

INTERÉS HIDROGEOLÓGICO DE LAS DOLOMIAS LIÁSICAS DE LA COBERTERA TABULAR DE LA MESETA (NORTE DE ÚBEDA, PROVINCIA DE JAÉN)

J. Rey¹, L.Redondo² y M.C. Hidalgo¹

¹Escuela Univ. Politécnica de Linares, Dpto. de Geología, Universidad de Jaén, 23700 Linares (Jaén).

²Geólogo Consultor. Avda. Libertad 2, 23400 Úbeda (Jaén).

Resumen: Se estudian las distintas unidades acuíferas de la Cobertera Tabular de la Meseta al norte de Úbeda, con especial atención a las dolomías liásicas. Esta unidad hidrogeológica, que aflora en su sector septentrional, está limitada al este por cabalgamientos prebéticos, al sur por las Unidades Olistostrómicas de la Depresión del Guadalquivir, y hacia el oeste desaparece por acuífamientos progresivos. El uso de métodos de prospección geofísica, junto con la información procedente de sondeos mecánicos, permite definir la geometría de este importante acuífero carbonatado. Así, aunque con carácter regional buza ligeramente hacia el sur-sureste, en detalle se deduce la existencia de pliegues de dirección noreste-suroeste, afectados por fracturas noreste-suroeste y noroeste-sureste que compartimentan el acuífero. En el sector meridional, esta unidad aparece confinada bajo materiales margosos del Mioceno que llegan a alcanzar los 600 m de potencia. El acuífero presenta valores de transmisividad del orden de 300-400 m²/día y un sentido general de flujo NNW-SSE. Los caudales obtenidos en las captaciones realizadas oscilan entre 15 y 40 l/s.

Palabras clave: Cobertera Tabular, Jurásico inferior, acuífero, prospección geofísica.

Abstract: This study deals mainly with the aquifer units of the Tabular Cover of the Meseta, placing emphasis on the Liassic dolostones. This unit, that crops out at the northern sector, limits with the Prebetic thrusts to the east, with The Olistostromic units of the Guadalquivir basin to the south, and pinches out to the west. We set out to use complementary geophysical surveys and drilled boreholes information to determinate the nature and exten of this carbonate aquifer. Although in this region the Liassic dolostones dip toward the south-southeast, NE-SW folds affected by NE-SW and NW-SE faults can be deduced after detailed structural analysis. The upper confining units are composed of Miocene marls that range a maximum of 600 m in thickness, in south-eastern sectors. Transmissivity values ranges from 300 to 400 m²/day and the groundwater system flows NNW-SSE. Discharge in recently drilled boreholes ranges between 15 and 40 l/s.

Key words: Tabular Cover, Lower Jurassic, aquifer, geophysical survey.

Rey, J., Redondo, L. y Hidalgo, M.C. (1998): Interés hidrogeológico de las dolomías liásicas de la Cobertera Tabular de la Meseta (norte de Úbeda, provincia de Jaén). *Rev. Soc. Geol. España*, 11(3-4): 213-221.

En distintos foros, tanto nacionales como internacionales, se insiste sobre la necesidad de realizar una planificación hidrológica lo más detallada posible de todas las cuencas, en la que se contemplen datos relativos a la morfología, recursos, reservas y la utilización de los diferentes acuíferos. Siguiendo esta línea, en este trabajo se pretende contribuir al conocimiento hidrogeológico de la comarca de la Loma de Úbeda, provincia de Jaén (fig. 1), geológicamente incluida en la Cobertera Tabular de la Meseta (*sensu* Azéma *et al.*, 1979).

En esta región existe un conjunto de carbonatos jurásicos de un indudable interés hidrogeológico. Sin embargo, es escasa la información que de él se dispone: valga como ejemplo que no se contempla ni en la síntesis hidrogeológica de la Cuenca del Guadalquivir

(Abad *et al.*, 1983) ni en el mapa hidrogeológico de Villacarrillo (I.T.G.E., 1995), donde tan sólo se señala la existencia de un acuífero en el Mioceno superior. Este hecho nos ha animado a analizar datos geológicos de superficie, prospección geofísica y sondeos, con objeto de caracterizar los distintos niveles acuíferos de la región. Se ha prestado especial atención al estudio de la geometría en el subsuelo de las dolomías liásicas de la Cobertera Tabular de la Meseta y de su comportamiento hidrogeológico.

Contexto Geológico

En la región estudiada, se pueden diferenciar dos unidades: el Zócalo Paleozoico y la Cobertera Tabular de la Meseta. La primera está constituida básicamente

