Aqua Augusta*.

Esta primitiva conducción recogía el agua, en este caso directamente de los manantiales subálveos, y a través de canalización cerrada discurría hasta la ciudad (Jiménez 1976). Siguiendo las recomendaciones vitrubianas cumplía perfectamente los requisitos necesarios para el consumo humano. El agua llegaba a las inmediaciones del teatro, escuela Giner de los Ríos, donde se bifurcaba: un ramal se dirigía hacia los edificios de espectáculos y otro hacia el cerro de San Albín. No sabemos si esta ramificación es de la misma época o se realiza en una etapa posterior. Lo que sí parece claro, al igual que ocurrió en Proserpina, es que en un segundo momento, ante las carencias continuadas de agua que sufría *Emerita* y el

escaso caudal que proporcionaba la conducción de Cornalbo, decidieron construir una gran presa; en este caso aprovechando la infraestructura ya existente. Con los dos embalses, y a través de sus respectivas canalizaciones, llevaban el agua a los puntos más altos y extremos de la urbe, desde donde, por gravedad, podía repartirse por toda la Colonia.

Mención aparte es el uso que se dio al agua a la llegada a la ciudad. Si nos atenemos a las recomendaciones de Vitrubio, el agua de los embalses no sería la más aconsejable para el consumo humano, aunque en situaciones de necesidad, y en aquellas zonas donde había escasez, está claro que recurrían a estas aguas para abastecerse.

Además, como vimos anteriormente, en el caso de la conducción de Cornalbo, el agua procedente del embalse vendría normalmente mezclada, a partes iguales, con la de los manantiales subálveos, con lo que su calidad sería intermedia entre la de ambos tipos de agua.

Y por otra parte, ya vimos que las aguas de los embalses emeritenses podrían ser consumidas con ciertas garantías, en particular si se ejercía un control sobre los usos del suelo de las cuencas vertientes a los embalses (evitando o limitando la ganadería y otros vertidos) circunstancia que consideramos que debía darse con casi total seguridad.

Sin embargo, el consumo humano directo no era el único uso que se le daba al agua en *Emerita*. Si retomamos los argumentos esbozados al principio de este capítulo, vemos que la ciudad se encuentra ubicada en una zona de baja pluviosidad, con estíos acusados, donde las aguas son poco abundantes, por lo que la necesidad del líquido elemento era fundamental, no sólo para beber, sino para muchos otros usos, como el abastecimiento de las industrias, las termas públicas (que consumían abundante agua) las fuentes ornamentales y los jardines públicos, etc; así como para uso doméstico de las viviendas acomodadas (termas privadas, jardines, etc.).

Pensamos que las presas de Proserpina y Cornalbo fueron las encargadas de aportar gran parte del agua

precisa para todo ello. De hecho, cada una de ellas canalizó sus aguas hacia los puntos más elevados de la ciudad: uno al oeste y otro hacia el este, cerro del Calvario, el primero, y cerro del teatro-San Albín, el segundo. Casualmente, o no, las zonas donde se han localizado los grandes conjuntos artesanales e industrias (Méndez 2004; Palma 1998; Sánchez-Alba 1998). Tampoco podemos olvidar los 20 conjuntos termales (entre públicos y privados) que se han documentado hasta estos momentos en la ciudad (Barrientos 1997). Complejos que no podían ser abastecidos únicamente por pozos o aljibes, sobre todo en los meses de verano.

Volviendo a la problemática de la romanidad o no de las presas de Cornalbo y Proserpina, Feijoo en el ya referido artículo, plantea que la construcción de las mismas se pudo producir en época medieval, cuestión en la que discrepamos abiertamente, por varios motivos:

1 – Es imposible concebir el acueducto de los Milagros sin la presa de Proserpina, ya que, como reiteradamente venimos exponiendo, la zona carece de manantiales suficientes que puedan abastecerlo, además de otros problemas ya comentados.

2 – La capacidad económica para afrontar obras de esa envergadura en la época medieval era mínima. Como vimos, en este periodo no conocemos la construcción de embalses de esta magnitud. Sí a partir del siglo XVI. De hecho, las grandes reformas que se hicieron en estas presas se llevan a cabo a partir de esas fechas, como lo atestiguan las pruebas documentales.

