

SINTESIS HIDROGEOLOGICA SOBRE LOS YESOS KARSTIFICADOS DE SORBAS Y SU ENTORNO (ALMERIA, ESPAÑA)

Por

*J.M. Calaforra
*A. Pulido Bosch

RESUMEN

El estudio hidrogeoquímico del karst yesífero de Sorbas ha permitido relacionar este acuífero con el resto de las subunidades presentes en la depresión de Sorbas. La surgencia principal del sistema yesífero —manantial de Los Molinos— puede estar ligada a un flujo a partir de los materiales post-evaporíticos suprayacentes. Esta hipótesis se basa en las similitudes hidrogeoquímicas observadas entre las aguas del manantial de Los Molinos y las de los sondeos ubicados en el miembro Sorbas; la alimentación retardada a partir de ellos permitiría explicar la inercia del manantial aun en épocas de estiaje pronunciado. Sin embargo, a esto último pueden contribuir los procesos de condensación de agua unido a la elevada porosidad de la matriz yesífera. Asimismo se pone de manifiesto la existencia de un acuífero epikárstico con manantiales de escaso caudal pero muy continuo, donde los dos últimos factores —condensación y elevada porosidad de la matriz— serían los únicos que podrían jugar un papel importante.

INTRODUCCION

Las más de 300 cavidades en yeso que han sido inventariadas hasta el momento en el karst de Sorbas, hacen de éste uno de los karsts en yeso más importantes a nivel mundial. Su escasa extensión —unos 14 Km²—, no comparable con la de otros karsts yesíferos como el de Podolja (URSS) o el conocido karst de Bolonia (Italia), no limita la gran profusión de formas kársticas presentes que hacen del lugar un área de peculiaridad científica muy notable. Las actuales explotaciones mineras de estos yesos podrían hacer desaparecer una de las áreas más singulares de la geografía europea.

*Dpto. de Geodinámica e IAGM. Universidad de Granada y CSIC.

Estos yesos constituyen un sistema acuífero de notable inercia, de cuyo funcionamiento hídrico exponemos algunas hipótesis basadas esencialmente en consideraciones hidrogeoquímicas y algunas experiencias en interior de cavidades, como es la medida de condensación de vapor de agua, en curso de estudio.

En estudios anteriores (PULIDO BOSCH, 1982 y 1986) dimos a conocer las ideas preliminares sobre el funcionamiento hidrogeológico del sistema yesífero, así como la descripción de una peculiar forma exokárstica («túmulos») y los resultados de un estudio estadístico sobre sus parámetros geométricos. La cartografía geomorfológica del afloramiento de yesos ha sido también recientemente difundida (PULIDO BOSCH y CALAFORRA, 1986).

ASPECTOS GEOLOGICOS Y COMPORTAMIENTO HIDROGEOLOGICO DE LAS FORMACIONES

Los yesos del miembro Sorbas son de edad Messiniense y se incluyen dentro de una de las depresiones intramontañosas de las Cordilleras Béticas (figura. 1). con el fin de simplificar la gran variedad litológica existente en la depresión de Sorbas, hemos diferenciado cuatro grandes conjuntos litológicos:

- A) Materiales de borde de la depresión.
- B) Materiales neógenos pre-evaopórfíticos.
- C) Afloramientos yesíferos.
- D) Materiales neógenos post-evaopórfíticos y cuaternarios.

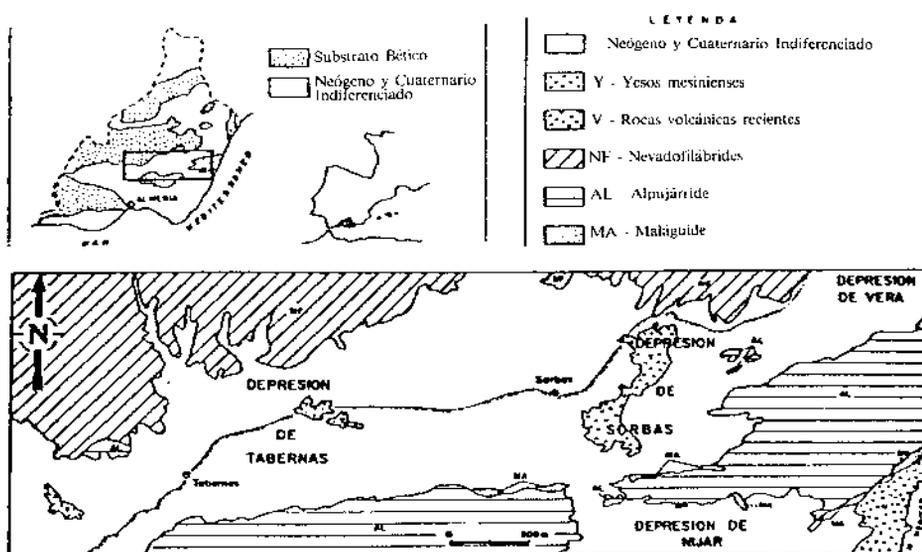


Figura 1.- Situación geológica de los afloramientos yesíferos de la depresión de Sorbas-Tabernas.

A) Materiales de borde de la depresión

Están constituidos por las series alpujárrides, nevado-filábrides y maláguides que configuran el borde de la depresión de Sorbas; los integran materiales esencialmente metamórficos que constituyen las Zonas Internas de las Cordilleras Béticas.