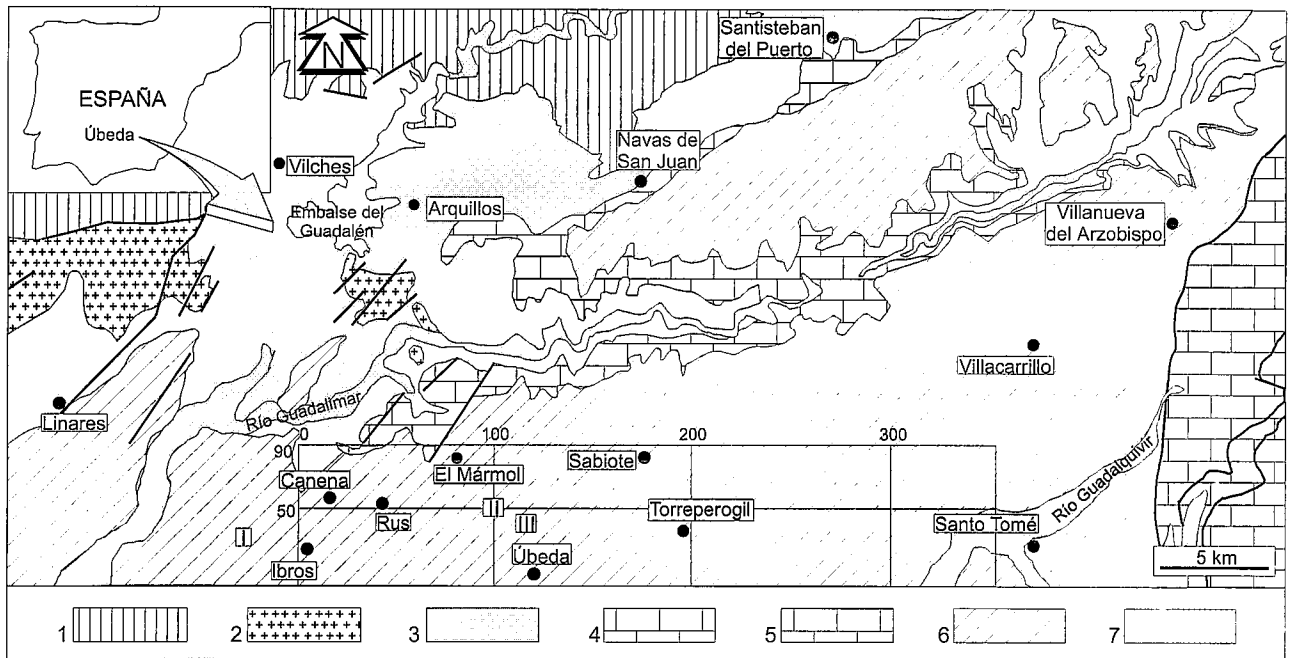


Figura 1.- Cartografía geológica del sector estudiado (basada en Fontboté, 1982; Virgili y Fontboté, 1987). En ella se indica la posición de las columnas estratigráficas obtenidas a partir de sondeos de la fig. 2 (I, II y III) y la rejilla que sirve de base de las fig.s 3 y 4. Leyenda: Paleozoico. 1.- Filitas; 2.- Granito. 3.- Trías Tabular de la Meseta. 4.- Dolomías tabulares (Jurásico inferior). 5.- Dolomías del Prebético (Jurásico inferior). 6.- Margas con niveles detríticos (Mioceno superior). 7.- Arcillas, margas y conglomerados (Plioceno-Cuaternario).

por filitas intensamente plegadas, intruidas por un batolito granítico (fig. 1).

Discordantemente sobre el zócalo aparece la covertera posthercínica, que se dispone de forma subhorizontal. La integran materiales triásicos, jurásicos y neógenos (fig. 1). Los materiales cuaternarios, escasamente representados, son generalmente de origen aluvial, y están constituidos por arenas, limos y conglomerados (fig. 1).

Paleozoico

Aflora al norte de la región estudiada (fig. 1). A partir de la información sísmica consultada (líneas sísmicas elaboradas por Chevron Oil Company) y de los datos que proporcionan los sondeos mecánicos, se deduce su existencia en el subsuelo de los sectores meridionales a profundidades que varían entre los 500 y 900 m. Se trata de una potente serie alternante de filitas grises y cuarcitas. Estos materiales, fuertemente plegados durante la orogenia Hercínica, constituyen el zócalo de la serie mesozoica.

El batolito granítico aparece en superficie al norte de Linares y al sureste del embalse del Guadalén (fig. 1). Intruye las filitas anteriormente comentadas, dando lugar a un metamorfismo de contacto. Se trata de masas irregulares de granito de color rosáceo o gris, de textura granuda y constituido básicamente por plagioclasa, ortosa, cuarzo y biotita.

Trías Tabular de la Meseta

El Trías Tabular de la Meseta (Fm. Chiclana de Segura, *sensu* López-Garrido, 1969), aflora extensamente al norte del río Guadalquivir (fig. 1). La base de

esta unidad fosiliza un paleorrelieve paleozoico (López-Garrido y Rodríguez-Estrella, 1970). Su posición es subhorizontal y presenta una potencia variable, que oscila entre los 50 y 300 m. En estos materiales son características sus coloraciones rojizas, por lo que también se les conoce como «Facies Detríticas Rojas» del borde de la Meseta.

La serie se inicia con un conjunto de 10-20 m de potencia de niveles conglomeráticos o areniscosos intercalados en arcillas (fig. 2). Los conglomerados contienen cantos de gran madurez textural y diámetros entre 2 y 5 cm. Sobre estos niveles basales se desarrolla un potente conjunto sedimentario, con espesores generalmente superiores a los 100 m, constituido fundamentalmente por lutitas de colores rojo-vinosos, en las que también aparecen finas intercalaciones de areniscas.

En la parte superior de la formación existen sedimentos arcillosos rojos, a veces margosos, en los que se intercalan niveles evaporíticos (fig. 2). También suelen observarse niveles de areniscas en capas tabulares o con base canalizada. Este conjunto de facies presenta espesores variables, entre 5 y 60 m, aumentando su potencia hacia el sur.

Jurásico Tabular

Aflora en el valle del río Guadalquivir y en las proximidades de las Navas de San Juan-Santisteban del Puerto (fig. 1). Aparece subhorizontal o con suaves buzamientos hacia el sur-sureste, directamente sobre los materiales triásicos, en aparente continuidad estratigráfica. Se trata de carbonatos fuertemente brechificados y dolomitizados, lo que origina una importante porosidad secundaria. En algunas ocasiones se