La ciudad de Mérida quedó reducida tras el dominio sarraceno prácticamente al actual centro urbano, como lo demuestran las pruebas arqueológicas (Alba 2004). En los planos del siglo XVIII se aprecia como el área del Calvario eran tierras de labor, al igual que la zona del teatro-Cerro de San Albín, desde la plaza de Santo Domingo. Con este retranqueo tan importante de la ciudad, para los emeritenses era inviable acometer unas obras de tal volumen; y más aún si no era para un uso tan fundamental como el abastecimiento público, que seguiría

resultando problemático, sino que su uso iba a ser de tipo agrícola-industrial (riego de campos, molinos, lavadero de lana, etc.).

3 – El lugar elegido para el emplazamiento de las presas. ¿En terreno público o privado? Sabemos por las referencias del siglo XVI, en adelante, que la corporación municipal emeritense reseña las actuaciones que se hacen en ambas presas, fundamentalmente en Proserpina. Esto nos lleva a plantearnos que las presas se debieron levantar en terreno público. Ahora bien, siguiendo con la argumentación expuesta por Feijoo, mientras estuvieron en funcionamiento los acueductos, la zona de los manantiales de los que se abastecía debían estar en terreno público (también podrían haber estado en terrenos privados, aunque esto no era lo normal). En cualquier caso, una vez que los acueductos dejan de funcionar, fecha que pensamos puede establecerse en torno al siglo VIII d.C.; esas tierras debieron pasar a dominio privado. Si fue así, estarían formando parte de las grandes haciendas medievales, por lo que la construcción de los embalses hubiera sido acometida por los respectivos dueños de las tierras, que eran los beneficiarios inmediatos, y no parece probable que un particular contara con los medios necesarios para acometer obras de tal magnitud.

Ahora bien, si nos encontramos en terreno público sería el municipio el que se haría cargo de la construcción, y como hemos visto la reducida ciudad de Mérida, en esos tiempos, tampoco contaba ni con los medios ni con la economía necesaria. Pero hay más, aunque los terrenos que supuestamente iban a ocupar las presas fuesen públicos y contasen con los medios necesarios para su construcción, las tierras que bordeaban el embalse eran privadas, con lo que los beneficios que podían obtenerse de ese agua embalsada repercutían ampliamente en particulares y no en la comunidad, ya que las tierras aledañas no eran comunales. Y si lo llegaron a ser, cuestión que no parece factible a tenor del reparto de fincas, sería descabellado pensar en la construcción de esas grandes presas únicamente para dar agua al ganado (cuando con una más pequeña era suficiente), ya que las tierras por debajo de la presa, las más aptas para el cultivo, sí eran particulares, y eran las que se podían regar.

En definitiva, no vemos antes del siglo XVII ningún colectivo capaz de levantar las presas de Proserpina y Cornalbo que no sean los romanos, independientemente de las razones expuestas con anterioridad. Pensamos que es más factible, atendiendo al nivel de vida y las necesidades de agua que tenía la sociedad romana, que estos construyesen ambos embalses, con sus respectivas conducciones para abastecer de agua a *Augusta Emerita*. Lo que se realizó a partir de la Edad Media fue utilizar esas grandes construcciones ya existentes para fines distintos a los originales (riego, molinos, etc.).

Augusta Emerita, en época romana contó con tres abastecimientos hidráulicos: Proserpina, Cornalbo y Rabo de Buey-San Lázaro. Bien es cierto que no todas fueron levantadas a la vez, sino que se fueron ejecutando a medida que las necesidades de la población lo fueron requiriendo, obedeciendo a planes perfectamente orquestados. Lo que sí parece cierto es que con las tres construcciones quedó garantizado el suministro de agua a la urbe en las etapas de estío, sin que con ello queramos ignorar que sin duda se darían periodos de sequía en los que estos suministros fuesen insuficientes y se padeciesen restricciones.

CONCLUSIONES

En los capítulos anteriores hemos tratado de ir aproximándonos cada vez más a los casos concretos de las presas de Proserpina y Cornalbo, comenzando por fijar el marco general, técnico e histórico donde puede encuadrarse a las mismas, comprobando su necesidad por razones cuantitativas para abastecer a la Mérida romana y demostrando la viabilidad cualitativa de dicho abastecimiento, para finalmente exponer los diversos estudios y trabajos, en particular sobre la presa de Proserpina.