Los materiales *alpujárrides* presentan gran variedad litológica, de forma que afloran desde filitas hasta rocas carbonatadas de comportamiento hidrogeológico bien diferenciado. Las rocas carbonáticas constituyen en ocasiones un buen acuífero, pero en general sus aguas están afectadas por el lixiviado de los niveles filíticos adyacentes, originando unas aguas de mala calidad (Manantial de Mizala y sondeo García Alto). En todo caso, en el área de borde de la depresión no se localizan descargas importantes de las mismas y tampoco cabe suponer que la alimentación oculta procedente de estos acuíferos sea apreciable, ya que en general se trata de bloques acuíferos desconectados entre sí por niveles de filitas.

Los terrenos nevado-filábrides afloran esencialmente en el borde Norte de la depresión y están constituidos por micasquistos, gneises y rocas carbonatadas. Únicamente los niveles gneísicos llegan a ponerse en contacto con los yesos al Norte del afloramiento. Los gneises son acuíferos por fracturación, pero sus aguas presentan mala calidad química. Las rocas carbonatadas nevado-filábrides afloran ampliamente al Norte de La Venta de Los Yesos, pero se puede afirmar que se encuentran totalmente aisladas de la depresión por los materiales turbidíticos del Tortoniense y por las margas del miembro Abad.

Los materiales *maláguides* afloran muy escasamente en el área de estudio; están constituidos por grauvacas y argilitas con una presencia muy limitada de rocas carbonatadas terciarias. Regionalmente se sitúan encima de los materiales alpujárrides, con lo que su relación hídrica con el conjunto de la depresión es aún menos significativa.

B) Materiales pre-evaporíticos

— *Conglomerado basal* (Mioceno inferior - Tortoniense inferior): se trata de un acuitardo constituido esencialmente por materiales conglomeráticos pero que presentan un contenido apreciable en arcillas. Se encuentran relacionados con el borde septentrional de Sierra Cabrera, de donde reciben una alimentación oculta proveniente de las calizas, dolomías y filitas triásicas del complejo alpujárride, pero que en todo caso no debe ser muy importante, ya que no se registra ninguna descarga significativa en su borde. No existen puntos acuíferos claramente vinculados con este acuitardo. Además, su relación con el resto de la depresión y en particular con la cuenca alta del río Aguas, es prácticamente nula, puesto que a techo están impermeabilizados por niveles turbidíticos.

— *Turbiditas tortonienses*: esta potente serie margoso-detritica, que puede alcanzar 800 m de potencia, separa hídricamente el conglomerado basal del resto

de la depresión. En conjunto actúan como acuícludo, aunque los niveles conglomeráticos y areniscas que contienen pueden ser parcialmente productivos.

— *Miembro Azagador* (RUEGG, 1964; VOLK, 1967): se trata de calizas de algas y areniscas calcáreas, discordantes sobre la serie anterior y que alcanzan una potencia de unos 40 m. Presentan tres puntos de descarga significativos: los manantiales de Los Perales, Alfaiz y Lantisco. Todas ellas drenan directamente sus aguas al cauce del río Aguas, pero se ubican fuera de la cuenca del Alto Aguas. CARULLA (1977) considera el miembro Azagador como un acuitardo.

— *Miembro Abad* (op. cit.): constituye la base impermeable de los materiales neógenos recientes del alto Aguas. Está formado por una serie potente —supera los 100 m— de margas y limos que se sitúan infrayacentemente a los yesos messinienses, a favor de los cuales se drena la unidad del alto Aguas en el manantial de Los Molinos.

C) Afloramientos yesíferos

Dentro de la cuenca estudiada se encuentran dos afloramientos de yesos. El afloramiento de Sorbas, con unos 14 Km², constituye el borde oriental, mientras que el situado en la Venta de los yesos está muy cercano al borde occidental, límite con la cuenca de la rambla de Tabernas y río Andarax. Los yesos de Sorbas (miembros Yesares de la formación Caños; RUEGG, 1964; DRONKERT, 1976) se encuentran intensamente karstificados tanto en superficie como en profundidad. Sin embargo, el afloramiento de la Venta de los Yesos, no presenta una karstificación tan acentuada en superficie; es allí donde se ubica el único sondeo claramente en yesos del área, el cual dio un caudal inicial de 90 l/s, aunque actualmente ha descendido notablemente su rendimiento debido a las últimas sequías. En suma, la karstificación en profundidad es importante aún cuando sobre los yesos descansen materiales post-messinienses.

La permeabilidad que deben presentar los yesos en grandes conductos es equiparable a la de las calizas karstificadas y del orden de 10 a 10⁻² m/s. Sin embargo, la matriz yesífera, que podría constituir la mayor reserva del acuífero, podría presentar una permeabilidad inferior, del orden de 10⁻⁶ m/s aproximadamente, lo que proporciona al sistema una configuración de acuífero de doble porosidad. Las intercalaciones pelíticas no suponen barreras hídricas para el conjunto ya que no suelen superar 1 m de potencia y son fácilmente obviadas por pequeñas fallas.

D) Materiales post-evaporíticos

— *Miembro Cantero* (RUEGG, 1964): hemos optado por considerar al miembro Cantero como depósito post-evaporítico, hipótesis mantenida en investigaciones recientes (DABRIO et al., 1985), aunque las implicaciones hidrogeológicas que pueda tener su ubicación cronoestratigráfica sean poco importantes. Lo inte-

gran facies arrecifales constituidas esencialmente por calizas organógenas con una porosidad elevada. Se trata, pues, de un buen material acuífero, aunque su potencialidad es escasa, debido a que su superficie de afloramiento no es muy grande y no tiene una continuidad apreciable en profundidad.

