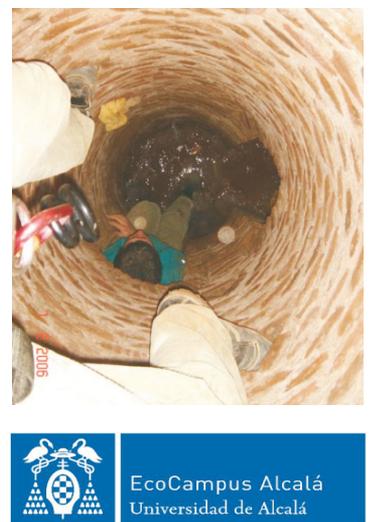




CUADERNOS DEL CAMPUS  
NATURALEZA Y MEDIO AMBIENTE N°5

# aguas superficiales y subterráneas del campus



EcoCampus Alcalá  
Universidad de Alcalá



## Presentación

La dinámica de las aguas subterráneas es un determinante esencial de la vegetación y del paisaje. Los acuíferos representan un recurso estratégico que condiciona los usos del suelo. Por ello, una visión integrada de la naturaleza en el campus, no quedaría completa sin la ayuda de la hidrogeología.

Con la lectura del interesante cuaderno que tienen en sus manos, el quinto de la colección, podremos entender el juego entre los acuíferos de distinto tipo que superpuestos y relacionados, influyen en la aparición de humedales, manchas de vegetación hidrófila e hidrohálófila, que nos anuncian la existencia de flujos de agua subyacentes. Apreciaremos mejor el sentido de la ubicación de los numerosos pozos que abastecen el riego y la importancia de protegerlos mediante una explotación racional, que evite su recarga con agua contaminada o excesivamente dura, no apta para riego.

Una vez entendida la estructura general hidrogeológica, que complementa y enriquece la visión geomorfológica expuesta en el número 4 de esta colección de cuadernos, los autores nos ilustran sobre la existencia en el campus un muestrario de tecnologías de captación de agua correspondientes a distintas épocas. Variados tipos de pozos según su profundidad y el acuífero del que se abastecen, sistemas de riego más o menos actuales y por último un singular elemento con valor patrimonial destacado: los viajes de agua. Descubriremos la evidencia de

unos sistemas de captación, bastante bien conservados y aún funcionales en lo que atañe al campus, de raíz tecnológica romano/árabe que suministraron el caudal a las fuentes de la ciudad de Alcalá, desde el siglo XVI hasta mediados del pasado siglo. El más importante de dichos sistemas se originaba en las inmediaciones del campus y la antigua conducción aún roza sus límites. Otro importante “viaje” se ubica en su totalidad en terrenos de la Universidad y constituye un elemento de singular interés histórico y arqueológico, que necesita ser protegido y restaurado.

Los profesores Luis Rebollo y Miguel Martín-Loeches han realizado un excelente trabajo de exposición y síntesis, con figuras y fotografías originales, que demuestra su reconocida vocación universitaria, su dedicación y cuidado por los aspectos docentes y su buena disposición a participar en el conocimiento conjunto del patrimonio natural/histórico del campus, que entre todos estamos contribuyendo a descifrar y divulgar.

**Antonio Gómez Sal**

*Delegado del Rector para el Campus Externo y  
La Calidad Ambiental de la Universidad de Alcalá.*

## Introducción

El territorio en que se asienta el Campus Externo de la Universidad de Alcalá forma parte de la cuenca media-baja del río Henares. Su fisonomía es el resultado, en gran medida, de la presencia y acción del agua, que se manifiesta en muchos casos mediante acciones, procesos y resultados evidentes -los debidos a la escorrentía superficial-, y de forma más sutil o desapercibida, en otras ocasiones -singularmente, los vinculados a la escorrentía subterránea-.

En los números anteriores de esta colección de Cuadernos del Campus, se han tratado la flora y vegetación espontánea, la variada avifauna y las comunidades de mariposas de la zona; también se ha abordado el estudio de los aspectos geológicos y geomorfológicos del Campus. Ahora pretendemos completar esa primera panorámica del medio natural con algunos datos relativos a la hidrología,

superficial y subterránea, que determina el modelado de la región y condiciona notablemente las singularidades que muestran la vegetación y la fauna propias del lugar.

Buena parte de la información que se incluye en este trabajo procede de las investigaciones relativas a una tesis doctoral sobre la hidrogeología de la cuenca terciaria del río Henares, de los estudios realizados para evaluar la calidad de las aguas subterráneas de los acuíferos aluviales de Alcalá y de los estudios encargados por nuestra Universidad para evaluar el potencial de los recursos hídricos del Campus para abastecer el riego de las zonas ajardinadas. A estos autores e instituciones mostramos nuestro agradecimiento, así como a los alumnos y compañeros que más recientemente han aportado otros datos de interés para este trabajo.

## El agua en el entorno del Campus

La presencia del agua en el suelo es consecuencia de la compleja interrelación entre los elementos y procesos que participan en el ciclo hidrológico del lugar. En términos generales, se puede llegar a conocer la cuantía del agua alojada en un momento dado en los poros que dejan entre sí las partículas sólidas del suelo a partir del establecimiento de un balance hídrico; también y más importante en muchos casos- el balance permite determinar el volumen de agua que es preciso aportar a la vegetación para que pueda transpirar en condiciones óptimas (lo que denominaremos “déficit” hídrico) y el excedente de agua que no puede ser aprovechado por ella ni almacenado en el propio suelo y que por tanto “se ve obligado” a migrar, ya sea por vía superficial -dando lugar a la escorrentía directa- o por vía subterránea, tras su infiltración profunda -propiciando la conocida como “escorrentía básica”-.

Los datos requeridos para la elaboración del balance hídrico, que suele hacerse para periodos anuales, son los correspondientes a los valores medios mensuales de la pluviometría y de la *evapotranspiración potencial* en la zona objeto de estudio, así como una estimación de la capacidad de *reserva de agua* por parte del suelo. El valor correspondiente a la pluviometría puede ser obtenido a partir de medidas directas de la cuantía de las precipitaciones atmosféricas registradas en el lugar, mientras que la evapotranspiración potencial normalmente es calculada a partir de los datos

registrados de temperatura del aire y otras variables atmosféricas utilizando fórmulas teóricas o semiempíricas. La valoración de la capacidad de reserva de agua del suelo puede ser hecha a partir de sencillos ensayos de laboratorio sobre muestras de suelo o por métodos empíricos.

En nuestro caso, los datos disponibles permiten estimar con suficiente aproximación para el propósito de este trabajo el balance hídrico del suelo en el Campus Externo de la Universidad de Alcalá. Para ello contamos con los registros termopluviométricos de la estación meteorológica de El Encín, situada a escasos kilómetros al Este del Campus, que aportan valores de temperatura media anual en torno a 13°C y de precipitación y evapotranspiración potencial próximos a 400 y 700 mm/año, respectivamente.

A partir de los valores mensuales de precipitación y temperatura del periodo comprendido entre los años 1952 y 1994 registrados en dicha estación meteorológica y considerando una capacidad media de retención de agua de los suelos del Campus de 60 mm, hemos elaborado el balance hídrico general que se muestra en la Tabla adjunta, conforme al método de Thornthwaite y Matter.

En la Figura 1 se ha representado gráficamente el resultado de dicho balance, en la que se puede observar la variación mes a mes de la disponibilidad de agua. Como manifiestan los resultados del balance, para un año “medio” se producen excedentes de

agua en el invierno, de modo que puede preverse que una parte de las precipitaciones se infiltre en el suelo y, una vez superada la capacidad de retención de agua en él, percole hacia la zona de saturación de los acuíferos subyacentes

durante los meses de enero y febrero. Se observa también que durante los meses de junio, julio, agosto y septiembre, se registra un fuerte déficit hídrico, por lo que en ese periodo el suelo está reseco y la vegetación sufre un importante estiaje.