Como resultado y resumen de todo lo anterior, podemos extraer las siguientes conclusiones:

- Dadas nuestras condiciones hidrológicas, la construcción de presas, aunque costosa y compleja, es una necesidad imprescindible en nuestro país si se quiere disponer de agua en cantidad suficiente. Esta necesi-

dad es más perentoria en cuencas de baja regulación natural, como la del Guadiana.

- La construcción de presas en España en época romana y concretamente en el periodo altoimperial alcanzó un nivel muy elevado, tanto en lo relativo a número de realizaciones como en cuanto a importancia de algunas de ellas, nivel que se va perdiendo en ambos aspectos en la etapa bajoimperial, alcanzando un mínimo durante el periodo medieval, y no recuperándose hasta el Renacimiento. Por tanto, una datación romana de Proserpina y Cornalbo encaja muy bien con lo que se conoce sobre presas romanas en España, mientras que una cronología posterior plantearía serios problemas.

- Aunque el abastecimiento de agua más habitual a las ciudades romanas era preferentemente desde manantiales, el uso de azudes de derivación y de embalses creados por presas se utilizaba cuando era preciso, existiendo numerosos casos, algunos de ellos muy bien documentados.

- En el área de Mérida no existen manantiales caudalosos, por lo que para garantizar el abastecimiento de agua a la ciudad romana tuvieron que recurrir a captar aguas subálveas, mediante largas conducciones, y aguas superficiales previa regulación de las mismas en los embalses creados por las presas de Proserpina y Cornalbo.

- Estos embalses aportaban más de la mitad del agua total conducida a la ciudad, que por otra parte no era mucha según los estándares romanos, por lo que era imposible garantizar el abastecimiento de la Mérida romana sin contar con los mismos.

- Un embalse tiene cierto efecto autodepurador de sus aguas, mediante los fenómenos de dilución y dilución-equivalente, por lo que si no existen aportes de contaminación importantes, debidos a actividades humanas y ganaderas, las aguas del mismo pueden tener una calidad adecuada.

- La calidad del agua embalsada en la actualidad en Cornalbo es bastante alta, lo que permitiría su empleo para abastecimiento en la época romana si se

eliminara la contaminación de origen ganadero. En el caso de Proserpina, la calidad actual es algo peor, pero ello se debe a la intensa presión antrópica a que está sometido dicho embalse, circunstancia que no se daba en la época romana.

- Sobre la presa de Proserpina se han realizado una amplia serie de estudios con todo rigor científico, y aunque persisten algunos grandes interrogantes, los resultados obtenidos en cuanto a una posible datación, y en concreto las pruebas del carbono 14 (realizadas por tres Instituciones distintas) son concordantes, confirmando todos ellos el origen romano de la misma.

- Sobre la presa de Cornalbo, la Confederación Hidrográfica del Guadiana está realizando una serie de estudios, todavía no finalizados, que se espera puedan aportar datos de interés sobre la misma, así como servir de base al diseño de unas necesarias actuaciones de rehabilitación de la presa.

Por lo tanto, entendemos que no existen razones de importancia para dudar de lo que, por otra parte, siempre se había sabido, que las presas de Proserpina y Cornalbo son de origen romano y eran parte imprescindible de los sistemas hidráulicos romanos de abastecimiento a *Augusta Emerita*.

BIBLIOGRAFÍA

- ABADÍA DOÑAQUE, J. C., 1997: Algunos comentarios sobre el abastecimiento de agua a *Caesar Augusta*, *Cuadernos de Aragón*, 23, 5-32.
- ADAM, J. P., 1996: *La Construcción Romana, Materiales y Técnicas*, León.
- ALBA CALZADO, M., 2004: Apuntes sobre el urbanismo y la vivienda de la ciudad islámica de Mérida, *Mérida excav. arqueol. 2001*, 7, 417-438.
- AGUILÓ ALONSO, M., 2002: *La enjundia de las presas españolas*, Madrid.
- ALMAGRO GORBEA, A., 2002: El acueducto de Albarracín a Cella (Teruel), *ARTIFEX Ingeniería romana en España*, Madrid, 213-240.
- ALMEIDA, D. F., 1969: Sobre a barragem romana de *Olisipo* e seu acueducto, *O Arqueólogo Português*, 3, 179-189.