El afloramiento del borde septentrional de la depresión es drenado por los manantiales de los Mañas, los Pérez, y los Alfás, que en conjunto superan escasamente 1 l/s. Las relaciones con los materiales intrayacentes son difíciles de determinar. En ocasiones el conjunto alimenta a la formación Góchar y/o Sorbas, pero en otras son éstos los que aportan un caudal significativo a los arrecifes. Tal es el caso de los manantiales de Moras y Góchar. Los arrecifes únicamente contactan con los yesos, y de forma mecánica, en el sector de la Venta de los Yesos, con lo que una comunicación hídrica directa entre ambos materiales sería prácticamente nula.

— *Miembros Sorbas y Zorreras* (op. cit.): el miembro Sorbas está constituido esencialmente por una alternancia de calizas blancas, areniscas y conglomerados típicos de un medio costero. En la base, la secuencia se inicia con sedimentos laminados arcillosos y limosos, pero que en principio no cabe esperar que aislen hídricamente el miembro de los niveles yesíferos infrayacentes, ya que su espesor es inferior a los 10 m y su continuidad lateral hacia el borde de la cuenca no debe ser muy grande.

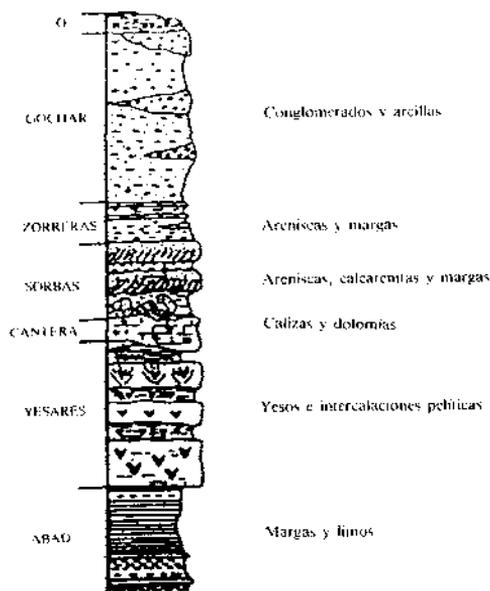


Figura. 2.— Serie tipo del Neógeno de la depresión de Sorbas.

El miembro Zorreras, litológicamente, es en rasgos generales semejante al miembro Sorbas, salvo que abundan más los conglomerados —sobre todo hacia techo— y los niveles carbonatados están constituidos en este caso por caliches. El conjunto se ha agrupado en una misma unidad hidrogeológica, de características semipermeables, que al mismo tiempo que confieren cierto confinamiento al miembro Yesares, permiten el intercambio hídrico con el mismo, al menos en el sector Oeste de la cuenca.

— *Formación Góchar* (RUEGG, 1964): acuitardo caracterizado por la presencia mayoritaria de materiales conglomeráticos; es una sucesión muy monótona, pero con algunas intercalaciones limosas que le dan cierta heterogeneidad espacial.

En la figura 2 se representa una serie tipo de los materiales en posible relación con los afloramientos yesíferos.

En base al comportamiento hidrogeológico, anteriormente expuesto, de los materiales presentes en la depresión, se han diferenciado cuatro subunidades hidrogeológicas, dentro de la gran unidad del Alto Aguas:

1. Acuífero yesífero de Sorbas-Tabernas.
2. Acuífero calizo Cantera.
3. Acuitardo detrítico de Sorbas-Zorreras.
4. Acuitardo detrítico de Góchar.

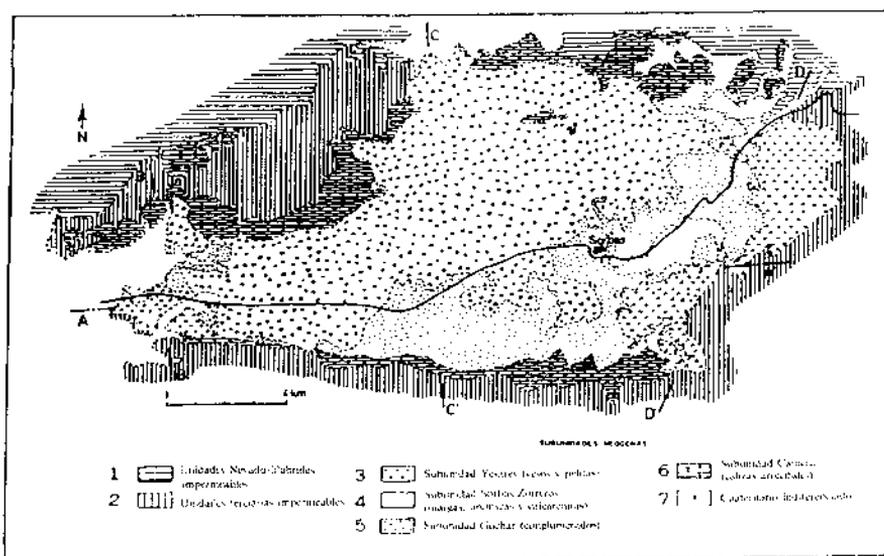


Figura. 3.— Extensión de las subunidades hidrogeológicas definidas en la cuenca del Alto Aguas. 1: Unidades Nevado-filábrides impermeables; 2: Unidades terciarias impermeables; 3: Subunidad Yesares (yesos y pelitas); 4: Subunidad Sorbas-Zorreras (margas, areniscas y calcarenitas); 5: Subunidad Góchar (conglomerados); 6: Subunidad Cantera (calizas arrecifales); 7: Cuaternario indiferenciado.

