

Naturaleza hidrogeográfica de los conjuntos kársticos en la zona de Molina de Aragón y Alto Tajo a partir del estudio de sus surgencias

M. J. GONZÁLEZ AMUCHÁSTEGUI, R. GARCÍA GIMÉNEZ
y J. A. GONZÁLEZ MARTÍN

INTRODUCCIÓN

Este trabajo tiene por objeto contribuir al conocimiento hidrogeográfico de algunos conjuntos kársticos situados en el área de Molina de Aragón y Alto Valle del Tajo (Guadalajara). La zona se inserta en las estructuras morfotectónicas de la Rama Castellana del Sistema Ibérico que han sido arrasadas por una extensa superficie de erosión finiterciaria, que es la responsable del paisaje de muelas y parameras de esta región. Esta superficie de erosión (1.200-1.300 m. de altitud), labrada sobre rocas calizas y dolomíticas de edad mesozoica, presenta un conjunto de vallonadas y suaves depresiones de origen kárstico entre las que destaca el polje de Villanueva de Alcorón.

Este dominio se encuentra compartimentado por una serie de profundas hoces y cañones que han sido excavados por el Tajo y sus afluentes; en sus laderas es frecuente la presencia de surgencias que avenaron en el pasado y drenan en la actualidad los sistemas kársticos que abordamos en este estudio. Al pie de estas surgencias se sitúan importantes acumulaciones tobáceas pertenecientes a distintas generaciones cuaternarias y holocenas (GONZALEZ AMUCHASTEGUI y GONZALEZ MARTIN, 1989 y 1993 y GONZALEZ AMUCHASTEGUI, 1993) que constituyen los testimonios indirectos tanto de la existencia pretérita de una circulación kárstica, como de una activa disolución de las capas calizas, de tal modo que son interpretados como depósitos correlativos de importantes fases de karstificación (VAUDOUR, 1984). Estas etapas han alternado con otros periodos climáticos fríos y en ocasiones relativamente secos (GONZALEZ AMUCHASTEGUI y GONZALEZ MARTIN, 1990).

OBJETO Y METODOLOGÍA

Uno de los objetos de este trabajo es desentrañar algunos aspectos de la dinámica kárstica regional, sin pretender por ello acometer objetivos que son más propios de la Hidrogeología, sino precisar algunos hechos hidrogeográficos y geomorfológicos en cuanto al funcionamiento y a la evolución de los sistemas kársticos de la zona. En efecto, con el análisis de las características de las aguas de los manantiales así como de sus caudales pretendemos acercarnos a la idea del geosistema (VAUDOUR, 1984), con el fin de comprender mejor la morfología y la evolución de las formas kársticas.

El método de trabajo ha consistido en establecer un seguimiento hidroquímico de las aguas que manan por las surgencias kársticas; la temperatura, la conductividad y el valor del pH de las aguas han sido obtenidos «in situ» en los mismos manantiales, mientras que los demás análisis han sido efectuados en el laboratorio del Departamento de Química Agrícola, Geología y Geoquímica de la Universidad Autónoma de Madrid. A su vez, estos controles han ido acompañados por observaciones sobre sus caudales de descarga que han sido contrastados con las precipitaciones diarias registradas en la región, en un intento de establecer la posible respuesta temporal de cada surgencia ante la caída de lluvias en las que conocíamos su valor en milímetros y el momento de producirse cada una de ellas. Esta campaña se ha prolongado durante dos años (julio 1990 - junio 1992) recogiendo datos estacionales y mensuales, siendo 12 el número de observaciones. Esta tipología de análisis constituye uno de los procedimientos más tradicionales en el estudio geomorfológico de los sistemas kársticos (BAKALOVICZ, 1976; BAKALOVICZ et MAGNIN, 1980; FORD & WILLIAMS, 1989, etc.) y ha sido aplicado desde hace algún tiempo en España, para caracterizar con éxito el funcionamiento de numerosos conjuntos kársticos (ANTIGUEDAD, 1988; CRUZ SANJULIAN et al., 1980; CUSTODIO, 1986; CUSTODIO et al, 1989; PULIDO et al, 1991, etc.). Con estos análisis, además de obtener información sobre el comportamiento hidrológico del agua en el sistema kárstico, se ha avanzado en el conocimiento de su grado de organización y tipo de red de drenaje subterráneo.

LOS ACUÍFEROS. CARACTERÍSTICAS Y TIPOLOGÍA

La zona se enmarca dentro del acuífero número 18, denominado «Mezozoico del Flanco Occidental de la Ibérica» (IGME, 1985), que abarca parte de las cuencas del Júcar (11.850 km²), Segura (1.330 km²) y Tajo (3.260 km²). En ésta, este sistema abarca las sierras de Albarracín y la Serranía de Cuenca. Más concretamente, la zona se inscribe en la subunidad Montes Universales/Zaorejas con una superficie de 1.525 km², de litología caliza, drenaje hacia los ríos Tajo y Guadiela y una escorrentía subterránea de 335 hm³/año (NAVARRO y otros, 1989).

La dinámica kárstica está condicionada por factores de naturaleza estructural. Desde el punto de vista tectónico, los conjuntos kársticos se asocian a parameras más o menos extensas en las que la tectónica no es compleja ya que ofrecen aspectos más o menos tabulares o en forma de laxos sinclinales (muelas cretácicas). Sólo localmente presentan deformaciones más importantes vinculadas a fallas o relacionadas con algún fenómeno de hundimiento.