- ÁLVAREZ MARTÍNEZ, J. M^a., 1976: La villa romana de “el Hinojal” en la dehesa de “las Tiendas” (Mérida), *Noticiario Arqueológico Hispánico. Arqueología*, 4, 433-488.
- ÁLVAREZ MARTÍNEZ, J. M^a., 1997: En torno al acueducto de “Los Milagros” de Mérida, *Segovia y la arqueología romana*, Barcelona, 49-60.
- ÁLVAREZ MARTÍNEZ, J. M^a. *et alii*, 2002: Arqueología de las presas romanas de España: los embalses de *Emerita Augusta* y de sus alrededores. Estado de la cuestión, *Actas del I Congreso Nacional de Historia de las Presas (Mérida, Noviembre 2000)*, Badajoz, 199-226.
- ÁLVAREZ SÁENZ DE BURUAGA, J., 1979: El acueducto de Rabo de Buey-San Lázaro de Mérida, *Estudios dedicados a Carlos Callejo Serrano*, Cáceres, 1-16.
- ARANDA GUTIÉRREZ, F. *et alii*, 1997: *El sistema hidráulico romano de abastecimiento a Toledo*, Toledo.
- ARANDA GUTIÉRREZ, F. y SÁNCHEZ CARCABOSO, J. L., 2002: Las grandes desconocidas entre las presas romanas principales: la Alcantarilla y Cornalbo, *Actas del I Congreso Nacional de Historia de las Presas (Mérida, Noviembre 2000)*, Badajoz, 267-278.
- ARANDA GUTIÉRREZ, F., *et alii*, 2006: Trabajos de caracterización de la presa de Cornalbo, *Actas del II Congreso Nacional de Historia de las Presas (Burgos, Octubre 2006)*. (en prensa)
- ARBAIZA BLANCO-SOLER, S. y HERAS CASAS, C., 1998: Fernando Rodríguez y su estudio arqueológico de las ruinas romanas de Mérida y sus alrededores (1794-1797), *Academia. Boletín de la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando*, 87, 309-365.
- ARCE, J., 1986: *El Último siglo de la España Romana (284-409)*, Madrid.
- ARENILLAS PARRA, M., 2002: Hidrología e hidráulica del solar Hispano. Las Presas en España, *Actas del I Congreso Nacional de Historia de las Presas (Mérida, Noviembre 2000)*, Badajoz, 249-269.
- ARENILLAS PARRA, M.; CORTÉS GIMENO, R. *et alii*, 2001: *La presa de Almonacid de la Cuba. Del mundo romano a la Ilustración en la cuenca del río Aguasvivas*, Aranjuez.
- BARRIENTOS, T., 1997: Baños romanos en Mérida (estudio preliminar), *Mérida excav. arqueol. 1994-1995*, 1, 259-284.
- BELTRÁN LLORIS, F., 2006: An irrigation decree from roman Spain: the *Lex riui Hiberensis*, *Journal of Roman Studies*. (en prensa)
- CASTILLO BARRANCO, J. C., 2001: *Tipologías y Materiales de las presas romanas en España*, Madrid. (Tesis doctoral inédita)
- CASTILLO BARRANCO, J. C. y ARENILLAS PARRA, M., 2002: Las presas romanas en España, propuesta de inventario, *Actas del I Congreso Nacional de Historia de las Presas (Mérida, Noviembre 2000)*, Badajoz, 253-266.
- CELESTINO, R., 1980: Los sistemas romanos de abastecimiento de agua a Mérida. Estudio comparativo para una posible cronología, *Revista de Obras Públicas*, 3.187, 959-967.
- CEDEX, 1992: *Análisis de las condiciones de eutrofia del embalse de Proserpina y de las posibles medidas para su control: Estudio comparativo con el embalse de Cornalbo*. (Informe Técnico para la Dirección General de Obras Hidráulicas del M.O.P.T.)
- CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADIANA e INGENIERÍA 75, 1996: *Estudio de caracterización histórica, funcional y constructiva de la presa romana de Proserpina*.
- CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADIANA e INGENIERÍA 75, 1997: *Estudio de caracterización histórica, funcional y constructiva de las conducciones romanas de Mérida*.
- CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL TAJO, 1999: *Historia del abastecimiento y usos del agua en la ciudad de Toledo*, Madrid.
- DÍEZ-CASCÓN SAGRADO, J. y BUENO HERNÁNDEZ, F., 2001: *Ingeniería de presas, presas de fábrica*, Santander.
- ESCHEBACH, H. S., 1983: *Die Oeffentlichen Laufbrunnen Pompejis. Katalog Und Beschreibung*.
- FABRE, G., FICHES, J. L. *et alii*, 2005: Vida y muerte del acueducto de Nîmes, *Investigación y Ciencia*, 343, 40-48.
- FEIJOO MARTÍNEZ, S., 2005: Las presas y los acueductos de agua potable, una asociación incompatible en la antigüedad: El abastecimiento en *Augusta Emerita*, *Augusta Emerita. Territorios, Espacios, Imágenes y Gentes en Lusitania Romana, Monografías Emeritenses*, 8, ed. Nogales, T., Mérida, 172-205.
- FERNÁNDEZ-GALIANO, D., 1998: La Villa Romana de Carranque, *Hispania, El legado de Roma*, Madrid, 437-440.
- FERNÁNDEZ CASADO, C., 1972: *Acueductos romanos en España*, Madrid.