(Máxima retención del suelo: 60 mm)	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	AÑO
<b>T (°C)</b>	19,1	14	8,5	5,8	5,1	6,8	8,6	10,6	14,5	19,2	23,2	22,4	<b>13,2</b>
<b>P (mm)</b>	28,1	43	43,8	41,6	41,4	37,2	25,8	50,6	42	32	15,9	14,7	<b>416,1</b>
<b>ETP (mm)</b>	71,5	45,1	23,1	24	13,6	31,7	34	46,1	72,8	101,2	116,5	102,3	<b>681,9</b>
<b>Reserva (mm)</b>	0	0	20,7	38,3	60	60	51,8	56,3	25,5	0	0	0	<b>0-60</b>
<b>Δ Reserva (mm)</b>	0	0	20,7	17,6	21,7	0	-8,2	4,5	-30,8	-25,5	0	0	<b>&lt; 60</b>
<b>ETR (mm)</b>	28,1	43	23,1	24	13,6	31,7	34	46,1	72,8	57,5	15,9	14,7	<b>404,5</b>
<b>Déficit (mm)</b>	43,4	2,1	0	0	0	0	0	0	0	43,7	100,6	87,6	<b>277,4</b>
<b>Excedentes (mm)</b>	0	0	0	0	6,1	5,5	0	0	0	0	0	0	<b>11,6</b>

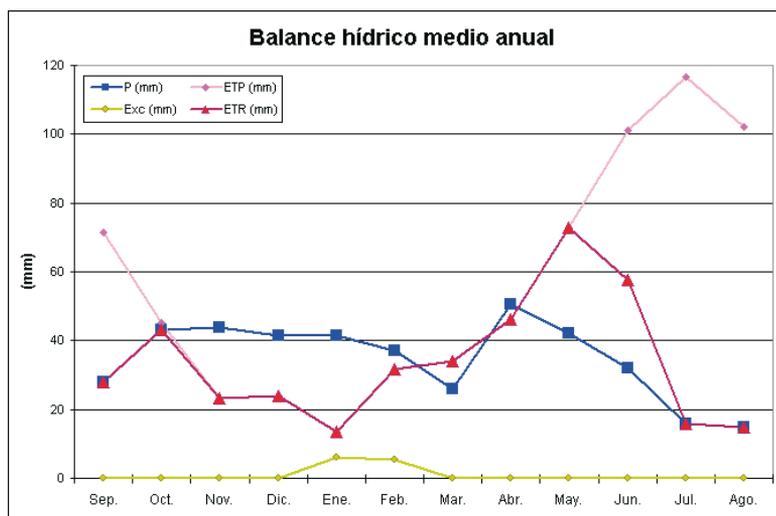


Figura 1. Representación gráfica del balance hídrico del suelo en el entorno del Campus.

## Las aguas superficiales

Como es conocido, los campus de la Universidad de Alcalá -incluido el de Guadalajara- están enclavados en la cuenca media-baja del río Henares. Éste es uno de los afluentes principales del río Jarama, que, a su vez, tributa al río Tajo por su margen derecha.

La cuenca hidrográfica del Henares (Figura 2) tiene una extensión de 4.136 km<sup>2</sup>, territorio que se reparte entre los dominios más orientales del Sistema Central y el sector central de la denominada Rama Castellana de la Cordillera Ibérica -la cuenca alta- y los páramos, campiñas y vegas terciarias que se desarrollan a cotas inferiores a los 900 metros sobre el nivel del mar (msnm) -las cuencas media y baja- hasta su desembocadura en el Jarama, en los alrededores de Mejorada del Campo.

En este sector suroccidental de la cuenca se localiza el Campus Científico-Técnico de la Universidad (Figura 2), que, con una extensión de 3,6 km<sup>2</sup>, presenta una altitud variable entre los 610 msnm y los 590 msnm, aproximadamente. Está emplazado el campus en las terrazas aluviales más bajas del río, constituidas por depósitos de arenas, gravas y limos producidos por la actividad fluvial durante el Cuaternario reciente.

Aparte del río Henares, situado a unos 600 m del límite meridional del campus, los cursos fluviales más próximos a éste son el arroyo de Las Monjas, a unos 3,5 km del borde nororiental, y el arroyo Camarmilla, separado unos 2 km del límite occidental,

además del río Torote que circula a unos 6 km en esa misma dirección. Todos los cursos mencionados son afluentes del río Henares por su margen derecha.

No existen en el campus cursos de agua superficial permanentes, si bien en sus extremos situados hacia el Oeste y el Este se desarrollan dos pequeñas entalladuras de escasa longitud que disectan el escarpe que recorre el Campus, separando las dos terrazas que lo componen. La vaguada más occidental recibe el nombre de Prado de Villamalea, y la oriental coincide con la finca perteneciente al campus, denominada Cortijo del Carmen, con direcciones NO-SE y SO-NE, respectivamente (ver Figura 2). Ambas son el resultado de la erosión ejercida por el agua de lluvia sobre esos sectores del escarpe en que se concentra la descarga de aguas subterráneas tanto de los depósitos altamente permeables de la terraza fluvial superior del campus como, en forma difusa, de las arcillas arenosas subyacentes.

El valle correspondiente a Villamalea ha desaparecido en el transcurso de los últimos años, encontrándose actualmente urbanizado. Antes de este reciente aterramiento, sólo ocasionalmente se manifestaba como un auténtico curso de agua. Lo que caracterizaba a esta pequeña vaguada era más bien una amplia franja con gran abundancia de juncos y otras plantas *higrófilas* e *higrohalófilas*, que evidenciaban la mencionada descarga. Aguas arriba, siguiendo la carretera de Meco, en los terrenos que han adoptado la denominación

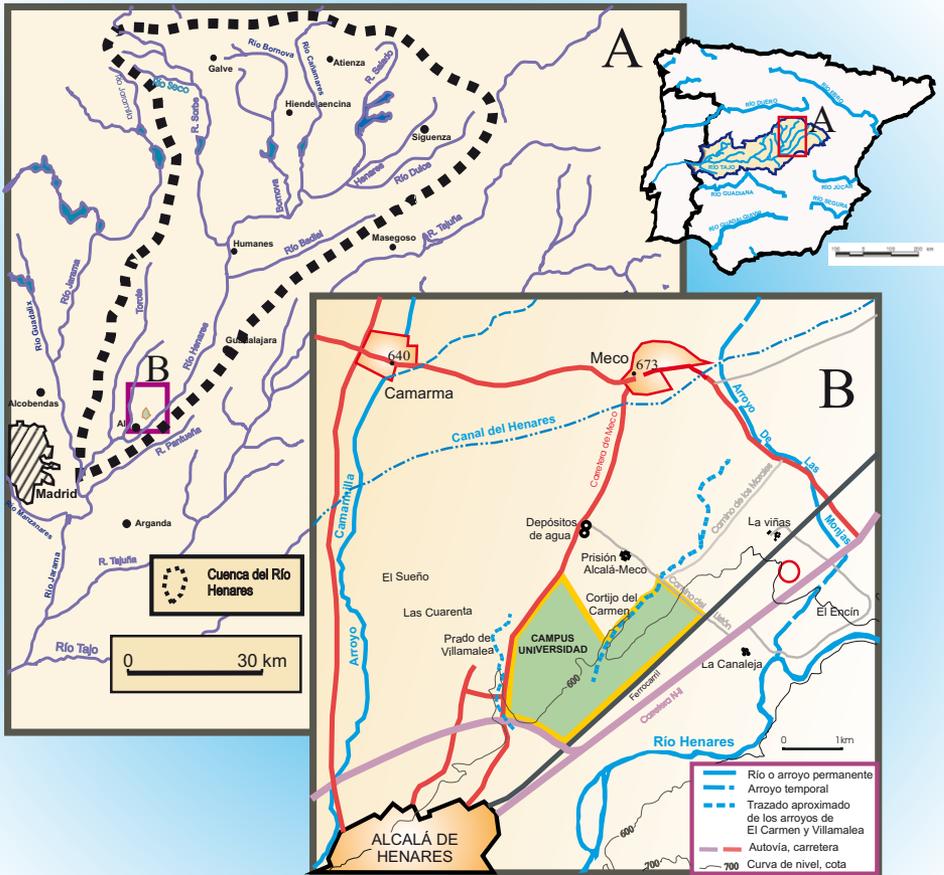
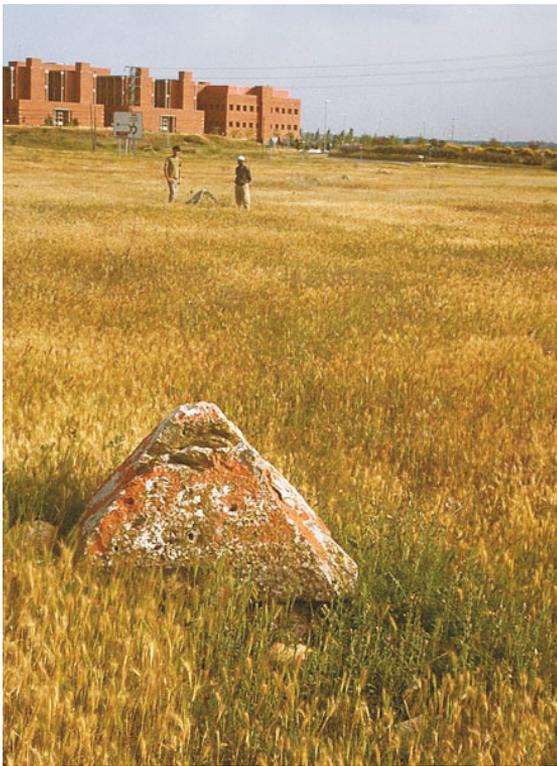