Litológicamente, como hechos más relevantes destacaremos por un lado, que los materiales asociados a las facies Keuper en las parameras jurásicas y las areniscas, arenas y gravas que conforman las facies Utrillas, en las muelas cretácicas, constituyen los freáticos más importantes y el basamento impermeable de los conjuntos kársticos de la zona; su presencia ha impedido el desarrollo de las redes subterráneas a mayor profundidad y ha condicionado la existencia frecuente de flujos radiales centrifugos endokársticos que buscan su salida en las laderas de los valles, donde se localizan fuentes y manantiales. Por otro lado, hay que señalar además, la existencia de niveles margosos, margo-calizos y otros de baja permeabilidad suspendidos por encima del nivel freático general, dificultando el flujo vertical del agua de infiltración y dando lugar a pequeñas «capas acuíferas».

El modelo de funcionamiento queda reflejado en la Fig 1: las aguas de lluvia se infiltran sobre la superficie caliza dominante, descienden en profundidad salvando las dificultades que plantean los niveles margosos suspendidos y alcanzan el freático general. Este, al situarse unas decenas de metros por encima de los cauces del Tajo, Gallo y tributarios, genera la presencia de numerosos manantiales colgados en las laderas de los valles a las que se vinculan importantes masas tobáceas.

En función de estas características, la región se incluye dentro del karst de tipo «autogénico» (JAKUCS, 1977). Los diversos conjuntos kársticos se sitúan en posición dominante con respecto a los dominios no kársticos que estratigráfica o tectónicamente aparecen en ubicaciones más bajas. Así los acuíferos se encuentran individualizados y desconectados entre sí a la vez que altimétricamente colgados con respecto a los cauces de la red fluvial de la región; esta ha excavado valles más o menos profundos en los roquedos impermeables y constituye el principal elemento de drenaje regional de los acuíferos.

Ello implica tres hechos fundamentales:

— La recarga hidrológica procede únicamente de la infiltración directa de las aguas de lluvia o nieve caídas sobre la superficie permeable del conjunto kárstico, siendo inexistentes las posibles aportaciones suplementarias asociadas a los flujos subterráneos procedentes de otros parajes.

— La descarga se realiza a través de numerosas fuentes y manantiales situados en las laderas de los valles. Las cotas de estos acuíferos son muy variables como consecuencia de las numerosas discontinuidades de permeabilidad existentes en la columna estratigráfica aflorante en las ver-

tientes. Finalmente hay que señalar que en los conjuntos kársticos analizados la descarga se produce de modo totalmente natural al efectuarse sólo por los manantiales y no haber pozos y bombeos.

— Es conocido desde hace mucho tiempo (JAKUCS, 1977) que en los sistemas kársticos autogénicos, la altura del agua en el interior de los roquedos calizos se encuentra siempre mas alta que la de los puntos de surgencia, adoptando el aspecto lenticular cuya convexidad disminuye su altura hacia los bordes en los que se localizan las fuentes y manantiales (Fig. 1).

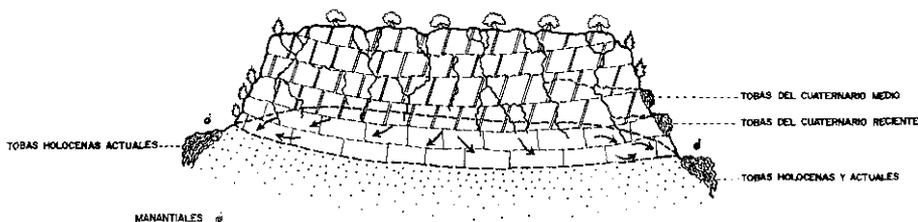


Fig. 1. Modelo de evolución kárstica y de los edificios tobáceos de ladera a lo largo del Cuaternario.

Las reservas del sistema son muy difíciles de precisar ya que son desconocidos aún muchos parámetros del acuífero como son su porosidad eficaz, espesores saturados, etc.; en cualquier caso, las pertenecientes a los acuíferos que quedan colgados no son excesivamente importantes, mientras que en los situados a cotas mas bajas, las reservas pueden ser elevadas.

La secular labor de encajamiento efectuada por la red fluvial del Tajo y de sus afluentes en los roquedos mesozoicos ha individualizado una serie de conjuntos kársticos asociados a los materiales jurásicos y a los cretácicos. Entre ellos destacan (Fig. 2 y Cuadro 1):

1. Paramera jurásica de Torremocha
2. Paramera jurásica de Castilnuevo
3. Paramera jurásica de Torete-Cuevas Minadas
4. Muelas cretácicas de Villar de Cobeta-Lebrancón
5. Muelas cretácicas de Villanueva de Alcorón
6. Páramos neógenos de Zaorejas

En cuanto a la evolución de cada unidad kárstica hay que considerar la existencia por un lado, de un conjunto de formas subaéreas, en general de poco desarrollo y por otro, de una red kárstica que ofrece la superposición de redes correspondientes a diversos estadios de descenso del nivel de base y que se halla en relación estrecha con el encajamiento de los valles; en este sentido, se asiste a un escalonamiento de las surgencias en las laderas de los valles (Fig. 1). Las redes no funcionales y activas se superponen y