- FERNÁNDEZ CASADO, C., 1985: *Ingeniería hidráulica romana*, Madrid.
- FONT TULLOT, I., 1988: *Historia del clima de España (Cambios climáticos y sus causas)*, Madrid.
- FRONTINO, 1985: *Los acueductos de Roma*, Madrid.
- FUNDACIÓ AGBAR, 2004: *AQVA ROMANA. Técnica humana y fuerza divina*, Barcelona.
- GARCÍA-DIEGO, J. A.; DÍAZ MARTA, M. *et alii*, 1980: Nuevo estudio sobre la presa romana de Consuegra, *Revista de Obras Públicas*, 3.181, 487-505.
- GIJÓN, E.; ALVARADO, M. y JIMÉNEZ, D., 2003: Abastecimientos hidráulicos a *Augusta Emerita*: las conducciones de Rabo de Buey-San Lázaro y Cornalvo, *Mérida, Ciudad y Patrimonio*, 5, 17-38.
- GONZÁLEZ TASCÓN, I., 2002: La ingeniería civil romana, *ARTIFEX Ingeniería romana en España*, Madrid, 33-176.
- GONZÁLEZ TASCÓN, I.; VÁZQUEZ DE LA CUEVA, A. *et alii*, 1994: *El acueducto romano de Caesar Augusta, según el manuscrito de Juan Antonio Fernández (1752-1814)*, Madrid.
- GORGES, J. G. y RICO, C., 1999: Barrages ruraux d'époque romaine en moyenne vallée du Guadiana, *Economie et Territoire en Lusitanie Romaine*, eds. Gorges, J. G. y Rodríguez Martín, F. G., Madrid, 157-195.
- GORGES, J. G. y RODRIGUEZ MARTÍN, F. G., 1999: Un exemple de grande hydraulique rurale dans l'Espagne du Bas-Empire: la villa romaine de "Correio Mor" (Elvas, Portugal), *Economie et Territoire en Lusitanie Romaine*, eds. Gorges, J. G. y Rodríguez Martín, F. G., Madrid, 227-240.
- HERNÁNDEZ MUÑOZ, A., 1987: *Abastecimiento y distribución de agua*, Madrid.
- HERNÁNDEZ RAMÍREZ, J., 2003: El conducto de Rabo de Buey-San Lázaro (Mérida), *Mérida, Ciudad y Patrimonio*, 5, 39-65.
- HIERNARD, J. y ÁLVAREZ MARTÍNEZ J. M^a, 1982: *AQVA AUGVSTA*. Una inscripción con letras de bronce de Mérida, *Santuola*, III, 221.
- JIMÉNEZ, A., 1976: Los acueductos de Mérida, *Augusta Emerita. Actas del Bimilenario de Mérida*, Madrid, 111-125.
- JIMÉNEZ, A., 1976: Problemas de los acueductos emeritenses, *Habis*, 7, 271-292.
- LANTIER, R., 1915: Réservoirs et aqueducs antiques de Mérida, *Bulletin Hispanique*, XVII, n° 2, 69-84.
- LAMPRECHT, H. O., 1996: *Opus Caementitium. Bautechnik der Römer*, Düsseldorf.
- MALISSARD, A., 1996: *Los romanos y el agua. La cultura del agua en la Roma antigua*, Barcelona.
- MARTÍN MORALES, J.; ARANDA GUTIÉRREZ, F. *et alii*, 2003: El sistema hidráulico de la toma profunda de la presa de Proserpina, *Mérida, Ciudad y Patrimonio*, 5, 119-127.
- MARTÍN MORALES, J. B.; ARENILLAS PARRA, M. *et alii*, 2000: El sistema hidráulico de Cornalbo en Mérida, *Actas del III Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, Sevilla.
- MARTÍN MORALES, J. B.; ARENILLAS PARRA, M. *et alii*, 2002: La presa de Cornalbo en Mérida, *Actas del I Congreso Nacional de Historia de las Presas (Mérida, Noviembre 2000)*, Badajoz, 279-287.
- MATEOS, P. *et alii*, 2002: La gestión del agua en *Augusta Emerita*, *Empúries*, 53, 67-88.
- MÉNDEZ GRANDE, G., 2004: Restos de una domus con pavimento musivo y su posterior evolución. Intervención arqueológica realizada en el solar n° 83 de la C/ Suárez Somonte, *Mérida excav. arqueol.* 2001, 7, 257-267.
- MINISTERIO CULTURA, 1990: *Los bronceos romanos en España*, Madrid.
- MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, SERVICIOS HIDRÁULICOS DEL TAJO, 1948: *Aguas de Toledo*.
- MOSQUERA, J. L. y NOGALES, T., 1999: *Aquae Aeternae. Una ciudad sobre el río*, Mérida.
- NOGALES, J. M.; CORTÉS, T. y PÉREZ, J. A., 2003: Determinación de la degradación de los suelos en la cuenca del embalse de Proserpina (Mérida), *Mérida, Ciudad y Patrimonio*, 5, 129-136.
- PALMA GARCÍA, F., 1998: Intervención arqueológica en el solar de la calle Forner y Segarra, n° 27. Espacio de uso doméstico-industrial, *Mérida excav. arqueol.* 1997, 3, 41-59.
- POLO GARCÍA, M. E.; GUTIÉRREZ GALLEGU, J. A. *et alii*, 1999: Pendientes topográficas en acueductos romanos. Dos casos extremos: la conducción de Toledo y la de Proserpina en Mérida, *Mérida, Ciudad y Patrimonio*, 3, 105-113.
- QUINTELA, A. D. C.; CARDOSO, J. L. *et alii*, 1988: *Barragens antigas em Portugal a sul do Tejo*, Alcántara.
- RUIZ DEL CASTILLO, J. y PEÑA MARTÍNEZ, R., 1997: Proserpina: el polen testigo del tiempo. Análisis palinológico de los sedimentos del embalse de Proserpina, *Mérida, Ingeniería civil*, 108, 45-52.