Figura 2.- Mapa de situación fisiográfica - hidrológica de la cuenca del Río Henares y del Campus de la Universidad. Al: Alcalá de Henares.

de Prado de Villamalea, se pueden observar numerosos registros o “capirotos” de los pozos que forman los primeros metros del *viaje de agua* de Villamalea, que facilitó el abastecimiento de una parte importante de la ciudad hasta hace pocas décadas (Fotografía 1).

A lo largo del mencionado escarpe que cruza los terrenos del campus y que separa los niveles de terrazas aluviales más bajas del río Henares, existen manifestaciones de descarga de aguas subterráneas

procedentes de las terrazas -y de los materiales del Terciario subyacente, aunque en este caso menos importantes-, denunciadas por la aparición de plantas indicadoras de mayor humedad. Existen algunos puntos en el entorno de dicho escarpe donde se ha excavado para extraer *áridos* y como consecuencia aparecen lagunitas residuales de escasa superficie y de carácter temporal, en virtud de las fluctuaciones del *nivel freático* del acuífero cuaternario (Fotografía 2).



Fotografía 1. Capirotes en piedra caliza del viaje de Villamalea en el prado homónimo. Al fondo la Escuela Politécnica del Campus científico-técnico de la Universidad.



Fotografía 2. Laguna residual formada por afloramiento de las aguas subterráneas de las terrazas del Cuaternario en una depresión creada artificialmente para extraer gravas. Escarpe de terraza entre las Facultades de Farmacia y Ciencias; al fondo los antiguos hangares del ejército.

## Las aguas subterráneas

Desde el punto de vista de la hidrogeología, el Campus Científico-Técnico está enclavado en el sector oriental del llamado sistema acuífero del Terciario detrítico de Madrid. Este sistema se encuentra dividido en dos Unidades Hidrogeológicas (UH), UH 03.04 -Guadalajara- y UH 03.05 -Madrid-Talavera-, cuyo límite coincide aproximadamente con el curso del río Jarama. En la Figura 3 se marcan estas y otras unidades hidrogeológicas de la cuenca del río Henares. El acuífero terciario viene a corresponder con los primeros centenares de metros de los materiales de naturaleza terrígena que rellenan la depresión del Tajo en su franja septentrional.

Por su situación distal respecto a las áreas de las que proceden estos depósitos, dominan en el campus los limos y arcillas que, a corta distancia hacia el sur y escasa profundidad, varían gradualmente su composición hasta dar lugar a los depósitos de yesos masivos situados en el centro de la cuenca. Dicho cambio se produce mediante una fase intermedia en la que dominan materiales de transición como las arcillas y margas yesíferas.

El acuífero de la cuenca de Madrid es *heterogéneo* y *anisótropo* en virtud de la importante variedad de sus materiales, donde los niveles más productivos desde el punto de vista del agua subterránea son lentejones arenosos de escasa continuidad lateral. Estos materiales terciarios se encuentran cubiertos/ocultos en el

Campus por los depósitos detríticos correspondientes a las terrazas del Henares, de manera que no afloran salvo en los escarpes importantes.

Las terrazas tienen aquí un espesor máximo de 6 metros y constituyen en sí mismas un acuífero independiente del terciario, aunque se encuentren conectadas con él, en virtud de su diferente naturaleza litológica y su mucha mayor permeabilidad. En términos hidrodinámicos, la terraza baja (T1) actúa de forma independiente de la alta (T2), de tal suerte que al no existir conexión hidráulica entre ambas, actúan igualmente como acuíferos diferenciados. En la Figura 4 se representa un esquema geológico local donde se señala la posición de algunos pozos o captaciones que explotan el agua subterránea en el campus. En este mapa se marca el trazado del perfil que se representa en la figura 5 a través del cual se pueden observar mejor las relaciones hidrogeológicas entre los acuíferos mencionados -el complejo sistema regional del Terciario y los acuíferos locales de las terrazas-, así como algunas de las captaciones que los explotan.

En el corte de la Figura 5 puede observarse que dentro del campus los limos y arcillas del Terciario aumentan progresivamente su espesor y su granulometría hacia el Noroeste. Su paso lateral hacia los materiales de transición anteriormente mencionados (arcillas y margas yesíferas) no es nítido, sino que se produce de forma gradual.