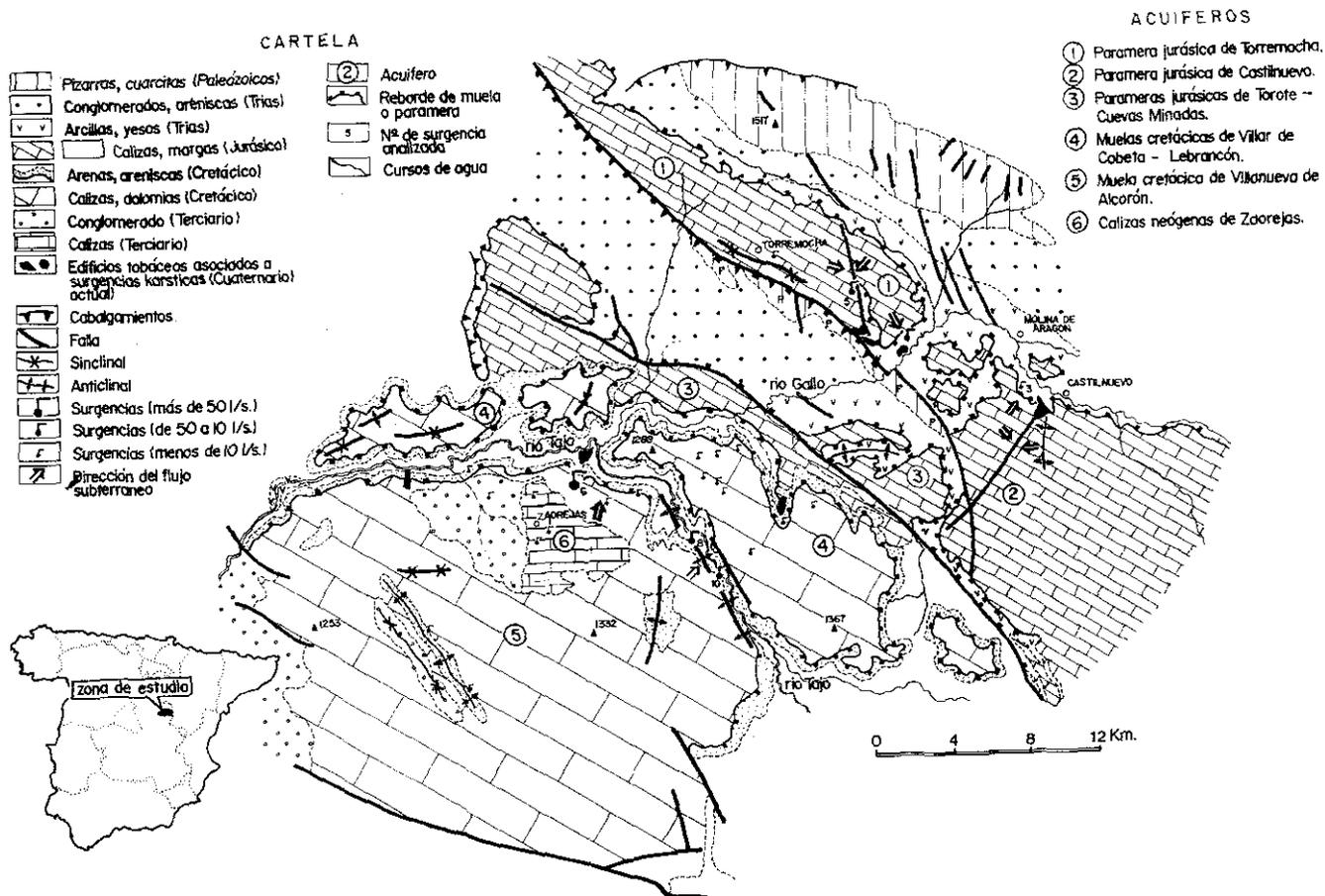
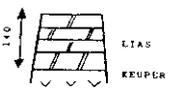
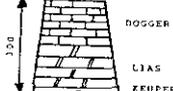
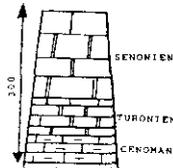
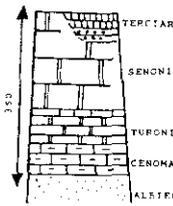


Fig. 2. Localización de los principales acuíferos de la zona de Molina.

CUADRO 1
Síntesis de las características geomorfológicas de los principales conjuntos kársticos de la región del Alto Tajo - Molina