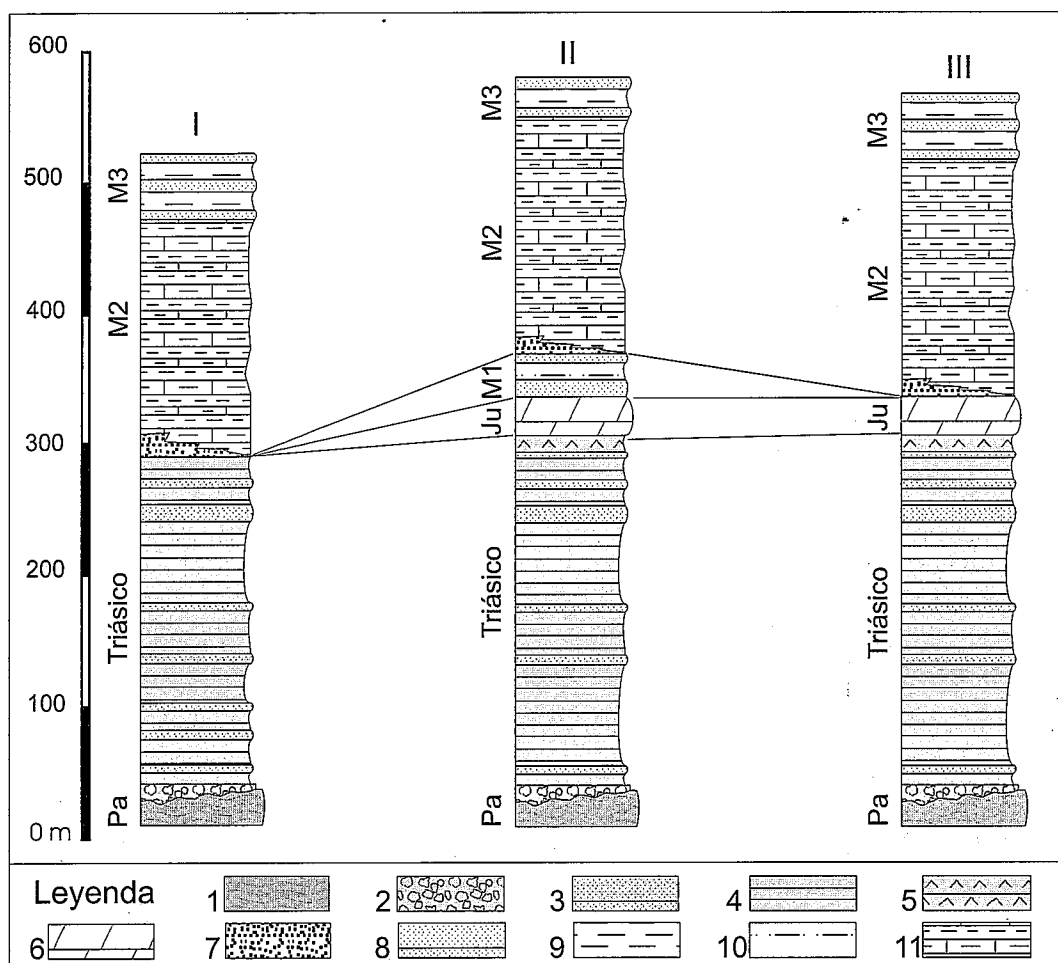


Figura 2.- Columnas estratigráficas elaboradas a partir de sondeos mecánicos y de información sísmica. Su localización aparece en la fig. 1. Pa= Paleozoico. Ju=Jurásico. M1, M2 y M3 representan distintas subdivisiones del Mioceno superior (véase texto). Leyenda: 1.- Filitas (Paleozoico). Triásico. 2.- Conglomerados; 3.- Areniscas; 4.- Arcillas; 5.- Arcillas y yesos. 6.- Dolomías jurásicas. Neógeno. 7.- Microconglomerados; 8.- Areniscas; 9.- Margas; 10.- Lutitas calcáreas arenosas; 11.- Margocalizas.

observan restos de laminación algal (estromatolitos planares) e intercalaciones calcareníficas. La potencia, muy variable, disminuye generalmente hacia el oeste: al norte de Villacarrillo el espesor supera los 70 m, al norte de Sabiote oscila entre 30-50 m; al norte de Rus no supera los 10 m, y desaparece totalmente al oeste de Canena (compárense las columnas I y II de la fig. 2). Sin embargo, esta tendencia no puede generalizarse ya que en las proximidades de Villanueva del Arzobispo (fig. 1), donde la potencia de la unidad debería ser considerable, no supera los 20 m.

Aunque no existen criterios bioestratigráficos, este conjunto litológico ha sido atribuido al Lías inferior en función de sus facies y de la posición estratigráfica (Azcarate y Argüelles, 1971; Vera y López-Garrido, 1971; Martínez y Núñez, 1974; Azcarate, 1977; Virgili y Fontboté, 1987).

Al sur de Úbeda, la Cobertera Tabular de la Meseta limita con la Depresión del Guadalquivir (*sensu* Azéma *et al.*, 1979), donde los materiales anteriormente comentados no afloran en continuidad estratigráfica, sino que aparecen como olistolitos inmersos en margas del Mioceno medio. A este conjunto se le conoce con el nombre de «Unidad Olistostrómica» (García-Rossell,

1972; Roldán *et al.*, 1992).

En el sector Villacarrillo-Villanueva del Arzobispo (Alto Guadalquivir) no se describen unidades de tipo olistostrómico para el Neógeno entre la Cobertera Tabular y la Zona Prebética (Martínez y Núñez, 1974), por lo que cabe la posibilidad de que, en profundidad, el Jurásico Tabular esté en contacto con el Jurásico Prebético (fig. 1).

Terciario

Se diferencian tres unidades estratigráficas para este intervalo de tiempo.

Tortonense inferior: tan sólo aflora en el sector noroeste de El Mármol, acuñándose lateralmente (M1 en la fig. 2). Se trata de arenas silíceas, poco o nada cementadas, que alternan con niveles margosos. A partir de la información de Azcarate *et al.* (1975), esta unidad fue cartografiada como cretácica en la hoja geológica 1:50.000 del M.A.G.N.A. (Azcarate, 1977). Sin embargo, esta atribución estratigráfica ha sido descartada en un reciente estudio (Rey *et al.*, 1995), en el que, a partir de las asociaciones de nannoplanton calcáreo y foraminíferos planctónicos, estos depósitos han sido datados como Tortonense inferior.

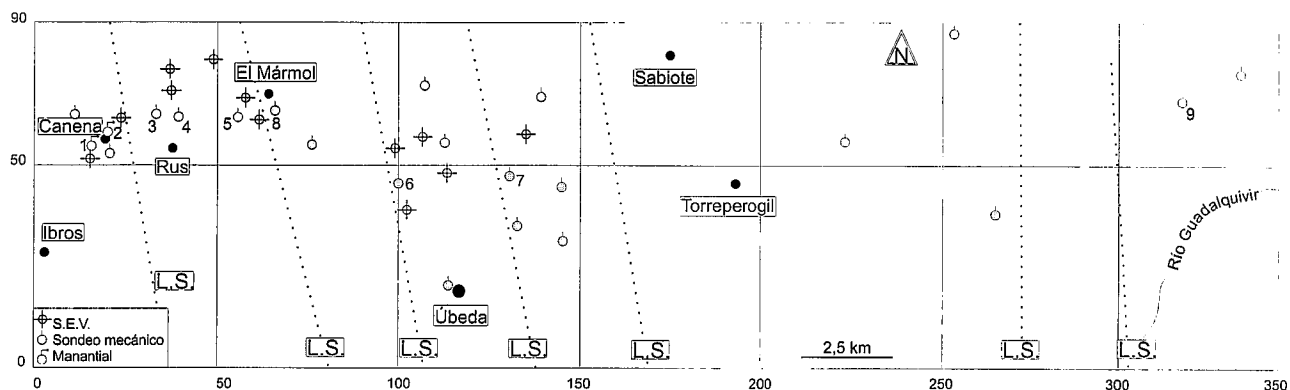


Figura. 3.- Situación de las distintas líneas sísmicas (L.S.), S.E.V., sondeos mecánicos y manantiales. Los números (1 a 9) permiten localizar la posición de las muestras tomadas (véase apartado de Caracterización Geoquímica).

Tortoniense superior: se trata de materiales acumulados durante episodios transgresivos en el Mioceno superior (Azcárate y Argüelles, 1971; Perconig, 1971; Azcárate, 1977), depositados con posterioridad a la fase paroxismal de la estructuración alpina. Por ello reposan discordantemente sobre los distintos términos de la serie infrayacente. Presentan espesores medios de 200 m, aunque en algunos casos alcanzan 500 m.