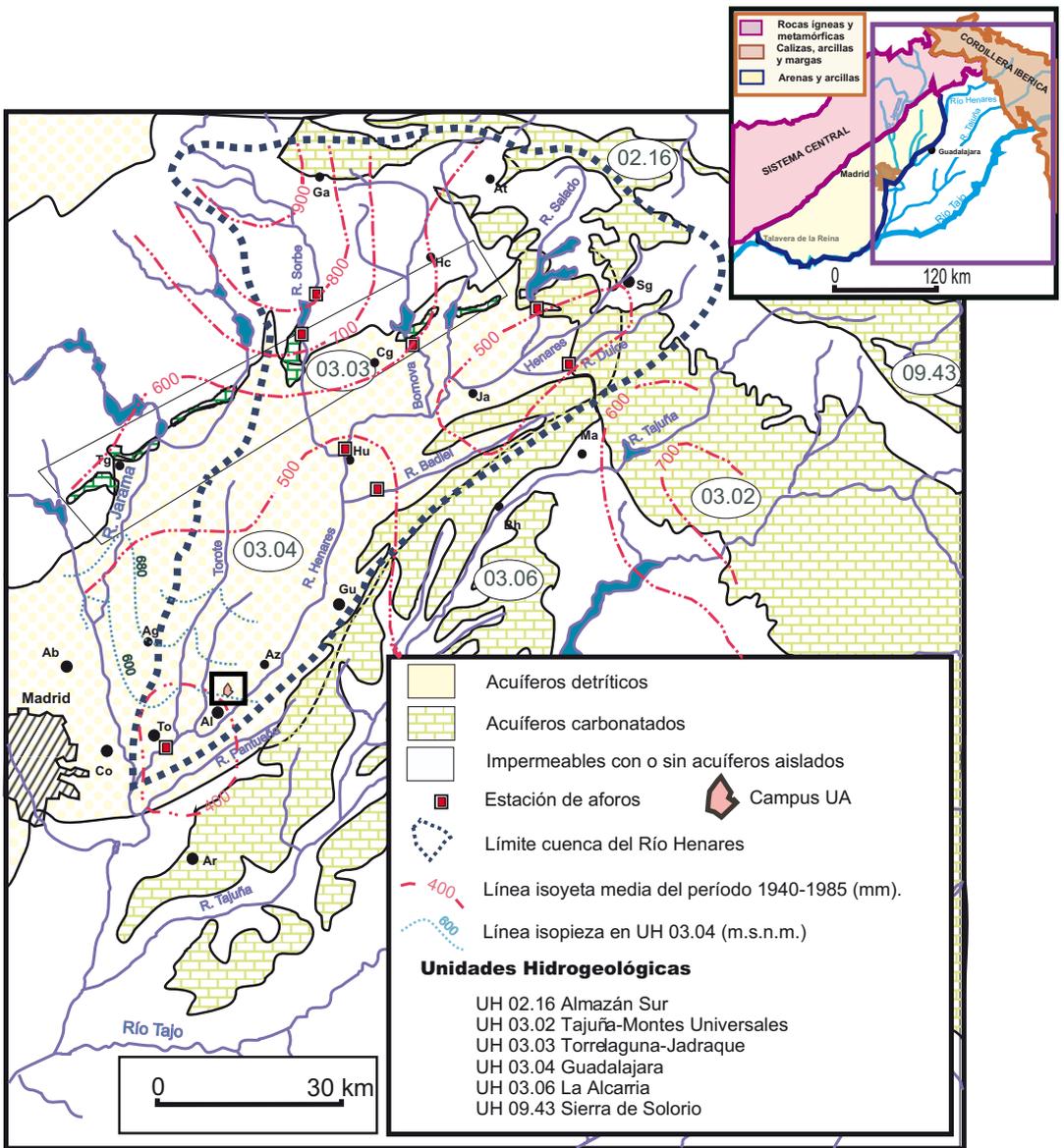


Figura 3.- Mapa de Unidades Hidrogeológicas de la cuenca del Río Henares con indicación de elementos hidrológicos e hidrogeológicos. Al: Alcalá de Henares; Ab: Alcobendas; Ag: Algete; Ar: Arganda; At: Atienza; Bh: Briguega; Az: Azuqueca; Cg: Cogolludo; Co: Coslada; Ga: Galve de Sorbe; Gu: Guadalajara; Hc: Hiendelaencina; Ja: Jadraque; Sg: Sigüenza; Tg: Torrelaguna.

Este cambio se sitúa más o menos a 120 metros de profundidad en la zona de la Facultad de Ciencias.

El lavado de los yesos infrayacentes da lugar a la aparición de aguas sulfatadas, de

mala calidad y de notable salinidad, de manera que este cambio de facies en el subsuelo del campus incidirá de forma importante en la calidad del agua subterránea de este sector del acuífero, como veremos más adelante.

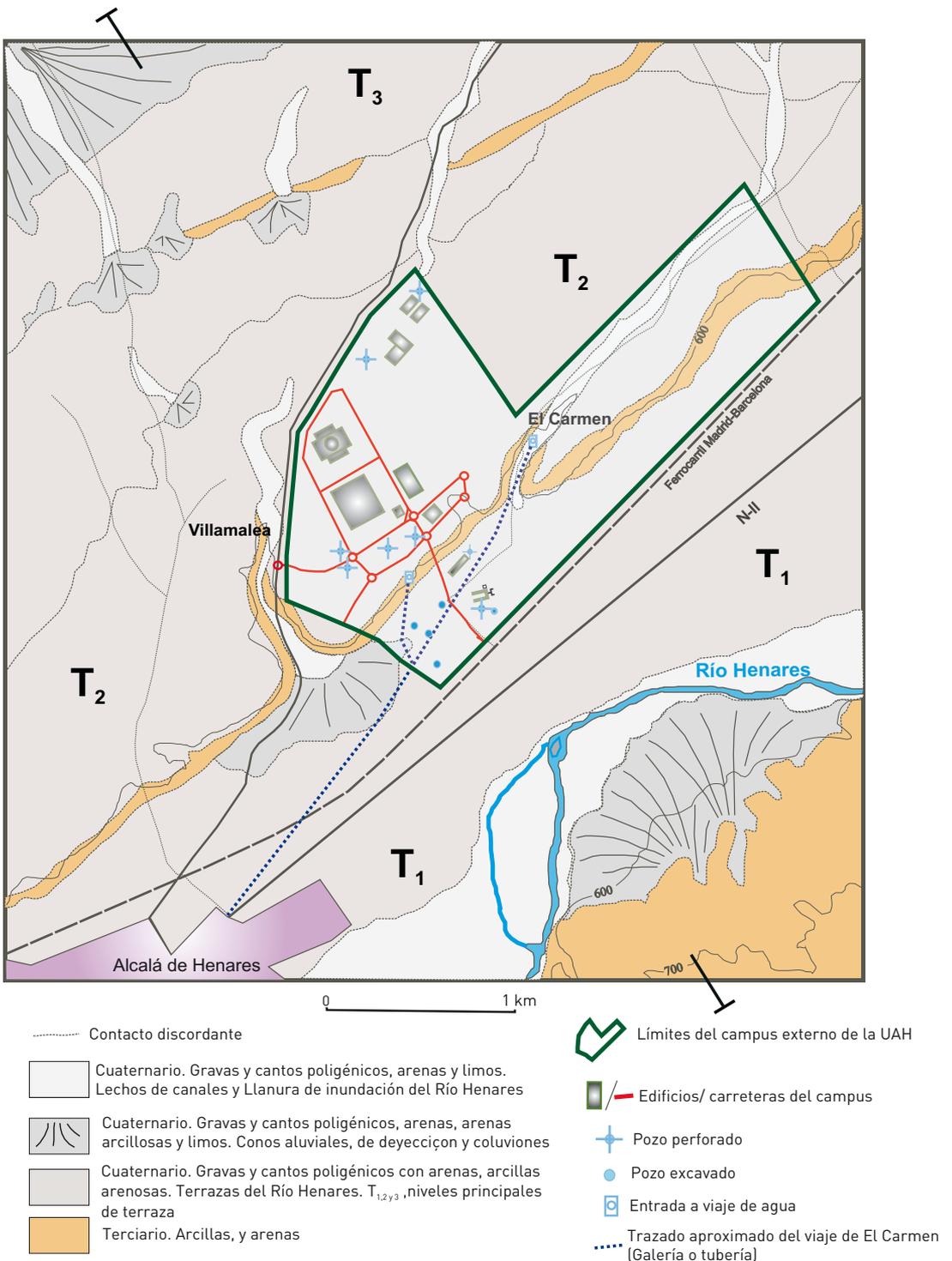
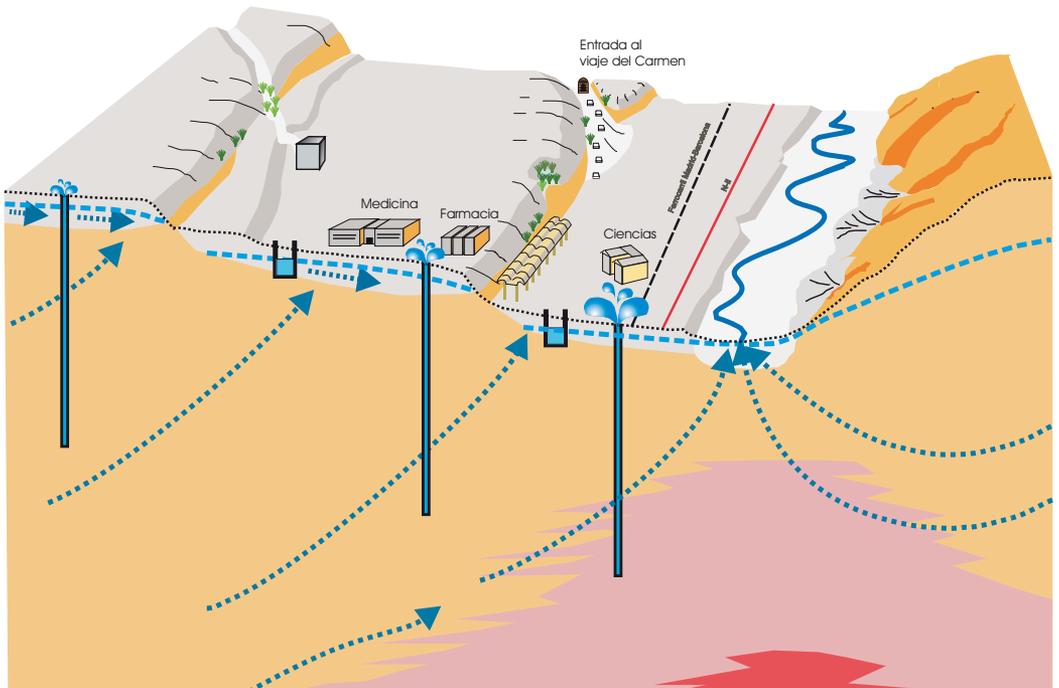