Unidad kárstica y extensión	Estratigrafía y espesor máximo del acuífero	Formas exokársticas	Formas endokársticas	Principales surgencias (*) Hidroquímica analizada
Paramera jurásica de Torremocha 87 km ²		<ul style="list-style-type: none"> — Lapiaz poco desarrollado — Pequeñas depresiones 	<ul style="list-style-type: none"> — Desconocidas — Cavidades de escasa longitud 	<ul style="list-style-type: none"> — Las Cabezas — El Castillo (*) — El Poquelo — F. de la Toba (*) — F. del Mazo
Parámera jurásica de Casilnuevo-Molina 240 km ²		<ul style="list-style-type: none"> — Lapiaz poco desarrollado — Pequeñas depresiones 	<ul style="list-style-type: none"> — Desconocidas — Cavidades de escasa longitud 	<ul style="list-style-type: none"> — El Rinconcillo — El Caserío (*) — Las Alreras
Paramera jurásica de Torete - Cuevas Minadas 83 km ²		<ul style="list-style-type: none"> — Lapiaz poco desarrollado — Pequeñas depresiones 	<ul style="list-style-type: none"> — Desconocidad — Cavidades de escasa longitud 	<ul style="list-style-type: none"> — El Mingazo — El Hontanar
Muela cretácica de Lebrancón - Villar de Cobeta 111 km ²		<ul style="list-style-type: none"> — Lapiaz poco desarrollado — Pequeñas depresiones 	<ul style="list-style-type: none"> — Simas y cuevas de escaso desarrollo — C. Hoya del Castillo — C. del Tesoro 	<ul style="list-style-type: none"> — El Contadero — El Ruidero — La Canaleja — El Ventorro
Muela cretácica de Villanueva de Alcorón y Mesas Terciarias de Zaorejas 466 km ²		<ul style="list-style-type: none"> — Multitud de diaclasas ensanchadas por la disolución — Polje de Villanueva de Alcorón — Depresiones de Zaorejas 	<ul style="list-style-type: none"> — Numerosas simas — S. de Alcorón — S. de Manuel Mozo — S. Balcones I/II — S. del Agujero — S. Bustal I/II/III — S. del Agujero 	<ul style="list-style-type: none"> — El Campillo (*) — F. de la Parra (*) — Fuentelengua — F. de las Tobas (*) — Fuenjordana — Las Tres Fuentes — F. de la Vega — F. de Armallones

aunque las galerías y conductos fósiles han sido abandonados pueden en ocasiones presentar algunos caudales.

La absorción de las aguas se realiza en las altas superficies de las parameras y de las muelas, principalmente en la Mucla de Alcorón, a partir de las simas y cavidades verticales asociadas a una red en general estrecha y labrada a favor del ensanchamiento de fisuras, diaclasas y otros elementos tectónicos; preferencialmente las grietas utilizadas por las aguas son aquellas que han estado sometidas a movimientos distensivos, fisuras de descompresión vinculadas a la apertura de valles. Por el contrario, en el resto de la zona, el carácter de esta infiltración es mucho más difuso.

A partir de aquí, el drenaje subterráneo se organiza en función de la estructura geológica y de la evolución kárstica de cada unidad.

Sobre este conjunto se han realizado una serie de controles físico-químicos de las surgencias kársticas a partir de los cuales se ha obtenido una información importante referida a la naturaleza y funcionamiento kárstico regional.

En cuanto a la transmisividad y dirección de los drenajes subterráneos, poco se puede decir ya que no se ha realizado en la zona ningún estudio de coloración de las aguas. Solo quedan algunos recuerdos ambiguos de los habitantes de la zona que cuentan como se echó paja en la sima de Alcorón (Muela de Villanueva de Alcorón) y que apareció en la surgencia del Campillo, sin que nadie recuerde de modo preciso los días transcurridos hasta su resurgencia por el manantial. Así pues, la única información fiable que podemos utilizar será la obtenida a partir del análisis de las surgencias y de sus aguas.

En cualquier caso, se puede afirmar la lentitud de los flujos kársticos basándonos en los valores constantes de las temperaturas, la regularidad de los caudales y su elevada conductividad, todo lo cual indica un prolongado contacto con los roquedos y la eficacia de los procesos de disolución. La lentitud de estos flujos es detectada por el hecho de que la temperatura del agua que surge por los distintos manantiales se mantiene muy constante, sin mostrar apenas las fluctuaciones estacionales (Fig. 3). Ni siquiera hemos logrado percibir, 7-10 días después de una rápida fusión de la nieve primaveral, la existencia de alguna variación de las que se detectan en otras regiones kársticas tras una rápida fusión del manto nival, pero donde los flujos presentan una mayor velocidad y que han sido evaluadas en unos 3° C (CIVITA et al., 1991).

El continuo y regular caudal de las surgencias, el grado de mineralización de las aguas y su elevada conductividad (Fig. 4), indican, ahora con mucha mayor contundencia que la consideración térmica, aguas de lento discurrir por el acuífero, lo que ha permitido un prolongado contacto con los roquedos y la eficacia de los procesos de disolución.

El contenido químico de las aguas kársticas de la región, está condicionado esencialmente por dos factores: las litologías que componen los acuíferos y freáticos, y el sistema de flujos, que a su vez condiciona el tiem-

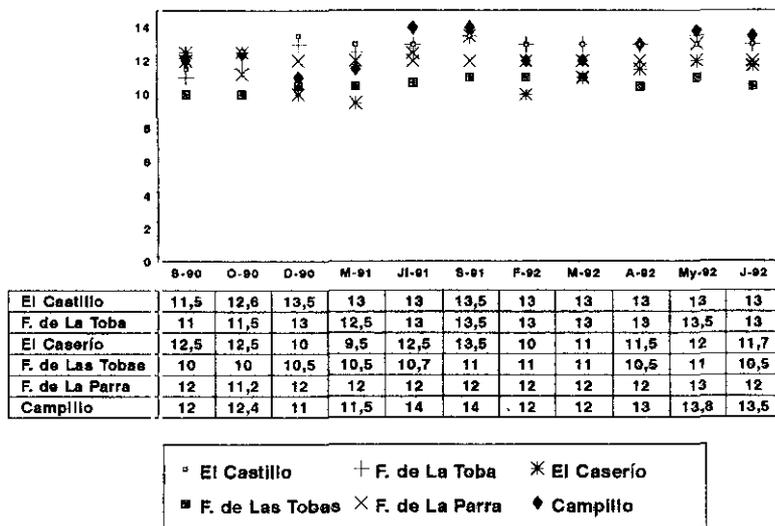


Fig. 3. Evolución de las temperaturas de las aguas surgentes de los conjuntos kársticos jurásicos.