En la base aparece un nivel discontinuo de conglomerados calcáreos con fauna marina, con una potencia máxima que no suele superar los 10-15 m (fig. 2). El resto de la serie está constituida básicamente por margas grises y azules. A techo de estas facies existe un conjunto de niveles de limos, areniscas bioclásticas, y calcarenitas con intercalaciones de margas. Generalmente, el tamaño de grano es de arena fina a media, muy seleccionada, con cemento carbonatado.

Messiniense: aflora con una disposición subhorizontal. Se trata de una alternancia de niveles margosos, calizas margosas y niveles detríticos. La datación se realizó a partir de asociaciones de foraminíferos planctónicos (Azcárate y Argüelles, 1971; Perconig, 1971; Azcárate, 1977).

Geometría de las Dolomías Tabulares Liásicas

Para la reconstrucción de la geometría de las dolomías tabulares liásicas se ha recopilado la documentación de diversas campañas de prospección geofísica eléctrica cuyo objetivo fue la ubicación de sondeos para captación de aguas subterráneas en la región. Lógicamente, también se utilizará la información propia de los distintos sondeos mecánicos, cuya localización aparece en la fig. 3.

En los sondeos eléctricos verticales (S.E.V.) se empleó la metodología tetraelectródica de Schlumberger con dispositivo simétrico (García Yagüe, 1983). Los gráficos de resistividades aparentes se ajustaron por ábacos a las curvas teóricas (Orellana y Mooney, 1966).

Por otro lado, se han analizado las líneas sísmicas realizadas en distintas campañas por la com-

pañía petrolera Chevron Oil Company of Spain. En la fig. 3 aparece la ubicación de las mismas.

Esta información permite llegar a conocer las cotas y profundidades a las que se encuentra esta unidad, por lo que se puede deducir su geometría. En este sentido, en la fig. 4, se representa un mapa de contorno de estructuras de la superficie de techo de esta unidad acuífera. En la figura se observa cómo el Jurásico tabular de la Meseta aparece de forma continua en dirección norte-sur en la Loma de Úbeda. A partir de datos de superficie no se conoce con exactitud la localización del frente de cabalgamiento de las unidades de la Depresión del Guadalquivir sobre los materiales tabulares de la Meseta, dado que éste se encuentra actualmente fosilizado por materiales del Tortoniense superior. Sin embargo, gracias a los perfiles sísmicos, se advierte cómo este contacto aparece prácticamente en la vertical de Úbeda. En sectores meridionales, el nivel dolomítico presenta un fuerte buzamiento hacia el sur, perdiendo su continuidad estratigráfica, por lo que se considera el límite del acuífero. Este aspecto se representa gráficamente en la fig. 5, donde aparece un modelo idealizado de la estructura geológica regional.

Aunque regionalmente este nivel buza hacia el sur, está ligeramente plegado siguiendo directrices NE-SW, típicamente alpinas. A partir del estudio de las líneas sísmicas, se deduce la existencia de un sinclinal y un anticlinal (fig. 5). El flanco sureste del anticlinal queda bajo la influencia de las primeras escamas del frente de cabalgamiento de las unidades alóctonas de la Depresión del Guadalquivir. Por otro lado, se advierte una dirección de fracturación principal de dirección NE-SW, y otra menos acentuada NNW-SSE, que afectan tanto al zócalo como a las dolomías liásicas. Existen razones para considerar que se trata de fracturas paleozoicas reactivadas con posterioridad, en fases terminales de la orogenia alpina. El que las facies detríticas basales del Triásico fosilicen parcialmente los bloques hundidos y que estas direcciones coincidan con las direcciones de las mineralizaciones filonianas de la comarca de Linares (Azcárate y Argüelles, 1971; Ríos, 1977) son dos argumentos que hacen pensar que estas fallas esten relacionadas con movimientos