Figura 4.- Mapa geológico simplificado del Campus Científico-Técnico de la UAH con indicación de algunas captaciones de aguas subterráneas. Se marca el trazado que corresponde a la cara anterior del bloque de la figura 5.



-  Cuaternario. Gravas y cantos poligénicos, arenas y limos. Lechos de canales y Llanura de inundación del Río Henares
-  Cuaternario. Gravas y cantos poligénicos, arenas, arenas arcillosas y limos. Conos aluviales, de deyección y coluviones
-  Cuaternario. Gravas y cantos poligénicos con arenas, arcillas arenosas. Terrazas del Río Henares
-  Terciario. Arcillas, y arenas
-  Terciario. Arcillas marrones y grises. Cristales de yeso
-  Terciario. Yesos masivos
-  Nivel freático
-  Flujo subterráneo
-  Pozo perforado / pozo excavado. Con indicación del nivel del agua
-  Surgencia
-  Vegetación higrofila
-  Registros de las galerías del viaje del Carmen

Figura 5.- Esquema geológico con indicación del flujo de agua subterránea y algunos ejemplos de los principales tipos de captaciones ubicadas en el Campus. La cara anterior del esquema corresponde con el corte indicado en la Figura 4.

## Propiedades de los acuíferos y del flujo del agua subterránea

El sistema acuífero terciario en esta zona no tiene las posibilidades de explotación que presenta en otros sectores de la cuenca de Madrid. Aquí tanto la capacidad de almacenamiento como la de circulación del agua subterránea se ven muy reducidas, al tratarse de materiales muy poco permeables -en virtud de su notable contenido en arcilla<sup>1</sup>- y de escaso espesor de saturación, es decir, de materiales débilmente transmisivos<sup>2</sup>.

Además, considerando con mayor detalle la dinámica hidrogeológica interna del campus podemos apreciar que las condiciones hidrogeológicas de los materiales terciarios empeoran desde el noreste al suroeste, ya que en esta dirección se hace más acusado el carácter arcilloso de los sedimentos y se reduce su espesor saturado por la presencia de los yesos de las facies de transición (ver Figura 5). A medida que los pozos ocupan posiciones más cercanas a los yesos, los caudales en ellos no se pueden mantener sino es provocando descensos bruscos en el nivel del agua durante el bombeo. Fuera de los terrenos del campus, en el sector Camarma-Meco Azuqueca, se obtienen en los pozos rendimientos muy superiores.

Las terrazas aluviales, a pesar de su limitado espesor de saturación-

normalmente de escasos metros-, están formadas por materiales de notable permeabilidad, de manera que en ellas el agua puede circular con mayor facilidad que en el acuífero regional (el mencionado acuífero terciario) y con caudales superiores.

Al situarse el campus muy próximo al cauce del río Henares -que constituye el nivel de base local del acuífero terciario en este sector-, el flujo del agua es predominantemente ascendente en el sistema terciario y los pozos perforados en él son *surgentes* o con el nivel del agua muy próximo a la superficie (Fotografía 3). A escala más amplia, este flujo tiende a adquirir una componente suroeste, por influencia de la cercana vaguada del arroyo Camarmilla.

La recarga se produce esencialmente por infiltración del agua de lluvia en zonas más elevadas del acuífero situadas hacia el norte y noreste. La descarga, que en la zona de Alcalá de Henares se estima en torno a 1,5 hm<sup>3</sup> anuales, se realiza fundamentalmente de forma natural hacia las terrazas que recubren a los materiales del Terciario y, de forma más difusa por rezume y evapotranspiración, en los lugares donde aflora y en el cauce del río. Lógicamente, también se produce una cierta descarga por

---

<sup>1</sup> Los valores de permeabilidad propios de las arcillas son inferiores a 0,001 m/día, frente a los que presentan otros sedimentos de mayor tamaño de grano, como las arenas limpias o las gravas, que suelen ser superiores a 1 m/día.

<sup>2</sup> A partir de pruebas de bombeo de larga duración en pozos de explotación podemos deducir el valor de parámetros hidráulicos muy útiles, de los cuales el más directamente relacionado con la permeabilidad y con el espesor saturado del acuífero es la transmisividad (T), entendida como la facilidad que presta el conjunto del sistema acuífero a la circulación del agua a través del mismo; este es un parámetro que se puede estimar también de forma aproximada a partir del caudal específico de los pozos emplazados en el acuífero, que representa el caudal de agua que puede obtenerse del sistema por cada metro de descenso que se produce en el nivel del agua en el interior de los mismos.



Fotografía 3. Pozo perforado surgente en las inmediaciones de la Facultad de Medicina. Fotografía tomada a finales de los años 70 del pasado siglo.

las extracciones de agua mediante bombeo en ambos acuíferos.

En el caso de las terrazas el funcionamiento hidrodinámico es diferente aunque mantengan cierta relación con el extenso acuífero terciario y reciban parte de sus aguas. Se aprecia en ellas un flujo general de dirección noreste-suroeste, en virtud de la posición de los arroyos que las disectan. Su recarga natural se produce por infiltración del agua de lluvia (que en todo el término municipal de Alcalá de Henares se estima en unos 4,5 hm<sup>3</sup> anuales) y por la ya mencionada contribución, en su base, de las aguas procedentes del acuífero terciario. La descarga de las terrazas se realiza por bombeos, por evapotranspiración y a través de las abundantes zonas de rezume y

pequeños manantiales que se localizan en el contacto con las arcillas arenosas subyacentes.

Este acuífero es mucho más sensible que el del Terciario a los factores externos de recarga o descarga, como lo demuestra el hecho de la notable oscilación del nivel freático observable, entre otros puntos, en los pozos del Campus. Estos frecuentes ascensos y descensos del nivel son consecuencia de las variaciones de la recarga por lluvia, los retornos de riego, así como los bombeos en los pozos y las pérdidas en canales de riego.

## Calidad del agua

El agua de los pozos que perforan en parte los materiales margo-yesíferos de la facies de transición -situados, como ya se ha indicado, en la mitad suroriental del Campus- no es apta para el consumo ni para el riego. Son aguas altamente mineralizadas, de carácter sulfatado, que llegan a alcanzar valores de concentración en sulfatos próximos a 2 g/l (2 gramos de sulfato en cada litro de agua) en algunos casos.