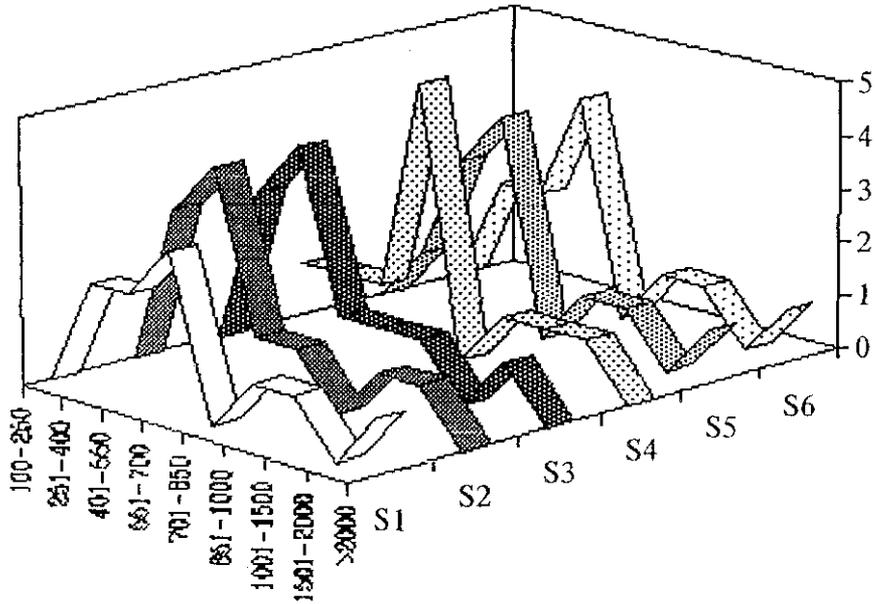
po de residencia del agua en profundidad y el incremento de su mineralización. Así pues, el predominio de aguas de flujo lento permiten deducir un bajo grado de karstificación para estos conjuntos, a excepción de la Muela de Alcorón, con una red subterránea escasamente desarrollada o anegada por materiales detríticos.

La naturaleza caliza y dolomítica de los roquedos del Alto Tajo, determina la dominancia que bicarbonatos, calcio y magnesio tienen, así el tipo de aguas es reiterativamente del tipo bicarbonatado cálcico/magnésico (Fig. 5). No obstante, también hay que constatar la existencia de sulfatos, cloruros y sodio, elementos aportados fundamentalmente por los niveles del Trias superior y que son los principales testigos de unos flujos muy lentos, circulando por la base del acuífero.

En los controles hidroquímicos se ha podido constatar:

— Familias hidroquímicas casi siempre homogéneas a grandes rasgos, donde bicarbonatos y carbonatos son los elementos predominantes.

— Fuertes variaciones en la mineralización de las aguas, controladas por las circunstancias pluviométricas, hidrológicas y el grado de complejidad y desarrollo de la red kárstica. En este sentido hay que señalar una cuestión normalmente aceptada tanto en las regiones árticas (DEMAN-GEOT, 1974) y en la montaña pirenaica (CHEVRIER MAGNE, 1974) como en los dominios atlánticos (CORBEL, 1957) y es que, la cantidad de elementos disueltos en el agua es inversamente proporcional a los caudales kársticos. Esto es, a fuertes caudales les corresponden las concentraciones más débiles (aguas inhibidas por la rapidez de circulación sin que de



- S1: Fuente de El Caserío
- S2: Fuente de El Castillo
- S3: Fuente de la Toba (Corduente)
- S4: Arroyo Campillo
- S5: Fuente de la Parra
- S6: Fuente de la Toba (Río Tajo)

Fig. 4. Distribución de las frecuencias de las conductividades en distintas surgencias.

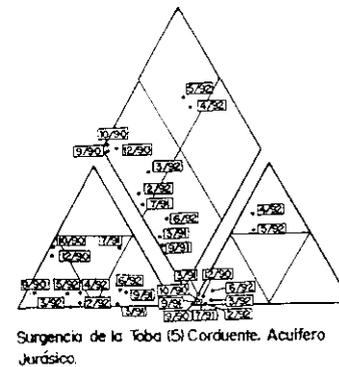
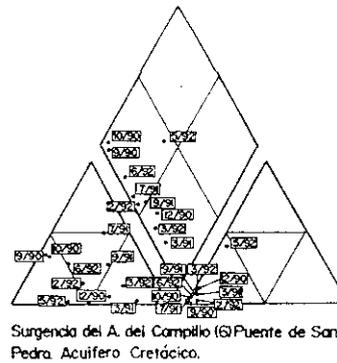
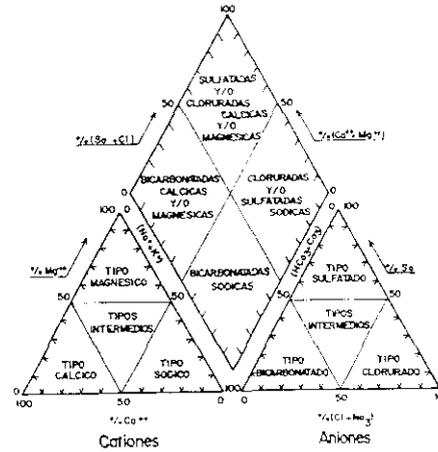


Fig. 5. Tipología y evolución de las aguas en tres surgencias kársticas de la zona en el diagrama de Piper-Hill-Langelier (9/90 a 6/92).