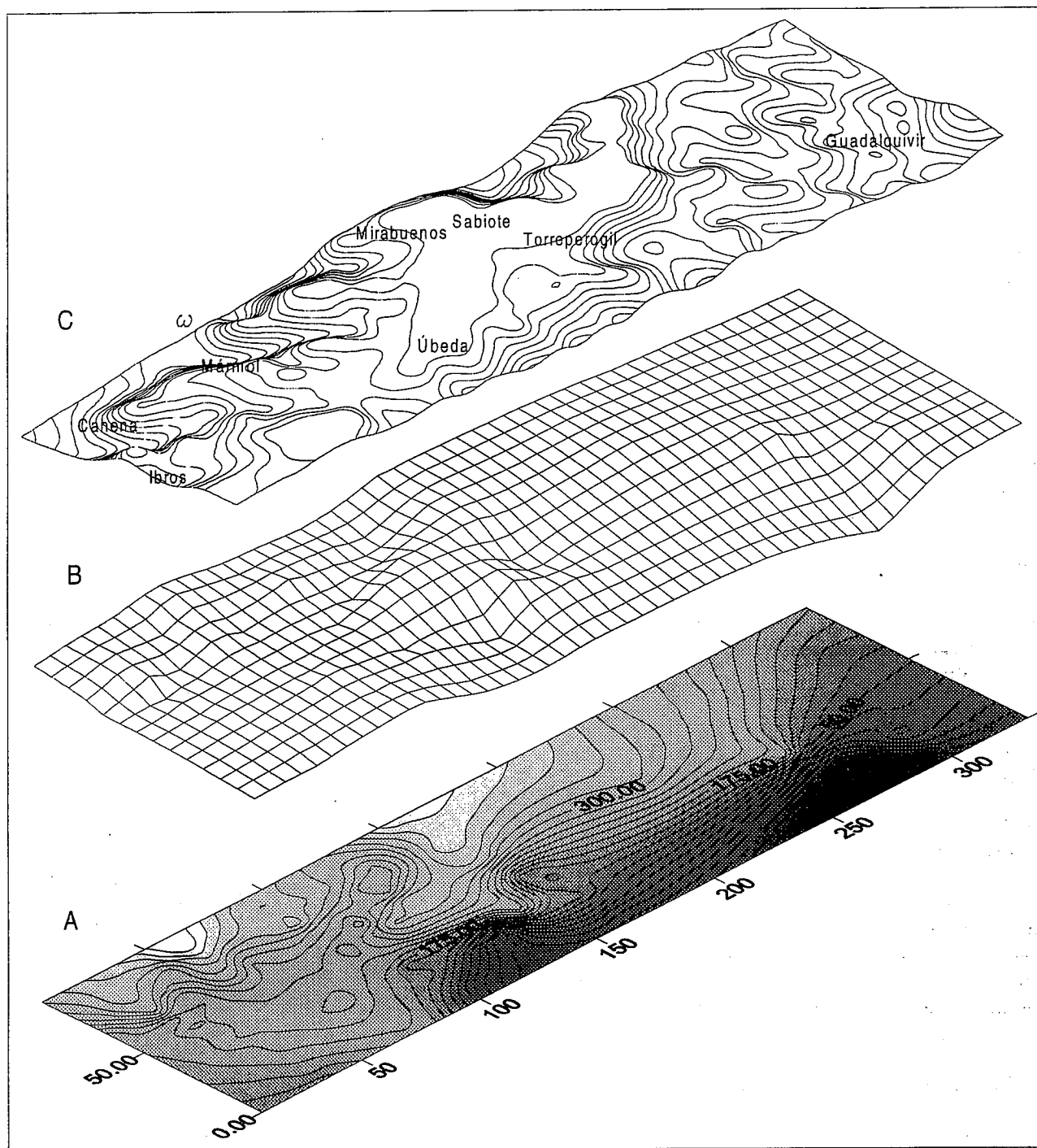


Figura. 4.- A.- Mapa de contorno de estructuras del techo de las dolomías jurásicas. B.- Morfología de la superficie anterior. C.- Superficie topográfica.

tardihercínicos. El que las fracturas afecten a las dolomías liásicas y sean fosilizadas por el Tortoniense inferior hace suponer que se reactivaron en fases terminales de la orogénia alpina.

En la cartografía geológica se aprecia cómo estos materiales jurásicos desaparecen hacia el oeste-noroeste. Así, en las proximidades de Linares, directamente sobre los materiales triásicos aparecen los depósitos miocenos. Este hecho se advierte en las distintas captaciones realizadas en las proximidades de Rus-Canena (fig. 3), donde el espesor disminuye progresi-

vamente hacia el oeste. En los sondeos al oeste de Ibrós (columna I, fig. 2), los materiales miocenos reposan directamente sobre los de edad triásica, no constatándose la presencia del nivel dolomítico, lo que marca el límite occidental del acuífero.

Comportamiento hidrogeológico de las Dolomías Tabulares Liásicas

Las dolomías liásicas presentan una potencia media en torno a 20 m y, según pone de manifiesto la

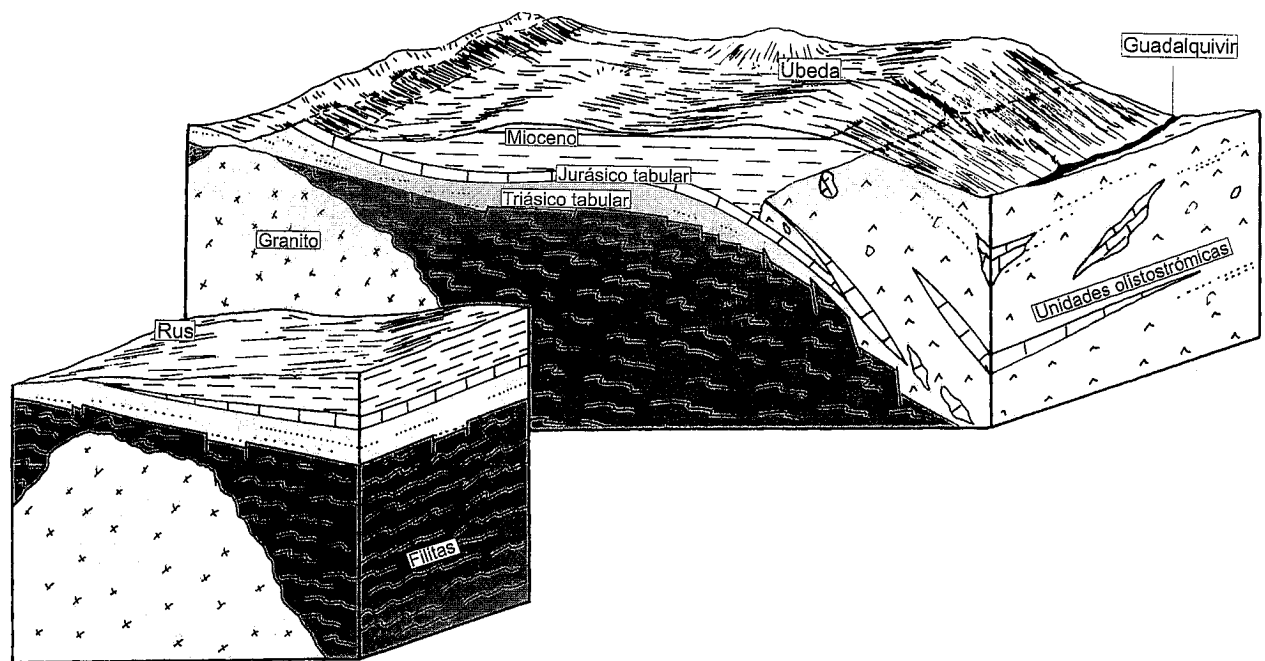


Figura 5.- Bloque-diagrama en el que se ilustra, de forma simplificada, la interpretación geológica regional (sin escalas). Se observa la morfología del nivel jurásico, su acuñamiento hacia el Nor-Noroeste, así como el contacto con las unidades olistostrómicas de la Depresión del Guadalquivir, en su límite meridional.

geometría presentada en este trabajo, una extensión próxima a 800 km², por lo que constituyen una unidad acuífera de considerable interés. Sin embargo, tal como se indicó en la introducción, esta unidad no se ha tenido en cuenta en ninguna síntesis hidrogeológica de esta región. Constituye un nivel continuo en la Cobertera Tabular de la Meseta que aparece en el subsuelo bajo los materiales del Mioceno, salvo al oeste de Canena-Ibros, donde se acuña y desaparece. Estos materiales carbonatados se disponen sobre arcillas triásicas que constituyen el sustrato impermeable. El río Guadalquivir permite diferenciar dos sectores:

- El sector septentrional, de unos 180 km², que funciona mayoritariamente como acuífero libre, aunque de forma local aparece cubierto por materiales margosos del Mioceno (fig. 1).

- El sector meridional, de unos 620 km², en el que la unidad acuífera queda rápidamente confinada bajo los materiales terciarios (fig. 1).

La explotación del sector confinado del acuífero se remonta a pocos años, dado que en el pasado los sondeos mecánicos existentes en la comarca no superaban los 100 m de profundidad, y captaban sólo los materiales terciarios. Actualmente, el acuífero dolomítico jurásico, mediante sondeos de profundidades entre 300-500 m, se explota con caudales de bombeo que oscilan entre 15 y 40 l/s. Las transmisividades, aunque también variables, son del orden de 300-500 m²/día.