Hacia el norte y noroeste mejora la calidad del agua en el terciario para profundidades semejantes de explotación, ya que se incrementa el espesor de los materiales detríticos, hundiéndose progresivamente su contacto con los yesos de la facies de transición (en el área del edificio de Ciencias, este límite se sitúa en torno a los 120 m de profundidad ver Figura 5-). Su composición es bicarbonatada cálcico-sódica y aunque es un agua mucho menos mineralizada que la captada por pozos que tocan a los yesos, su contenido en sales es notable y sus posibilidades de uso, bien para consumo o bien para el riego, deben evaluarse puntualmente en cada caso.

En las terrazas, el agua es también bastante mineralizada y de notable *dureza*. Su composición química está influida por la proximidad a los materiales terciarios margo-yesíferos de la zona de transición; puede ser bicarbonatada sódica y bicarbonatada magnésico-cálcica en los pozos alejados, y claramente sulfatada en las captaciones próximas a dicha transición.

Esta influencia en el quimismo del agua se hace más patente por el hecho de que todos los pozos excavados en las terrazas horadan unos metros en los materiales terciarios. El catión dominante puede ser el  $\text{Ca}^{2+}$ , el  $\text{Na}^+$  o el  $\text{Mg}^{2+}$ .

Los sedimentos cuaternarios del campus constituyen acuíferos muy vulnerables a la contaminación, por su elevada permeabilidad y el escaso espesor de su zona no saturada; son, además, receptores directos de la actividad antrópica, potencialmente contaminante. Con carácter general, sus aguas registran contaminación por nitratos procedentes de las prácticas agrícolas.

## Explotación de las aguas subterráneas en el Campus Externo de la Universidad

En el Campus se localizan un total de ocho pozos excavados de pequeña profundidad, entre 4 y 10 m (Fotografía 4), la mayoría de ellos en la terraza más baja (T1), de mejores características hidrogeológicas que la superior (ver Figura 4). Algunos de ellos poseen galerías horizontales para aumentar las posibilidades de extracción de agua (Fotografía 5).

Los caudales que aportan estos pozos en años de pluviosidad normal, durante los meses alejados de la época estival, pueden llegar a 6-10 l/s (entre 20 y 35 m<sup>3</sup>/hora), pero en verano o en periodos secos se reduce a 1-2 l/s (entre 3,5 y 7 m<sup>3</sup>/hora) por pozo. Los bombeos en estos acuíferos cuaternarios se pueden mantener durante más tiempo en

las épocas del año durante las que el nivel freático se encuentra más alto.

Junto a los anteriores existen además algunos pozos perforados (con profundidades próximas a los 100 metros), que captan agua del acuífero terciario (Fotografía 6). Pueden aportar en torno a 3 l/s (unos 10 m<sup>3</sup>/hora) en régimen de explotación discontinua, esto es, siempre que se dejen sin bombear durante tiempos prolongados para que los niveles se recuperen. En efecto, con la prolongación del tiempo de bombeo desciende mucho el nivel y el caudal inicial se reduce considerablemente. Esta circunstancia se debe tanto a la escasa permeabilidad del material limoso o arcillo-arenoso, como a la



Fotografía 4.- Aspecto del brocal de un pozo excavado con galerías subhorizontales situado en el campus de la Universidad.

presencia cercana en profundidad hacia el sur de los yesos de la facies de transición. Pozos perforados en el Campus, pero situados en posiciones más alejadas de la facies de transición acusan menores descensos del nivel incluso para caudales de bombeo mayores.

Aunque en la actualidad el nivel del agua en estos pozos perforados se sitúa a unos metros de la superficie, en la época en que se perforaron a finales de los años setenta y principios de la década de los años ochenta, mostraron un artesianismo notable. Así por ejemplo el agua de uno de estos pozos, situado en las proximidades de la facultad de Medicina se elevaba 10 m por encima del suelo con una caudal

espontáneo del orden de 1 l/s (Fotografía 3). El descenso general del nivel de los pozos se ha debido a la intensa explotación del acuífero en el entorno de la Universidad, donde se asientan diversas industrias que se abastecen con aguas subterráneas.

En la actualidad, las aguas subterráneas sólo pueden ser consideradas como una fuente complementaria para el suministro del campus y a las necesidades de riego de sus jardines. Cumplen, sin embargo, un papel estratégico, ya que pueden adquirir importancia en periodos de sequía o de restricciones en la red.



Fotografía 5.- Entrada a un pozo excavado situado en el Jardín Botánico Juan Carlos I, en las proximidades de la Facultad de Ciencias.



Fotografía 6.- Pozo perforado de 120 m de profundidad situado en el Jardín Botánico Juan Carlos I.

## Viajes de agua

Las aguas subterráneas poco profundas constituyeron desde finales del siglo XV el principal recurso hídrico utilizado para el abastecimiento público y privado de Alcalá de Henares hasta la primera mitad del siglo XX; éstas eran captadas mediante el sistema de galerías conocido como qnats. Qnat es una voz árabe cuya equivalencia en castellano es “viaje de agua” término que a su vez procede del latín “via aquae”. Se conoce en la actualidad el recorrido aproximado de algunos de estos viajes en Alcalá, entre los que podemos nombrar el de los Jesuitas, el de la Finca del Ángel, El Sueño, El Chorrillo, Villamalea y El Carmen. Los dos últimos poseen sus galerías de captación en el entorno del Campus Científico-Técnico de la Universidad<sup>3</sup> y afectan claramente al mismo.

Los qnats han sido, en numerosas partes de España, los principales sistemas de suministro de agua y de irrigación desde el siglo X hasta comienzos del siglo XX, si bien existen qnats de probable construcción en tiempos romanos. Existen qnats en Barcelona, Lorca, Crevillente, Granada, Ocaña y La Puebla de Montalbán (Toledo), Córdoba, y Madrid. El caso de Madrid es el más conocido y documentado, donde se han cartografiado más de 10 qnats que suman hasta 124 km de longitud. El mayor desarrollo de los qnats en Madrid se produce a partir de 1561, cuando Felipe II la convierte en capital de España, pero son empleados como abastecimiento a aquella ciudad desde mediados del siglo IX.

Las dimensiones de las galerías en los viajes de agua se ajustan a aquellas que



Fotografía 7.- Detalle de uno de los registros de entrada a las galerías de captación del viaje de Villamalea.

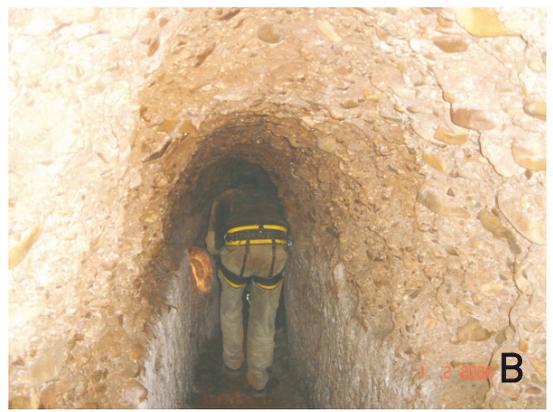
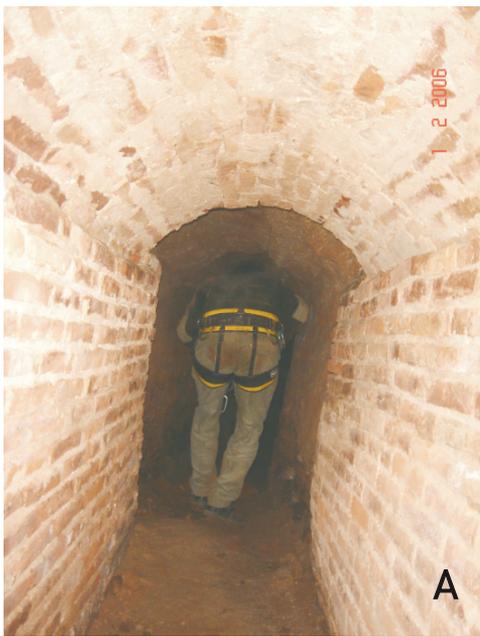
<sup>3</sup> Tanto en Villamalea como en El Carmen la longitud visitable de galerías es próxima a los 500 metros, teniendo en cuenta los registros en ellos.

permiten el paso de una persona a su través; se citan como más frecuentes 1,2-1,6 m de altura y 0,6-1,0 m de anchura . Se construían hacia la ciudad o puntos de toma siguiendo trazados sub-horizontales, y uniendo pozos verticales que se constituían en registros de las mismas. Las bocas de estos pozos se tapaban en superficie mediante pesadas piedras de forma piramidal en muchos casos, que reciben el nombre de “capirotes” (Fotografías 1 y 7), o de forma rectangular (Fotografía 8). Las galerías se encontraban sin revestir cuando el terreno lo permitía o revestidas de ladrillo (Fotografías 9A y 9B). Están provistas en el suelo de un canalillo central o lateral (a veces una tubería de barro cocido) con su desnivel para que circule el agua.