- SALAS MARTÍNEZ, R. y MARTÍN MORALES, J. R., 2006: Buceando en la historia de Peña del Águila. La presa y el abastecimiento de Badajoz, *Actas del II Congreso Nacional de Historia de las Presas, (Burgos, Octubre 2006)*. (en prensa)
- SCHNITTER, N. J., 1994: *Historia de las presas. Las pirámides útiles*, Madrid.
- SÁNCHEZ, P. D. y ALBA, M., 1998: Intervención arqueológica en la parcela C-1 de Bodegones. Instalación industrial de material constructivo cerámico para la edificación de *Emerita Augusta*, *Mérida excav. arqueol.* 1996, 2, 237-290.
- SERRA RAFOLS, J. d. C., 1945: El poblamiento del valle medio del *Anas* en la época romana, *Revista de Estudios Extremeños*, I-2, III, 259-273.
- SMITH, N. A. F., 1970: *The Heritage of Spanish Dams*, Madrid.
- SMITH, N. A. F., 1978: Tecnología hidráulica romana, *Scientific American*, 88-95.
- TREVOR HODGE, A., 1985: Sifones en los acueductos romanos, *Investigación y Ciencia*, 107, 80-86.
- VENTURA VILLANUEVA, Á., 1996: *El abastecimiento de agua a la Córdoba romana II. Acueductos, ciclo de distribución y urbanismo*, Córdoba.
- VIOLLET-LE-DUC, E., 1996: *La construcción medieval*, Madrid.
- VITRUBIO, 1995: *Los diez libros de Arquitectura*, Madrid.