La recarga se produce bien por infiltración directa de la precipitación, o bien por infiltración de las aguas superficiales que discurren por el cauce del río

Guadalquivir, en aquellas zonas donde afloran los materiales carbonatados (sector septentrional, fig. 1). También cabe considerar la existencia de una recarga lateral subterránea desde unidades prebéticas. Esta hipótesis está avalada por el hecho de que al este de Villacarrillo-Villanueva del Arzobispo desaparecen las unidades olistostrómicas de la Depresión del Guadalquivir, por lo que las dolomías jurásicas de la Cobertera Tabular se encuentran en contacto directo con los acuíferos prebéticos de la Sierra de Cazorla. En este caso, resulta muy difícil poder cuantificar las entradas totales al sistema. Igualmente difícil resulta la estimación de las salidas del mismo: no se constata la existencia de manantiales en los afloramientos del sector septentrional, por lo que las salidas conocidas del sistema corresponden únicamente a las extracciones por bombeo. Sin embargo, no se conoce el número total de sondeos que captan el acuífero y, menos aún, los caudales de explotación, ya que no existe un inventario de puntos de agua actualizado de la zona.

Las dos familias de fallas, descritas en el apartado de "Geometría de las Dolomías Tabulares Liásicas", condicionan una compartimentación de esta unidad acuífera, lo que se refleja en la existencia de cambios bruscos en el nivel piezométrico. En este sentido, hay que señalar que se han realizado medidas de la cota piezométrica en distintos sondeos mecánicos de la zona (fig. 6), en los que se aprecian variaciones bruscas en puntos relativamente cercanos. Pese a ello, los datos piezométricos indican un sentido general de flujo subterráneo NNW-SSE.

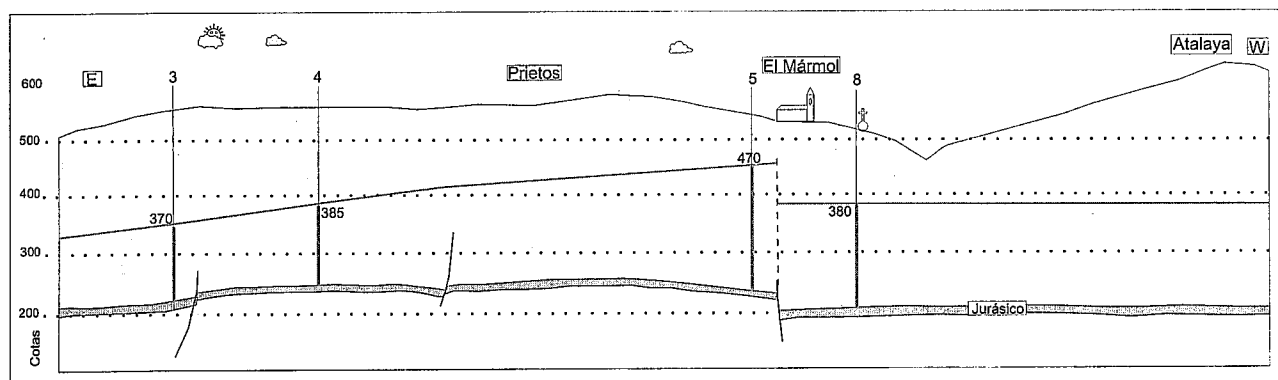


Figura 6.- Nivel Piezométrico del acuífero dolomítico en una sección E-W. Los números (3, 4, 5, 8) corresponden a los sondeos mecánicos utilizados para las medidas (ubicación en la fig. 3).

Comportamiento hidrogeológico de otras unidades

En este apartado se destacan, a partir de los datos litológicos y las potencias descritas con anterioridad, otras unidades que presentan interés desde el punto de vista hidrogeológico.

La parte superior de los materiales graníticos paleozoicos suele estar alterada en su contacto con la cobertera sedimentaria, por lo que presenta cierta porosidad secundaria y, por tanto, se comporta localmente como acuífero. Sin embargo, ofrece escaso interés regional al ser de escasa entidad y proporcionar caudales de explotación muy bajos (del orden de 0,5-1 l/s). Localmente, la fracturación, que afecta tanto al granito como a las filitas, origina una importante permeabilidad secundaria, lo que permite el desarrollo de zonas de circulación preferente del agua subterránea. Así, en regiones adyacentes, existen sondeos que captan estas zonas de fracturas en torno a 20-70 m de profundidad y extraen caudales superiores a los 50 l/s (Redondo y Rey, 1997).

El comportamiento hidrogeológico de los materiales del Trías es variable. Los niveles de areniscas y conglomerados de la base del Trías constituyen un acuífero multicapa. En este sentido, los sondeos que captan este acuífero en los sectores próximos al río Guadalimar llegan a proporcionar caudales de hasta 20 l/s. Sin embargo, las arcillas y yesos de la parte superior pueden funcionar como acucludos o acuitardos, en los que las elevadas proporciones en sales influyen muy negativamente en la calidad del agua.

Existen algunos materiales terciarios que, en principio, funcionan como acuíferos. En primer lugar, cabe destacar las arenas del Tortoniano inferior. Estos materiales, de poca extensión lateral, constituyen acuíferos de porosidad intergranular, con caudales de explotación que oscilan entre 10-40 l/s. Sin embargo, dada su geometría irregular, tienen una escasa continuidad lateral. En segundo lugar, cabe considerar las areniscas del Tortoniano superior-Messiniense. Esta unidad presenta una representación lateral muy irregular, con potencias que varían entre 10 y 35 m. Constituye un acuífero multicapa, con intercalaciones de niveles margosos, que tiene como base las facies más margosas

del Tortoniano superior. Se han calculado unas transmisividades medias de 86 m²/día (Abad *et al.*, 1983). Estos niveles han sido utilizados clásicamente en la comarca, no sólo en la agricultura, sino también para el abastecimiento parcial de la población de Úbeda. Sin embargo, dada la prolongada sequía de los pasados años y el uso excesivo que de ellos se ha hecho, en la actualidad no ofrecen recursos importantes. Los aforos realizados en distintos sondeos que captan esta unidad indican la obtención de caudales entre 0,3-2 l/s.

Caracterización geoquímica de las aguas subterráneas

La caracterización geoquímica de las aguas subterráneas se ha llevado a cabo a partir del análisis físico-químico de 9 muestras de agua, seleccionadas por su representatividad de las diferentes unidades acuíferas existentes en el área estudiada.