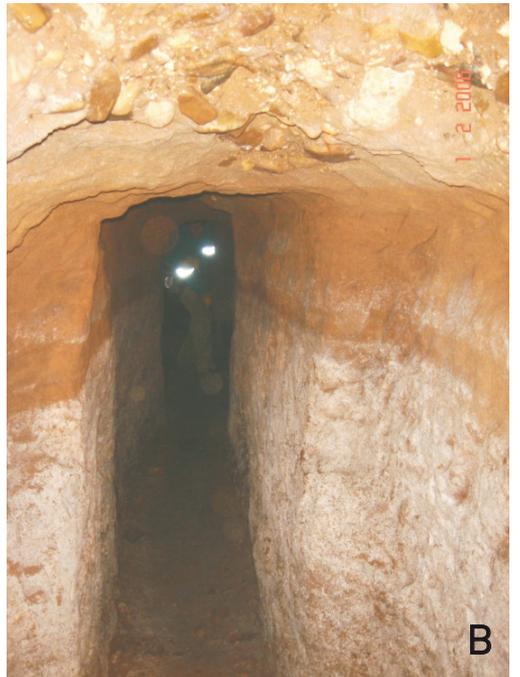
En el caso de los viajes del Carmen y Villamalea, las galerías se construyen tratando de drenar las coluviones de los valles por los que pasan, las terrazas y, en un importante sector de su recorrido, también a las arcillas arenosas del acuífero terciario. Es, por tanto, frecuente que trascurren a través de estos diversos sustratos (Fotografía 10A y 10B), a profundidades próximas a los 5 metros. Después de una determinada longitud, la galería de captación pasa a constituirse en una galería de conducción que transporta el agua hasta los puntos de toma en la ciudad (Fotografía 11). En el caso de El Carmen, este tránsito debe de producirse a 250 metros al noreste de los Hangares del campus.



Fotografía 8.- Detalle de un registro de entrada a las galerías del viaje del Carmen situado en la Finca homónima.



Fotografía 9. Aspecto de las galerías del viaje Del Carmen. A.- Galería revestida con ladrillo. B.- Galería no revestida (galería con sección en "lomo de caballo").



Fotografía 10.- Aspecto de tramos de galería sin revestir en el viaje del Carmen. En el techo en ambas fotografías se observan las gravas cuaternarias del fondo del valle de la finca del Carmen; el resto de la galería se encuentra labrada en las arcillas del Terciario.

Las galerías del viaje de Villamalea comienzan y trascurren en sus primeros centenares de metros por el llamado Prado de Villamalea, siguiendo un trazado más o menos paralelo al límite occidental del Campus y a la carretera de Meco, que puede seguirse uniendo las posiciones de sus capirotos allí presentes (Fotografía 1).

La parte más meridional del Prado de Villamalea recibía la descarga de aguas subterráneas procedentes tanto de las terrazas como del acuífero terciario y era muy amplia la extensión de manifestaciones vegetales relacionadas con ella, antes de desaparecer sepultadas por la urbanización. Este viaje poseía un carácter público y suministraba un caudal medio de 6 litros por segundo<sup>4</sup>, repartido en doce fuentes y algunas acometidas particulares.

En el denominado Cortijo del Carmen (ver mapa de las Figuras 2 y 4), finca que

forma parte del Campus y está situada en su límite nororiental, una zona donde el talud que separa las terrazas se denomina Alcor de Miraflores, comienza el viaje de El Carmen (Fotografía 12). Fue construido en 1722 y suministraba agua al convento de Carmelitas Descalzas, conocido también como “de afuera” por situarse prácticamente en el exterior del antiguo recinto urbano de Alcalá, próximo a la puerta de Agudores. El sobrante del convento alimentaba una fuente pública. El viaje del El Carmen, se inicia en propiedad universitaria, cruza los terrenos del Campus y recibe también las aguas captadas por un ramal afluente cuya entrada se encuentra en el escarpe entre las terrazas superior e inferior del Campus, dentro del recinto actual del Jardín Botánico (Fotografía 13). Desde allí cruza la antigua Carretera Nacional II a la altura del Hostal Bari. En el mapa de la Figura 4 se muestra el trazado aproximado de este viaje, considerando las referencias anteriores.



Fotografía 11. Sección de la tubería original del viaje del Carmen que transportaba el agua hasta el convento de Carmelitas “de afuera” en la ciudad de Alcalá. Proximidades del Jardín Botánico Juan Carlos I.

<sup>4</sup> Datos amablemente suministrados por el historiador Don Francisco Javier García Gutiérrez, cronista oficial de Alcalá de Henares.

A partir de 1948 Alcalá de Henares se abastece con las aguas del río Sorbe que son traídas mediante canalización<sup>5</sup>, y el conjunto de los viajes deja de cumplir su función; no obstante, por su carácter privado, el uso de las aguas del viaje del Carmen se prolongó hasta principios de los años ochenta del pasado siglo, cuando sus aguas se contaminaron por un vertido de residuos ganaderos efectuado en uno de sus pozos de registro.

Los viajes de agua constituyen un legado de ingeniería hidráulica que debemos conocer y conservar, como elementos de importante significado histórico e interés arqueológico. Desde mayo de 2002, la UNESCO recomienda su protección. Alcalá de Henares cuenta con inmejorables ejemplos entre los que se encuentra el viaje