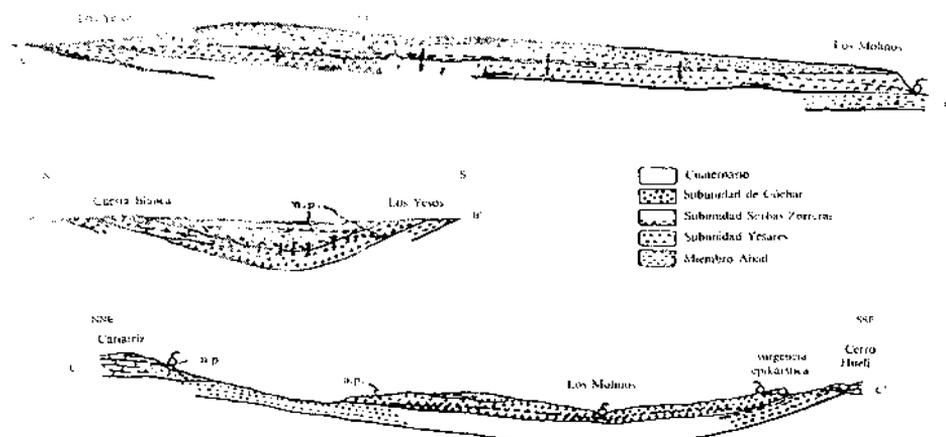


Figura. 4.— Cortes hidrogeológicos de la depresión de Sorbas (para su ubicación véase figura 3).

En la figura 3 se representa la extensión aflorante de cada unidad con sus límites impermeables que configuran el borde de la depresión neógena del Alto Aguas. Estos bordes están constituidos por: al Norte, filitas, micasquitos y gneises del complejo Alpujárride, y margas del miembro Abad; al Sur, por margas y turbiditas del neógeno antiguo; al Este, por margas del miembro Abad y al Oeste, por el umbral piezométrico de la Venta de los Yesos.

Desde el punto de vista tectónico, los materiales de la depresión de Sorbas —incluidos los yesos messinienses— se caracterizan por la escasa deformación sufrida, de manera que la estructura de la depresión puede asimilarse a un gran pliegue sinclinal de eje E-W (figura 4) con algunas estructuras menores debidas a fallas de borde en el contacto con los materiales de las zonas internas béticas y estructuras sedimentarias o de colapso.

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE LAS AGUAS

Para una mejor comprensión de los resultados hemos dividido los análisis químicos realizados en cuatro grupos: Los Molinos, acuífero epikárstico yesífero, Venta de los Yesos, acuífero Cantera y sistema post-evaporítico. En este último grupo, hemos incluido todos aquellos sondeos que presumiblemente atraviesan el pliocuaternario y el miembro Yesares e, incluso, que pueden recibir aportes hídricos del miembro Cantera y/o Yesares. En cada una de las tablas referidas a los iones mayoritarios y características físicas, se exponen valores medios para cada uno de los grupos, excepto en el caso del sector de la Venta de los Yesos, donde se dispone de un solo análisis.

CARACTERISTICAS FISICAS

De acuerdo con la clasificación de SCHOELLER (1962), la totalidad de las aguas subterráneas de la depresión se incluye en el grupo de aguas ortotermales o normales, considerando una temperatura media anual del aire en el área de 18°C. sin embargo el manantial de Los Molinos, con 21,6°C de temperatura del agua, queda muy cercano al campo de las aguas hipertermales; la surgencia de las Viñicas, por el contrario, se puede considerar como un agua casi hipotermal.

| | T agua (°C) | Clasificación (SCHOELLER, 1962) |
|--------------------|-------------|---------------------------------|
| Los Molinos | 20 - 21,6 | Ortotermal (Hipertermal) |
| Epikarst | 14,5 | Ortotermal (Hipotermal) |
| Venta de los Yesos | 20,5 | Ortotermal |

Tabla. 1.— Clasificación termal de las aguas del acuífero yesífero de Sorbas.

El agua de infiltración que alimenta el acuífero yesífero en profundidad tiene que atravesar, por lo general, los materiales post-evaporíticos suprayacentes a los yesos hasta adquirir cierta profundidad, que será mayor en el área del eje sinclinal de la depresión. Esta profundidad, estimada a partir de los cortes geológicos, podría superar los 200 m, lo cual supondría un aumento de unos 6°C en la temperatura del agua de infiltración (alrededor de 13 a 15°C). Este es el caso del manantial de Los Molinos y los sondeos que atraviesan los niveles yesíferos. Para intentar explicar la surgencia de aguas «calientes» en este sector de hipertemia, no creemos necesario invocar fenómenos de flujo sifonante proveniente de otras unidades béticas; el gradiente piezométrico de la depresión está acorde con la cota topográfica del manantial de Los Molinos.

En la depresión de Sorbas encontramos gran variedad de conductividades que quedan comprendidas entre 450 y 4.400 μ mhos/cm. Hay que destacar que la mayoría de los puntos muestreados superaron los 1.500 μ mhos/cm. En la tabla 2 se recogen los valores de conductividad más representativos de cada una de las áreas de la depresión.

| | Conductividad (μ mhos/cm) | | Desv. típica/ \bar{X} |
|----------------------|--------------------------------|---------------------|-------------------------|
| | Intervalo | Media (\bar{X}) | |
| Los Molinos | 3.280 - 4.400 | 3.661 | 0,12 |
| Epikárstico yesífero | 2.300 - 2.990 | 2.399 | 0,11 |
| Subunidad Cantera | 450 - 711 | 590 | 0,16 |

Tabla. 2.— Conductividad de las aguas subterráneas en distintos sectores de la depresión de Sorbas.

Las aguas de circulación profunda, representadas por el manantial de Los Molinos, siempre tienen valores superiores a 3.000 $\mu\text{mhos/cm}$. En el acuífero epikárstico yesífero, debido al menor tiempo de contacto agua-roca, los valores de conductividad no superan los 3.000 $\mu\text{mhos/cm}$; por el contrario las aguas de los manantiales relacionados con el miembro Cantera no superan los 1.000 $\mu\text{mhos/cm}$, ya que a pesar de que las condiciones de circulación hídrica pueden ser semejantes a las descritas para la franja epikárstica del miembro Yesares, el material arrecival (esencialmente dolomítico) es mucho menos soluble que el yeso.