En la Tabla I se resumen las principales características físico-químicas de las aguas analizadas, cuya localización se muestra en la fig. 3. Las muestras 1 y 2 proceden de dos surgencias que drenan las unidades acuíferas detríticas del Tortoniano superior y del Messiniense, respectivamente. Las restantes muestras se han obtenido en sondeos que captan a diferentes profundidades el acuífero asociado a los materiales carbonatados del Lías.

Acuífero detrítico terciario

Los contenidos salinos más bajos, del orden de 0,7 g/l, aparecen asociados a los materiales terciarios, en los que las aguas presentan valores de conductividad en torno a 900 μ S/cm y temperaturas entre 18-20° C. Estas surgencias se caracterizan por una facies hidroquímica bicarbonatada magnésico-cálcica a bicarbonatada mixta (magnésico-sódico-cálcica), como puede observarse en el diagrama de Piper-Hill-Langelier de la fig. 7. Cabe destacar, además, el alto contenido en nitratos detectado en estas aguas (20-48 mg/l), indicativo de una contaminación de origen antrópico, ligada al importante desarrollo agrícola de la zona.

Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Naturaleza	Manantial	Manantial	Sondeo	Sondeo	Sondeo	Sondeo	Sondeo	Sondeo	Sondeo
Unidad acuífera	Areniscas Tortoniense	Areniscas Messiniense	Dolomías liásicas	Dolomías liásicas	Dolomías liásicas	Dolomías liásicas	Dolomías liásicas	Dolomías liásicas	Dolomías liásicas
Prof. (m)	---	---	180	250	250	380	400	320	350
Caudal	1-2 l/s	6 l/min	18 l/s	20 l/s	25 l/s	22 l/s	25 l/s	30 l/s	30 l/s
Tª (°C)	20.5	18.0	25.9	27.3	27.0	27.5	40.5	28.0	33.4
Cond. (µS/cm)	911	895	904	905	1214	1110	1083	1930	3250
pH	7.7	8.0	8.2	7.9	7.8	7.7	7.3	8.0	7.7
Na ⁺ (mg/l)	60	29	26	30	58	175	153	106	383
K ⁺ (mg/l)	11	7	5	5	8	15	10	25	17
Ca ²⁺ (mg/l)	68	62	87	85	115	48	75	116	58
Mg ²⁺ (mg/l)	42	63	49	49	72	42	37	99	46
Cl ⁻ (mg/l)	14	6	16	22	34	70	125	114	520
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	97	87	195	199	430	100	260	560	1
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	425	432	308	306	341	622	348	394	437
NO ₃ ⁻ (mg/l)	34	48	25	22	6	---	---	No detectado	9

Tabla I.- Principales características físico-químicas de las aguas.

Acuífero carbonatado (Dolomías del Lías)

El acuífero carbonatado liásico (muestras 3 a 9, Tabla I) es destacable por la amplia variedad de facies hidroquímicas. Las aguas menos mineralizadas se obtienen en las proximidades de Rus y Canena (fig. 3), con temperaturas de 26-27°C, facies bicarbonatada-sulfatada magnésico-cálcica y con valores de T.S.D. inferiores a 0,8 g/l (Tabla I, muestras 3 y 4). Este quimismo es propio de una circulación en el seno de las dolomías, sumado a la existencia, localmente, de yeso en el medio. Sin embargo, al aumentar la profundidad a la que se capta esta unidad acuífera del Lías, se constata un considerable incremento del contenido salino de las aguas, en las que se registran hasta 1,6 g/l de T.S.D. Los valores de conductividad asociados se distribuyen entre 1000 y 4000 µS/cm, al tiempo que las facies hidroquímicas varían desde sulfatada magnésico-cálcica a sulfatada-bicarbonatada sódica, bicarbonatada sódica y clorurada sódica (fig. 7).

Por lo que respecta a los iones mayoritarios, sulfatos y cloruros pueden alcanzar concentraciones elevadas (entre 400-750 mg/l y 200-450 mg/l, respectivamente). Además, los contenidos más importantes en sodio se asocian al incremento en ión cloruro, por lo que tales hidrofacies deben aparecer condicionadas, en buena medida, por la disolución de materiales evaporíticos presentes en los materiales triásicos que configuran el sustrato.

Las aguas con mayor conductividad registran también las temperaturas más elevadas (hasta 33°C, Tabla I) y se caracterizan por presentar con frecuencia olor a sulfhídrico. Esta última circunstancia, asociada en algunos casos a una importante disminución en el contenido de sulfatos y/o nitratos, hace considerar la existencia de procesos bacterianos de reducción que afectan al quimismo de estas aguas.

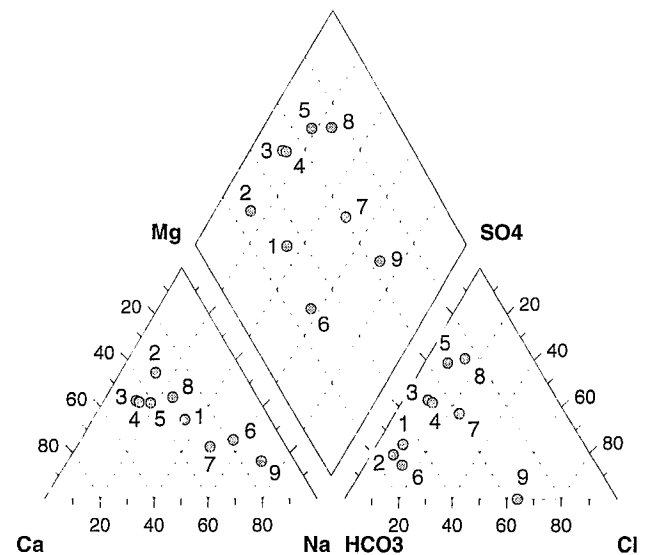
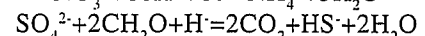
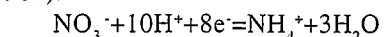


Figura 7.- Diagrama de Piper-Hill-Langelier en el que se representan las diferentes facies hidroquímicas existentes en el área estudiada. La localización geográfica de las distintas muestras está indicada en la figura. 3.

La principal condición necesaria para que tenga lugar este tipo de procesos es la presencia de materia orgánica que, al degradarse, consume oxígeno -obtenido de los nitratos y/o sulfatos- y genera las condiciones reductoras, aportando amonio, CO₂ y sulfhídrico al medio. Estos procesos tienen lugar según las reacciones (Drever, 1982):



El predominio de una reacción u otra depende fundamentalmente de la reactividad de la materia orgánica y del tipo de bacterias presentes en el medio (Chapelle y McMahon, 1991).