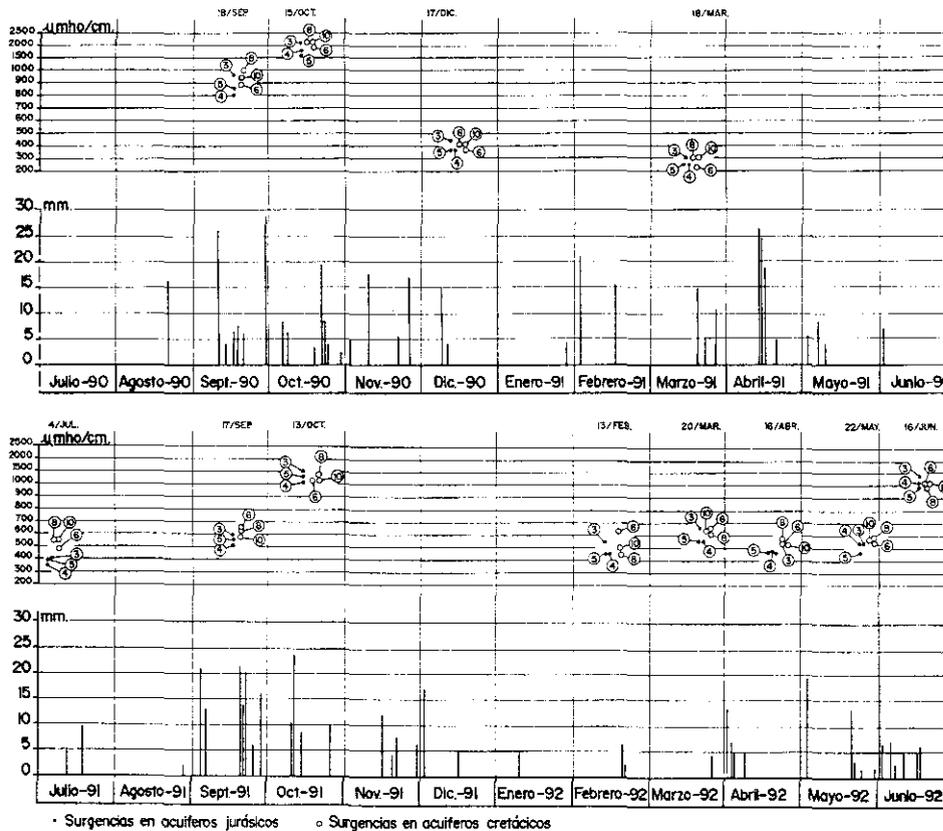


Fig. 6. Evolución de los valores de conductividad ($\mu\text{MHO/cm}$) de las aguas de seis surgencias kársticas en la zona de Molina de Aragón - Alto Tajo en relación con las precipitaciones diarias (mm) registradas en Molina-Cordiente.

tiempo al agua a cargarse de iones), mientras que las aguas en estiaje subterráneo, suelen ofrecer concentraciones más altas.

En nuestra región, contrariamente a lo que cabía esperar, dados los ambientes mediterráneos, no se detectaron las concentraciones más elevadas en las aguas en los meses estivales, ni tampoco puede decirse que la mineralización disminuye con la llegada de las estaciones lluviosas. Efectivamente, un examen de la Figura 5, permite apreciar cómo los momentos de máxima concentración, se registran en diferentes épocas del año y al parecer controladas por periodos de lluvias prolongadas o de cierta intensidad que se localizan de modo impreciso estacionalmente.

Estas precipitaciones continuas o intensas, provocan un efecto pistón en las aguas subterráneas, al expulsar aguas de prolongada estancia y discurrir lento por el freático, lo que determina su elevado grado de mineralización (1.000-2.000 μmhs).

En efecto, del contenido hidroquímico de las aguas que puede deducirse de los valores de la conductividad y su evolución se desprenden datos muy interesantes a la hora de caracterizar el funcionamiento kárstico regional. En la Fig. 6 puede apreciarse un comportamiento hidroquímico «agrupado» de los caudales de las distintas surgencias analizadas, «agrupamiento» del conjunto de las estaciones pero sobre todo se da una mayor homogeneidad entre los grupos jurásicos y cretácicos. Pero lo verdaderamente interesante en este gráfico es la evolución de los valores de la conductividad en relación a la precipitación diaria. De tal modo que si relacionamos el comentario de esta Figura con el sugerido por la Figura 7, referida al modelo de respuesta en el caudal de descarga en distintos manantiales de la zona, podemos hablar de:

— La existencia de sistemas kársticos de dimensiones, evolución y funcionamiento muy diferentes con una respuesta diferencial en cuanto a la descarga de los caudales en las surgencias ante precipitaciones importantes; de tal modo que, mientras en unos casos hay una respuesta violenta e inmediata como en el caso de la Fuente de La Escarerueta (Fig. 7), en otros se produce una descarga algo menos violenta pero también enérgica con un cierto retraso (surgencia del Campillo); finalmente, en las surgencias jurásicas (Fuente del Caserío y Fuente de La Toba), esta respuesta es menos contundente (Fig. 7): tan solo se registra un ligero aumento del caudal, muy posterior en el tiempo.