CARACTERISTICAS QUIMICAS

En la tabla 3 se muestran los valores obtenidos en los análisis químicos realizados agrupados de acuerdo con las unidades diferenciadas. Se incluye el intervalo de medidas obtenido y su valor medio expresado en mg/l y meq/l. El agua subterránea de la depresión de Sorbas presenta una variación muy notable en cuanto al contenido en ión bicarbonato, que oscila entre 1,7 y 8,4 meq/l. El primer valor responde al acuífero epikárstico desarrollado sobre los yesos, mientras que el segundo se trata de una captación (punto 2.342/5/50) que explota el acuífero Cantera y el miembro Sorbas. Los contenidos más altos en bicarbonatos lo presentan los sondeos que explotan al menos el acuífero Cantera (valores superiores a 300 mg/l) mientras que los manantiales relacionados con este mismo acuífero arrojan contenidos inferiores en bicarbonatos (215 mg/l). Se obtienen mayores contenidos en bicarbonatos cuando el drenaje del acuífero se efectúa en niveles arrecifales infrayacentes al miembro Sorbas, mientras que cuando el drenaje se realiza mediante manantiales cuya alimentación hídrica proviene de la infiltración directa sobre los materiales arrecifales, el contenido en bicarbonatos es menor. El tiempo de contacto agua-roca también se ve reflejado en el contenido en bicarbonatos del miembro Yesares. Los valores máximos se obtienen en el manantial de Los Molinos, mientras que los mínimos aparecen en el sistema epikárstico. En el sector de la Venta de los Yesos se detectan valores intermedios.

Los sulfatos provienen de la disolución del yeso, aunque también se ha detectado epsomita como mineral secundario, pero en muy bajas cantidades. La anhídrita no ha sido detectada en el miembro Yesares. Dado que ningún sondeo de la depresión (cuenca del alto Aguas) parece llegar a niveles impermeables triásicos, es presumible que todo manantial o sondeo que presente un alto contenido en este ion esté ligado de una u otra forma a los yesos messinienses.

La gran variedad en contenido en sulfatos del sistema post-evaporítico responde a la presencia de sondeos en la depresión que llegan a cortar los niveles yesíferos frente a otros que tan sólo explotan el acuífero Cantera o el miembro Sorbas y de ahí la alta dispersión deducida a partir de los datos de los análisis.

| | BICARBONATOS | | | SULFATOS | | | CLORUROS | | |
|----------------------|------------------|------------------------|-------------------------|------------------|------------------------|-------------------------|------------------|------------------------|-------------------------|
| | Intervalo (mg/l) | Media \bar{X} (mg/l) | Media \bar{X} (meq/l) | Intervalo (mg/l) | Media \bar{X} (mg/l) | Media \bar{X} (meq/l) | Intervalo (mg/l) | Media \bar{X} (mg/l) | Media \bar{X} (meq/l) |
| Los Molinos | 228-271 | 249 | 4,2 | 1.436-1.647 | 1.561 | 32,5 | 254-323 | 282 | 8,0 |
| Epikárstico yesífero | 104-175 | 144 | 2,4 | 1.061-1.394 | 1.275 | 26,5 | 36-60 | 44 | 1,2 |
| Venta de los Yesos | 181 | 181 | 3,0 | 1.490 | 1.490 | 31,0 | 74 | 74 | 2,1 |
| Acuífero Cantera | 183-299 | 215 | 3,6 | 34-55 | 49 | 1,0 | 44-77 | 63 | 1,8 |
| Sistema post-evap. | 122-512 | 249 | 4,2 | 152-1.873 | 804 | 16,7 | 156-567 | 286 | 8,1 |

| | CALCIO | | | MAGNESIO | | | SODIO | | |
|----------------------|------------------|------------------------|-------------------------|------------------|------------------------|-------------------------|------------------|------------------------|-------------------------|
| | Intervalo (mg/l) | Media \bar{X} (mg/l) | Media \bar{X} (meq/l) | Intervalo (mg/l) | Media \bar{X} (mg/l) | Media \bar{X} (meq/l) | Intervalo (mg/l) | Media \bar{X} (mg/l) | Media \bar{X} (meq/l) |
| Los Molinos | 552-682 | 635 | 31,8 | 73-107 | 89 | 7,4 | 79-200 | 143 | 6,2 |
| Epikárstico yesífero | 504-624 | 586 | 29,3 | 8-61 | 28 | 2,3 | 16-30 | 23 | 1,0 |
| Venta de los Yesos | 602 | 602 | 30,1 | 54 | 54 | 4,4 | 51 | 51 | 2,2 |
| Acuífero Cantera | 34-48 | 43 | 2,2 | 24-41 | 32 | 2,6 | 17-50 | 35 | 1,5 |
| Sistema post-evap. | 96-521 | 336 | 16,8 | 19-146 | 89 | 7,4 | 108-345 | 224 | 9,7 |

Tabla 3. — Análisis químicos realizados en la depresión de Sorbas diferenciados según grupos hidrogeoquímicos.

La presencia mayoritaria de sulfatos en las aguas subterráneas puede enmascarar los resultados analíticos de las determinaciones. WIGLEY (1971) demuestra que en aguas con alto contenido en SO_4^{2-} , el proceso de enmascaramiento de iones, mediante la formación de «iones pareados» tales como el MgSO_4^0 , CaHSO_4^+ , MgHCO_3^+ , CaCO_3^0 , etc., modifica los índices de saturación de cada una de las sustancias disueltas y, en suma, las determinaciones que se realicen mediante técnicas analíticas convencionales.