Conclusiones

Las dolomías liásicas de la Cobertera Tabular de la Meseta constituyen una importante unidad hidrogeológica localizada al norte de Úbeda, con una superficie total próxima a los 800 km². Esta unidad acuífera carbonatada aflora en su sector septentrional, donde se comporta como un acuífero libre. Hacia el sur, aparece confinada por margas terciarias, al tiempo que queda limitada por cabalgamientos prebéticos al este, por las Unidades Olistostrómicas de la Depresión del Guadalquivir al sur, y hacia el oeste desaparece por acuñamientos. Aunque con carácter regional presenta suaves buzamientos hacia el sur-sureste, en detalle se deduce la existencia de pliegues de dirección noreste-suroeste, afectados por fallas noreste-suroeste y noroeste-sureste. Estos sistemas de fracturas compartimentan el acuífero, lo que puede hacer variar localmente el sentido general de flujo NNW-SSE. En las captaciones realizadas, donde se estiman unos valores de transmisividad del orden de 300-400 m²/día, los caudales de explotación oscilan entre 15 y 40 l/s.

La caracterización geoquímica de las aguas indica la existencia de procesos de reducción que pueden jugar un papel significativo sobre el quimismo de los recursos hídricos procedentes de los sectores confinados profundos.

Los autores agradecen al Dr. R. Aguado la ayuda prestada. Las sugerencias del Dr. Coloma y de un revisor anónimo han contribuido a que el texto mejore con respecto al manuscrito inicial. Este trabajo ha sido financiado por el Proyecto PB-1150-93/C02 de la DGICYT y por la Junta de Andalucía, en el seno de los Grupos de Investigación n° 4021 y n° 4089.

Bibliografía

- Abad, J., Porras, J., López-Geta, J., Martín, M. Ruiz, C. y del Valle, M. (1983): *Síntesis hidrogeológica de la Cuenca del Guadalquivir*. I.G.M.E., Ministerio de Industria, Madrid, 126 p.
- Azcárate, J.E. (1977): *Mapa geológico y memoria explicativa de la hoja 906 (Úbeda) escala 1:50.000*, I.G.M.E., Ministerio de Industria, Madrid, 27 p.
- Azcárate, J.E. y Argüelles, A. (1971): Evolución tectónica y estructuras filonianas en el distrito de Linares. *Congr. Hispano-Luso-Americano de Geología Económica*, Madrid. Tomo I, Sección 4: 17-32.
- Azcárate, J.E., Esnaola, J.M., Espejo, J.A. y Moreno, E. (1975): Presencia de formaciones cretácicas bajo el terciario marino de Úbeda. *Jorns. Min.-Met., V, Nac. III. Int. Bilbao* (inédito).
- Azéma, J., Foucault, A., Fourcade, E., García-Hernández, M., González-Donoso, J.M., Linares, A., Linares, D., López-Garrido, A.C., Rivas, P. y Vera, J.A. (1979): *Las microfácies del Jurásico y Cretácico de las Zonas Externas de las Cordilleras Béticas*. Secret. Publ. Univ. Granada, 83 p.
- Chapelle, F.H. y McMahon, P.B. (1991). Geochemistry of dissolved inorganic carbon in a Coastal Plain aquifer. 1. Sulfate from confining beds as an oxidant in microbial CO₂ production. *J. Hydrol.*, 127: 85-108.
- Drever, J.I. (1982): *The geochemistry of natural waters*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J., 388 p.
- Fontboté, J.M. (1982): *Mapa geológico y memoria explicativa de la hoja 70 (Linares), escala 1:200.000*, I.G.M.E., Ministerio de Industria, Madrid, 29 p.
- García-Rossell, L. (1972): *Estudio geológico de la transversal de Úbeda-Huelma y sectores adyacentes*. Tesis doctoral, Universidad de Granada, 549 p. (inédita).
- García Yagüe, A. (1983): Prospección geofísica aplicada a la hidrogeología. En: *Hidrología Subterránea* (E. Custodio y R. Llamas, Eds). Ed. Omega, Barcelona, 1.393-1.431.
- I.T.G.E. (1995): *Mapa hidrogeológico y memoria explicativa de la hoja 71 (Villacarrillo), a escala 1:200.000*, Ministerio de Industria, Madrid, 61 p.
- López-Garrido, A.C. (1969): Primeros datos sobre la estratigrafía de la región Chiclana de Segura-Río Madera (Zona Prebética. Provincia de Jaén). *Acta Geol. Hispánica*, 4: 84-90.
- López-Garrido, A.C. y Rodríguez-Estrella, T. (1970): Características sedimentarias de la «Formación de Chiclana de Segura». *Cuad. Geol.*, 1: 17-21.
- Martínez, W. y Núñez, A. (1974): *Mapa geológico y memoria explicativa de la hoja 907 (Villacarrillo), escala 1:50.000*, I.G.M.E., Ministerio de Industria, Madrid, 28 p.
- Orellana, E. y Mooney, H.M. (1966): *Master tables and curves for vertical electrical sounding over layered structures*. Interciencia, Madrid, Spain.
- Perconing, E. (1971): Sobre la edad de la Transgresión del Terciario marino en el borde meridional de la Meseta. *Congr. Hispano-Luso-Americano de Geol. Económica*, Madrid. Sección 1: 309-319.
- Redondo, L. y Rey, J. (1997): Acuíferos en granitos fracturados: un ejemplo al suroeste de Bailén (Provincia de Jaén). *Bol. Geol. Min.*, 108: 31-37.
- Rey, J., Redondo, L. y Aguado, R. (1995): Relleno, durante el Tortonense inferior, de paleocubetas en las proximidades de Úbeda (provincia de Jaén). *Bol. Geol. Min.*, 106: 215-218.
- Ríos, S. (1977): Aspectos geológicos del metalotecto plumbífero de La Carolina-Santa Elena, en Sierra Morena Oriental (Jaén, España). *Bol. Geol. Min.*, 88: 99-108.
- Roldán, F.J., Lupiani, E., Villalobos, M. y Jerez, L. (1992): *Mapa geológico y memoria explicativa de la hoja 927 (Baeza), escala 1:50.000*, I.T.G.E., Ministerio de Industria, Madrid, 44 p.
- Vera, J.A. y López-Garrido, A.C. (1971): Sobre las facies detríticas rojas (red beds) del borde sureste de la Meseta. *Cuad. Geol.*, 2: 147-155.
- Virgili, C. y Fontboté, J.M. (1987): *Mapa geológico y memoria explicativa de la hoja 71 (Villacarrillo), escala 1:200.000*, I.G.M.E., Ministerio de Industria, Madrid, 27 p.

Manuscrito recibido el 27 de Octubre de 1997

Aceptado el manuscrito revisado el 20 de Julio de 1998