— La evolución de los valores de la conductividad señalan la respuesta que se produce en el contenido hidroquímico de las aguas ante el régimen de precipitaciones, de tal modo que ante lluvias importantes, se produce como réplica un aumento del valor de la conductividad —ejemplos especialmente claros son los meses de octubre de los años 90 y 91—, es decir un incremento del contenido iónico que de acuerdo con lo expuesto antes vendría a significar que se está produciendo la descarga de caudales que llevan acumulados cierto tiempo y que como consecuencia de las fuertes precipitaciones son expulsados mediante una transferencia de energía.

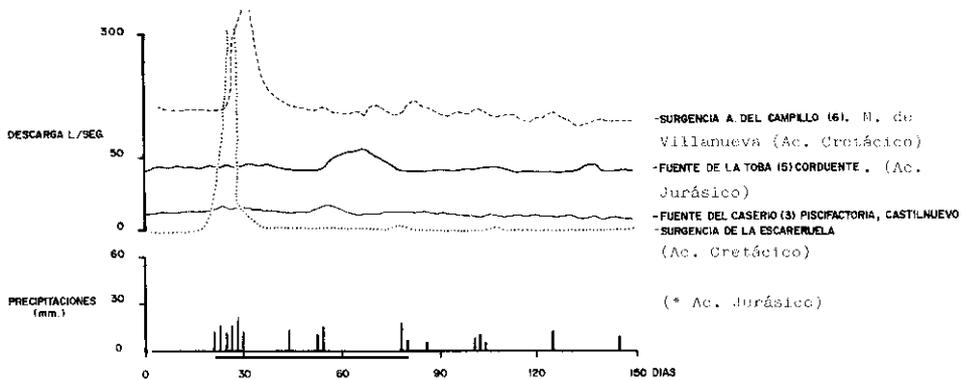


Fig. 7. Modelo de respuesta en el caudal de descarga de cuatro manantiales kársticos en la zona.

CONSIDERACIONES FINALES

Desde el punto de vista geomorfológico, hidroquímico e hidrológico, hemos llegado a la caracterización de tres tipos de comportamientos kársticos:

1. La mayor parte de *las parameras jurásicas* presentan una serie de características que permiten asociarlas en algunos puntos con los denominados «acuíferos difusos». Estos rasgos son:

— Alta permeabilidad en la superficie de las parameras, aunque con escasas formas de absorción que las hacen más o menos inaccesibles al estudio espeleológico.

— La morfología cimera de aspecto muy plano, favorece una recarga uniforme y una emigración del agua en profundidad bastante homogénea, aunque es presumible que la velocidad de infiltración se reduzca progresivamente con la profundidad.

— Importante capacidad de almacenamiento del agua, deducida a partir de la continuidad de los flujos de las surgencias (Fig. 7), su acentuada regularidad crónica con hidrogramas siempre planos en la descarga de los caudales.

— Circulación muy lenta de las aguas, deducida a partir de su elevada mineralización, de la abundancia de elementos retomados de las facies Keuper (sulfatos, cloruros, sodio, etc.). Este discurrir, a modo de flujo difuso, informa del bajo control que la tectónica y la red de diaclasas y fracturas juega en estas parameras y el escaso grado de desarrollo alcanzado por las redes kársticas.

— En estos flujos se ha detectado tras períodos de fuertes precipitaciones, la existencia de un efecto pistón que provoca la salida de aguas con elevadas tasas de mineralización.

2. *La Muela de Villanueva*. Se comporta como un acuífero bicarbonatado de fisuración y grado de karstificación intermedio. En efecto, este conjunto presenta un considerable desarrollo espeleológico, en el que predominan los trazados verticales, sumideros y simas (PUCH, 1986), lo que motiva la existencia de un sistema de infiltración rápido en la zona no saturada, que conecta en profundidad con los niveles de saturación, donde las aguas pasan a un flujo lento que puede asimilarse mas o menos al de los difusos. La razón de esta lentitud es siempre difícil de explicar y tan sólo podemos sugerir una posible reducción de la permabilidad con la profundidad, una escasa presencia de galerías de conducción o por la obturación derivada de la existencia de materiales detríticos.

Esta idea viene sugerida por la regularidad de los manantiales de la muela, la escasísima variación en las temperaturas de sus aguas y los altos valores de la conductividad, que reflejan las características típicas de aguas que llevan un cierto tiempo de residencia. La muela parece presentar en su interior la presencia de algún afloramiento de facies Keuper asociado a una estructura anticlinal, dada la existencia de sodio y cloruros en las aguas que manan de la fuente de Las Tobas.

Los hidrogramas de caudales son bastante continuos salvo ocasionalmente que presentan algunas inflexiones que se corresponden con crecidas, generalmente de cierta duración (<15 días).