En las aguas subterráneas de la depresión de Sorbas existen dos fuentes principales para el ión cloruro. En principio, cabría esperar que los niveles evaporíticos del miembro Yesares suministraran la gran mayoría de los cloruros en disolución, mediante un proceso de lixiviación de las sales cloruradas, tan frecuentemente asociadas a los yesos. Sin embargo, estas sales, ni han sido detectadas en los estudios sedimentológicos de estos niveles, ni los manantiales ligados únicamente a los estratos yesíferos arrojan cantidades significativas de cloruros. Es más, incluso los manantiales en relación con el acuífero Cantera, presentan contenidos más altos. El ion cloruro del agua de lluvia oscila, como intervalo de mayor frecuencia, entre 0 y 23 mg/l (FETH, 1964 in CASTILLO, 1986), valores muy semejantes a los obtenidos en las surgencias epikársticas de los yesos (36-60 mg/l) por lo que podríamos corroborar la hipótesis sedimentológica de que en los niveles evaporíticos del miembro Yesares, las sales cloruradas son prácticamente inexistentes.

Tras estas consideraciones, ¿cómo podríamos explicar el alto contenido rela-

tivo en cloruros que presenta el manantial de Los Molinos? Parece claro que hay que invocar otras fuentes de procedencia de cloruros. La cobertera yesífera y concretamente el miembro Sorbas puede suministrar estas cantidades de cloruros, de hecho se han descrito huellas de halita en sus facies de playa (DABRIO et al., 1985). Además, este hecho viene corroborado por los análisis químicos de las aguas del manantial de Los Molinos —que drena indistintamente tanto facies evaporíticas como post-evaporíticas— y de sondeos ubicados en los sectores centrales de la depresión donde se capta un espesor importante del miembro Sorbas (Alpargatero bajo, Quijiliana, La Mojonera...).

En la depresión de Sorbas, las fuentes de procedencia del ión calcio son múltiples y variadas; el miembro Yesares mediante la disolución del yeso; las rocas carbonatadas del miembro Cantera y, por último, la solubilización de feldespatos a partir de los niveles conglomeráticos de la formación Góchar. De acuerdo con los análisis realizados en la depresión, se demuestra que la principal fuente de aportes del ion Ca^{++} proviene de los niveles yesíferos, precisamente de la disolución del $\text{SO}_3\text{Ca}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Sin embargo, los manantiales en relación con rocas carbonatadas —acuífero Cantera— están claramente subsaturadas en este ion, sin alcanzar siquiera 50 mg/l. Este hecho se debe atribuir, en primer lugar, a la menor solubilidad de la calcita frente al yeso y en segundo lugar al escaso tiempo de contacto agua-roca en el acuífero Cantera.

El contenido en magnesio de los manantiales del acuífero Cantera (Los Aliás, Los Mañas y Los Pérez) están en relación con la dolimitización de estos materiales. En la surgencia principal de Los Molinos y en los sondeos de la depresión en posible relación con el miembro Yesares los contenidos en ion magnesio son bastante elevados (entre 73 y 146 mg/l). La posible fuente de esta cantidad tan elevada de magnesio no podía ser el acuífero arrecifal, ya que sus niveles se encuentran por encima de los del resto de la depresión sin establecerse un intercambio hídrico importante entre ambos. La explicación habría que buscarla en el propio miembro Yesares; en las intercalaciones pelítico-carbonáticas de éste, se detectó la presencia de epsomita como mineral secundario en relación con la evaporación de la humedad del suelo. El ion magnesio es un buen indicador del tiempo de contacto agua-roca ya que a pesar de ser más soluble que el Ca^{++} (calcita) la reacción de solubilización es mucho más lenta. Así, podemos comprobar que los contenidos en Mg^{++} en el acuífero epikárstico son notablemente menores que en la surgencia de Los Molinos. Únicamente en aquellas situaciones en las que el agua permanece prácticamente estancada —tal como ocurre en el sifón terminal de la cueva SO-21— pueden detectarse unos contenidos algo mayores.

La distribución espacial del ion Na^+ dentro de la depresión es muy similar a la del ion cloruro al que generalmente se encuentra ligado. De esta forma, se obtiene una relación, en cuanto a posible procedencia de este ion, entre los contenidos obtenidos en los sondeos ubicados en el miembro Sorbas y el manantial de Los Molinos, tal como ya pudo detectarse en el análisis del ion cloruro.

FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLOGICO

En primer lugar es preciso establecer los condicionantes que aporta el propio miembro Yesares a la circulación hídrica tanto en grandes conductos como a nivel de la matriz yesífera. La singular litología del miembro Yesares controla especialmente las direcciones preferentes de flujo dentro del macizo yesífero, el cual está integrado por una alternancia de sedimentos pelíticos laminados de naturaleza carbonatada y bancos de yeso que pueden alcanzar potencias de hasta 20 m.

El esquema de flujo, válido al menos para la circulación hídrica en grandes conductos en la zona no saturada, tiene dos componentes bien diferenciados en dirección. El flujo es vertical cuando se atraviesa un estrato yesífero acomodándose en general a pequeñas fallas y diaclasas. Al interceptar una intercalación pelítica, el flujo se horizontaliza, sucediéndose los tramos rectilíneos claramente controlados por la estructura. El flujo, en general, es paralelo a la máxima pendiente del estrato pelítico, hasta que intercepta un nuevo nivel yesífero debido a una pequeña falla o simplemente por erosión del estrato pelítico (figura 5).