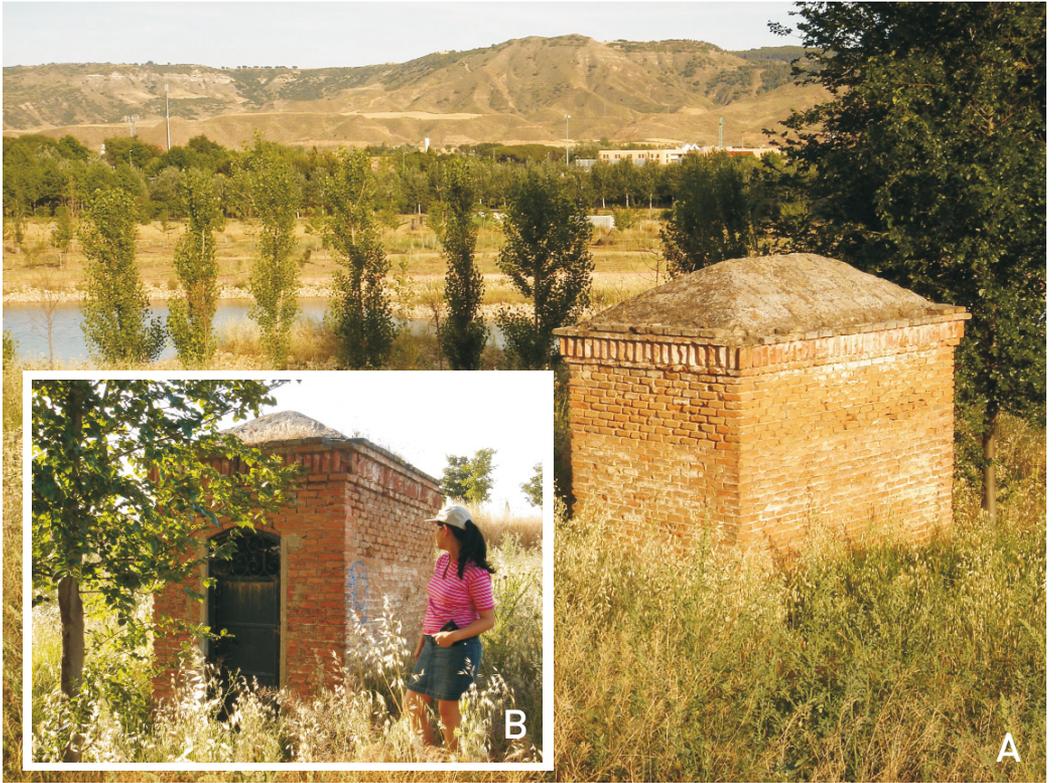
de El Carmen. Por estar sus galerías de captación situadas en el campus, la Universidad representa el marco idóneo para la promoción de su estudio, haciendo posible su conservación y protección. Los viajes de agua suponen en definitiva la parte más notable del aprovechamiento hidrogeológico tradicional de la ciudad de Alcalá. Su conservación debe constituir un acicate para el conocimiento de una dinámica, la del agua, que cada vez en mayor medida, se convierte en un aspecto clave para el desarrollo. Confiamos con este cuaderno en haber contribuido al conocimiento integrado del patrimonio natural del campus y favorecer con ello su disfrute y cuidado por parte de los universitarios.



Fotografía 12.- A- Vistas de la entrada a las galerías de captación del viaje del Carmen, en la finca del Carmen B- Vista a la entrada desde el fondo.



<sup>5</sup> Las aguas del Sorbe son captadas entonces mediante un azud de derivación a la altura de Humanes, con un caudal de 60 litros por segundo. En 1970, Alcalá junto con Guadalajara, Azuqueca, Mohernando, Yunquera, Fontanar y Alovera, forman la "Mancomunidad de Aguas del Sorbe" para la gestión de su abastecimiento. La captación de aguas del río Sorbe para la Mancomunidad se realiza desde 1982 a partir del embalse de Beleña.



Fotografía 13.- Aspecto de la entrada del viaje del Carmen situada en el Jardín Botánico Juan Carlos I, en el Campus de la Universidad. A- Vista general. B- Detalle de la entrada.

## Bibliografía

- Acaso, E., Martín-Loeches, M., Moya, M<sup>a</sup>. E., Ruíz, B., Calonge, A. (2006). Geología y geomorfología del Campus Externo de la Universidad de Alcalá. Cuadernos del Campus. Naturaleza y Medio Ambiente, N<sup>o</sup> 4. Vicerrectorado de Campus y Calidad Ambiental. UAH.
- Bartolomé, C. y Díaz-Santiago, G. (2005). Flora y vegetación espontánea del Campus Externo de la Universidad de Alcalá. Cuadernos del Campus. Naturaleza y Medio Ambiente, N<sup>o</sup> 1. Vicerrectorado de Campus y Calidad Ambiental. UAH.
- Fernández, M.J., Baz, A. (2005). Mariposas del Campus Externo de la Universidad de Alcalá. Cuadernos del Campus. Naturaleza y Medio Ambiente, N<sup>o</sup> 3. Vicerrectorado de Campus y Calidad Ambiental. UAH.
- López Camacho y Camacho, B (2001) Galerías de captación de agua en la Europa mediterránea. Revista de obras públicas, n 3414.
- Martín-Loeches, M., Sastre, A., Pastor, C. y Garcés, F. (1990) Diseño y puesta en marcha de una red de seguimiento de la calidad química y bacteriana del agua de los acuíferos aluviales de Alcalá de Henares y su alfoz. Geolis, Vol. IV, Fasc. 1 e 2. Lisboa.
- Rebollo, S. y Díaz-Aranda, L.M. (2005). Avifauna de la Universidad de Alcalá. Cuadernos del Campus. Naturaleza y Medio Ambiente, N<sup>o</sup> 2. Vicerrectorado de Campus y Calidad Ambiental. UAH.
- SGOP (1980). Informe sobre los recursos hídricos del subsuelo de Alcalá de Henares. SGOP, Inf. 07/80. MOPU.
- TRAGSA (1992). Estudio sobre la autosuficiencia del recurso hídrico para el mantenimiento del Real Jardín Botánico "Juan Carlos I". Informe Interno.
- Villarroya, F. (1977). Hidrogeología regional del Neógeno detrítico y Cuaternario de la cuenca del río Henares. Tesis Doctoral. Editorial Universidad Complutense de Madrid, 1983.

## Glosario

*Anisótropo*: Relativo a un material que varía sus propiedades con la dirección.

*Áridos*: Materiales detríticos sueltos (gravas y arenas preferentemente) utilizados para la construcción.

*Dureza*: Característica química que manifiesta el contenido de la misma en iones alcalinotérreos, particularmente en el  $\text{Ca}^{2+}$  y el  $\text{Mg}^{2+}$ ; se expresa normalmente en ppm de  $\text{CaCO}_3$ . En este acuífero cuaternario, el agua presenta por lo general valores de conductividad superiores a  $1.000 \mu\text{S}/\text{cm}$  y de dureza comprendida entre 300 y 400 ppm de  $\text{CaCO}_3$ .

*Evapotranspiración potencial*: Agua devuelta a la atmósfera en estado de vapor por un suelo que tenga la superficie completamente cubierta de vegetación, en el supuesto de no existir limitación en la disponibilidad de agua para obtener un crecimiento vegetal óptimo.

*Heterogéneo*: Relativo a un material que no mantiene sus propiedades de un punto a otro del mismo.

*Higrófilo*: Relativo a la vegetación ávida de agua.

*Higrohalófilo*: Relativo a la vegetación necesitada de abundante agua con un elevado contenido salino.

*Nivel freático*: Nivel correspondiente a la superficie superior de la zona de saturación de un acuífero de carácter libre.

*Pozos surgentes*: aquellas obras de captación en las que el agua asciende espontáneamente por encima del nivel del suelo, como consecuencia de disponer de un potencial hidráulico superior a la cota de la superficie del terreno.

*Reserva de agua del suelo*: Capacidad del suelo para almacenar agua capilar, que pueda ser utilizada por las plantas para su transpiración. Equivale a la diferencia entre la capacidad de campo (volumen total de agua retenida en los poros) y el punto de marchitez permanente (volumen de agua fuertemente fijado a las partículas minerales) del suelo.

*Viaje de agua*: Galería somera de captación y conducción de agua subterránea hacia el interior de la ciudad. Proceden de la dominación musulmana de la Península Ibérica, que importaron la antiquísima técnica de los khanats (qnats) y mayrat de Irán y otros países árabes, si bien el mayor desarrollo y uso de los mismos tuvo lugar entre los siglos XV y XVIII.



EcoCampus Alcalá se constituye como órgano impulsor y coordinador de las iniciativas relacionadas con el Programa de Calidad Ambiental de la Universidad de Alcalá.

Entre sus objetivos, EcoCampus incluye la participación del personal universitario (principalmente alumnos, pero también profesores y PAS) en la elaboración de propuestas y soluciones encaminadas a la mejora ambiental de nuestra Universidad. Por ello, esperamos tus ideas y colaboración.

Si estás interesado, también puedes participar en las publicaciones. Contacta con nosotros.



EcoCampus Alcalá  
Universidad de Alcalá

Colegio Basilio  
C/ Basilio s/n, 2 planta  
28801 Alcalá de Henares, Madrid  
Tel. (+34) 91 885 2429 / 2430  
ecocampus@uah.es