3. Finalmente, algunos manantiales parecen drenar acuíferos de alta fisuración o de elevado desarrollo kárstico, como es el caso de *La Escareuela*, la mayor parte del tiempo seca, y que ante precipitaciones fuertes presenta caudales importantes, se trata por tanto un drenaje de respuesta rápida y brusca con fuertes pulsaciones (Fig. 7).

BIBLIOGRAFÍA

Antigüedad, I. (1988): Estudio de los acuíferos kársticos a partir de sus respuestas naturales. Aplicación a dos sistemas del País Vasco. *Rev. Soc. Geol. España*, 1, pp: 221-235.

Bakalovic, M. (1976): Geochimie des eaux karstiques. Une méthode d'étude de l'organisation des écoulements souterrains. *Annales Sci. Univ. Besançon*, 25, pp: 49-58.

Bakalovic, M. et Mangin, A. (1980): L'acuífere karstique. Sa définition, ses caractéristiques et son identification. *Memoires Soc. Geol. France*, 11, pp: 71-92.

Civita, M., Uggeri, A. et Vigna, B. (1991). Le sorgenti sepolte: due esempi nelle area pedemontane alpine. *Intern. Conference environm. Changes in karst areas*. Cuaderni Dip. Geogr. Univ Padoua, 13, pp: 117-136.

Corbel, J. (1981): Les karst du Nord-Ouest de L'Europe. Etude sur le rol du climat dans l'érosion des calcaires. *Rev. Geog. Lyon. Mem. Doc.* 12, 514 págs.

Cruz San Julián, J. et al., (1980): Consideraciones preliminares sobre la hidrología del karst de Itxina. *Est Geol.*, 36, pp: 281-287.

Custodio, E. (1986): Hidroquímica del karst. *Jornadas sobre el karst de Euskadi*, Tomo II, San Sebastián.

Custodio et al., (1989): Procesos físico-químicos de disolución-precipitación de carbonatos. Algunos resultados en acuíferos carbonatados españoles. En libro: *El karst en España*. Monografía 4. Sociedad Española de Geomorfología, pp: 321-332.

Chervier Magne, S. (1974). Les phenomenes karstiques dans le massif de Port del Comte. *Mem. et Documents C.N R.S.*, 15 (Phenomenes karstiques II), pp: 135-148.

Demangeot, J. (1974): Dissolution et karstification a L'ile Devon. *Mem. et Docum. C.N.R.S.*, 15, (Phenomenes karstiques II), pp 111-119.

Ford, D. & Williams, P. (1989): *Karst Geomorphology and Hydrology*. Unwin Hyman, London, 601 pags.

González Amuchastegui, M.J. y Gónzalez Martín, J.A. (1989): Geomorfología de las formaciones tobáceas del valle del río Gallo en el área de Molina de Aragón. *Cuaternario y Geomorfología* Vol. 3, n.º 1-4. pp: 63-72.

González Amuchastegui, M.J. y Gónzalez Martín, J.A. (1990): Derrubios crioclásticos y etapas frías en el área de Molina de Aragón (Guadalajara). *I Reunión Nacional de Geomorfología*. Tomo I. pp: 169-179. Teruel.

González Amuchastegui, M.J. y Gónzalez Martín, J.A. (1993): Estudio geomorfológico de las acumulaciones travertínicas y tobáceas del Alto Valle del Tajo (Peñalén-Huertapelayo. Guadalajara). *El Cuaternario en España y Portugal*. I.T.G.E.-A.E.Q.U.A., vol. 1, pp: 99-109, Madrid.

González Amuchastegui, M.J. (1993): *Geomorfología del «Alto Tajo» en el sector de Molina de Aragón*. Tesis doctoral, inédita, U.A.M., 732 págs.

I.G.M.E. (1985): *Síntesis hidrogeológica de Castilla-La Mancha*. Colección Informe. Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, Toledo, 107 pags.

Jakucs, L. (1977). Morphogenetics of karst regions: variants of karst evolution. Budapest. Akademiai Kiado.

Navarro, A., Fernández, A. y Doblas, J.G. (1989): *Las aguas subterráneas en España. Estudio de Síntesis*. Instituto Tecnológico Geominero de España. 2 tomos, 1989, 591 págs.

Puch, G. (1986): La sima Juan Herranz-2. En: *Atlas de Geomorfología*, cd. Alianza Atlas, pp: 285-300.

Pulido, A. et al.(1991). Variaciones hidrogeoquímicas de periodicidad anual en surgencias kársticas. Ejemplo del manantial de La Yedra (Málaga). *Rev. Soc. Geol. España*, 4, pp: 51-59.

Vaudour, J. (1984): Les travertines de piemont: contribution a l'etude des geosystemes karstiques mediterraneens. *Montagnes et Piemonts* R.G.P.S.O., pp: 349-362.

RESUMEN

En este trabajo se analizan las principales características hidrogeográficas de los conjuntos kársticos del Alto Tajo. A partir del análisis geomorfológico, hidrológico e hidroquímico se llega a la caracterización de tres tipos diferentes de comportamiento kárstico en la zona.

Palabras clave: Acuífero kárstico, Alto Tajo, Cordillera Ibérica.

ABSTRACT

The aim of this paper is to provide information about major hydrogeographic characteristics of the «Alto Tajo» karst aquifers. We have distinguished three different behaviours of karst aquifers in the area, taking into account geomorphological analysis, and hydrological and hydrochemical methods.

Key words: Karst aquifer, Alto Tajo, Iberian ranges.