La matriz rocosa está formada por grandes cristales de yeso —pueden alcanzar hasta 2 m de longitud— intercrecidos entre sí o bien dejando huecos intergranulares rellenos de material pelítico. En muchos sectores la matriz puede llegar a tener una apreciable permeabilidad que podría ser debida a los siguientes factores:

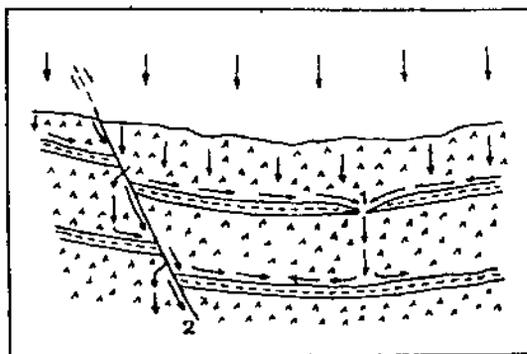


Figura 5.— Esquema simplificado del flujo hídrico en el karst en yeso de Sorbas. Zona no saturada. Cambio de dirección de flujo: 1, por erosión del estrato pelítico; 2, por fractura.

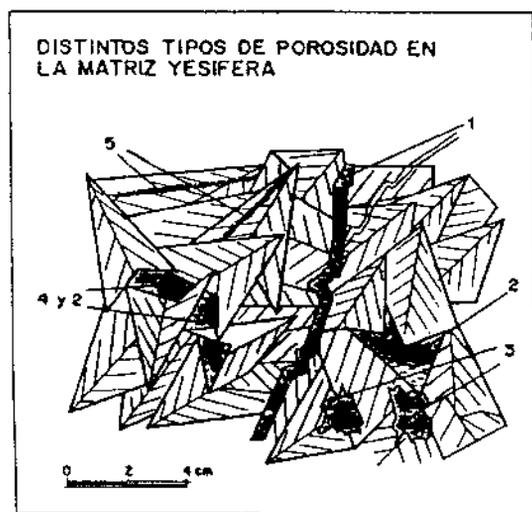


Figura 6.— Distintos tipos de permeabilidad en la matriz yesífera. 1: Por fracturación; 2: Lavado de material pelítico; 3: Por disolución; 4: Porosidad primaria; 5: Planos de exfoliación.

- Porosidad por pequeñas fracturas y grietas presentes en el bloque yesífero.
- Porosidad intergranular por lavado del material pelítico presente entre los cristales de yeso.
- Porosidad por disolución del yeso originándose pequeños huecos en la matriz yesífera dando al bloque un aspecto oqueroso. Se trata de una permeabilidad por porosidad secundaria.
- Porosidad primaria. Huecos interconectados formados por el crecimiento de los cristales de yeso en distintas direcciones durante el depósito.
- Porosidad intercrystalina. Preferentemente a través de planos de exfoliación. De hecho, pueden verse depósitos yesíferos secundarios en estos planos.

En la figura 6 se representan esquemáticamente los distintos tipos de permeabilidad que puede presentar la matriz yesífera. La importancia de cada uno de los tipos en el poder regulador del acuífero aún está por concretar, esperando que investigaciones futuras aporten luz sobre el tema.

La surgencia principal la constituye el manantial de Los Molinos del río Aguas. El manantial no es puntual, sino que se localiza en un tramo a lo largo del cañón excavado por el río Aguas en los materiales yesíferos. El sustrato impermeable del miembro Abad, constituido por margas y limos, se encuentra muy cercano a la superficie. El manantial del río Aguas es el punto topográfico más bajo del afloramiento yesífero (alrededor de 290 m s.n.m.). Su caudal oscila entre 60 y 175 l/s (CARULLA, 1977), e incluso en períodos prolongados de sequía se mantiene por encima de 40 l/s (PULIDO BOSCH, 1982). Esto hace pensar que el sistema está dotado de una gran inercia y consecuente poder regulador. Ante ello se contemplan distintas hipótesis que incluso pueden actuar conjuntamente:

- El poder regulador no está intrínsecamente relacionado con los yesos sino que sería fruto de la alimentación hídrica continuada del miembro Góchar y/o Sorbas que actuarían como nivel semiconfinante.

- El poder regulador es atribuible directamente a la matriz porosa yesífera.

- La condensación del vapor de agua en el interior de las cavidades podría ser significativa para explicar la persistencia del caudal del manantial en épocas de estiaje.

Con respecto a la condensación de vapor de agua en cavidades, se realizó una experiencia piloto en el Sistema SO-21 / Cueva del Agua. Se dispusieron tres placas de condensación a lo largo del tramo actualmente activo de la cavidad que permitieron determinar un aumento creciente de la condensación hacia el interior de la cavidad, de tal forma que el agua condensada en la placa instalada en el área más alejada de la boca de entrada llegó a hacer desbordar el recipiente colector. De este modo es posible aventurar que, al menos en el epikarst, una de las alimentaciones hídricas posibles al sistema acuífero es la condensación de vapor de agua, aunque su cuantificación aún está por determinar.

Por otra parte, el estudio hidrogeoquímico de los distintos puntos acuíferos controlados ha permitido definir las interconexiones hídricas entre las subunidades estudiadas. La comparación entre las muestras tomadas en los manantiales de Los Molinos y Las Viñicas delata una diferencia clave. La surgencia de Los Molinos parece estar ligada a una circulación de flujo más o menos profundo —el agua se encuentra a unos 21°C— de forma que manifiesta un incremento notable en el contenido de iones tales como sulfato, carbonato y calcio con respecto a las cantidades de estos mismo iones que se obtienen en el manantial de Las Viñicas. En este último se denota un menor tiempo de contacto agua-roca propio de una circulación en relación con la franja no saturada.

Pero la diferencia más notable se refiere al contenido de cloruros, sodio y magnesio. Este último puede estar ligado a la presencia de dolomita en las intercalaciones pelítico-carbonáticas del miembro Yesares. En el manantial de Los Molinos el contenido en magnesio sería superior al obtenido en manantiales relacionados con el epikarst, ya que llegarían a atravesarse un mayor número de intercalaciones de esta naturaleza en un flujo profundo. Para intentar explicar los altos contenidos en Cl y Na de la surgencia de Los Molinos y que no tienen su reflejo en las facies relacionadas con el epikarst yesífero, habría que invocar a fenómenos de mezcla de aguas procedentes de otras subunidades acuíferas.

Por todo ello, cabe pensar que las subunidades suprayacentes al miembro Yesares podrían constituir toda el área de alimentación del manantial de Los Molinos; a este respecto, los sondeos que captan los materiales de los miembros Sorbas, Zorreras y formación Góchar presentan unos contenidos muy altos en cloruros y sodio —iones genéticamente ligados— por lo que cabe pensar que estos materiales alimentan a los niveles yesíferos. La naturaleza de ese límite sería semipermeable debido a la existencia de intercalaciones de baja permeabilidad en las formaciones citadas.

Esta hipótesis no solo permite explicar la hidrogeoquímica global descrita para la depresión de Sorbas, sino que puede enmarcarse dentro del contexto hidrodinámico de funcionamiento del manantial de Los Molinos: de este modo, los caudales constantes que presenta esta surgencia, aun en épocas de estiaje acusado, podrían ser explicadas por una alimentación por «goteo» a partir de los niveles post-evaporíticos.

El flujo vertical de agua que se lleva a cabo entre el acuitardo semiconfinante y el acuífero semiconfinado (yesos), únicamente será posible cuando exista una diferencia de potencial entre ambos. La posición relativa de ambas superficies piezométricas variará en el tiempo y en el espacio, de acuerdo con la recarga diferencial que se produzca. El sentido de intercambio hídrico también puede llegar a invertirse.

BIBLIOGRAFIA

- CARULLA, N. (1977). Contribución al conocimiento de la dinámica hidrogeológica en clima semiárido (Depresión de Vera, Almería). Tesis Univ. Aut. Barcelona. 373 p.
- CASTILLO, A. (1986). Estudio hidrogeoquímico del acuífero de la Vega de Granada. Tesis Doct. Univ. Granada. 658 p.
- DABRIO, C.J.; MARTIN, J.M. y MEGÍAS, A.G. (1985). The tectosedimentary evolution of Miopliocene reefs in the province of Almería (SE Spain). 6th European Regional Meeting. Excursion Guidebook. Ed. by M.D. Milá y J. Rosell. Lleida. pp. 271-305.
- DRONKERT, H. (1976). Late Miocene evaporites in the Sorbas basin and adjoining areas. Mem. Soc. Geol. Ital. n.º 16: 341-361.
- PULIDO BOSCH, A. (1982). Consideraciones hidrogeológicas sobre los yesos de Sorbas. Reunión Monográfica sobre el karst de Larra, Isaba (Navarra). pp. 257-274.
- PULIDO BOSCH, A. (1986). Le karst dans les gypses de Sorbas (Almería): aspects morphologiques et hydrogéologiques. Karstologia Mémoires n.º 1: 27-35.
- PULIDO BOSCH, A. y CALAFORRA, J.M. (1986). Formas kársticas en los yesos de Sorbas (Almería). Estudios sobre geomorfología del Sur de España. Dep. Geogr. Física. Univ. Murcia.
- RUEGG, G.H.J (1964). Geologische onderzoekingen in het bekken van Sorbas, SE Spanje. Geol. Inst. Univ. Amsterdam. 67 p. (inédito).
- VOLK, H.R. (1967). Zur Geologie und Stratigraphie des Neogenbeck von Vera (Südost-Spanien). Thesis Univ. Amsterdam. 164 p.
- WIGLEY, T.M.M. (1971). Ion paring and water quality measurements. Can. J. Earth Sci. Vol. 8: 468-476.

ABSTRACT

Hidrogeochemical research carried out in the gypsum karst of Sorbas has allowed us to relate this aquifer to other units of the Sorbas depression. The main spring —Los Molinos— can be related to deep flow through the post-evaporitic overlain deposits. This hypothesis is based on the hidrogeochemical similarity between Los Molinos spring and a number of wells in the semipermeable Sorbas member. The leakage recharge could explain the yield permanence of the Los Molinos spring (75 l/s) in such arid conditions. However, water condensation processes into the caves and the high porosity of the gypsum matrix can contribute to the inerce of epikarstic springs.

RESUME

L'étude hydrogéochimique du karst en gypse de Sorbas a permis de mettre en rapport cet aquifère avec le reste des sous-unités représentées dans la dépression de Sorbas. L'exutoire principale du système gypseux —source de Los Molinos— peut être liée à un écoulement venant des matériaux post-évaporitiques sus-jacents. Cette hypothèse est basée sur les similitudes hydrogéochimiques observées entre les eaux du manantial de Los Molinos et celles des sondages situés dans le membre Sorbas; l'alimentation retardée à partir de ceux-ci permettrait d'expliquer l'inertie du système même dans les étiages accusés. Cependant, à cette dernière affirmation peuvent contribuer les processus de condensation en eau ainsi que la porosité élevée de la matrice gypseuse. On met également en évidence l'existence d'un aquifère épikarstique avec des sources de faible débit mais très continu, où ces deux derniers facteurs —condensation et porosité élevée de la matrice— seraient les seuls qui pourraient jouer un rôle important.