

# Características hidrogeológicas de las Sierras Blanca y Mijas (Provincia de Málaga, Cordillera Bética)

*Hydrogeological characteristics of Sierras Blanca and Mijas Sierras (Malaga, Betic Cordillera)*

B. Andreo, F. Carrasco, I. Vadillo y C. Liñán

Dpto. Geología, Facultad de Ciencias, Universidad de Málaga, 29071 Málaga.

## ABSTRACT

*In this work, some recent results about the geological hydrodynamic and hydrochemical characteristics of the Sierras Blanca and Mijas are briefly discussed. In the studied area, three sectors constituted by various aquifer systems, with different hydrogeological behavior (karstic and fissured), have been defined after analyzing the hydrodynamic and hydrochemical responses.*

**Key words:** *alpujarride marbres, hydrodynamic, hydrochemistry, karstic aquifers, fissured aquifers.*

*Geogaceta*, 20 (6) (1996), 1267-1270

ISSN:0213683X

## Introducción

Las Sierras Blanca y Mijas forman parte de la cadena montañosa que limita al Norte la Costa del Sol occidental, concretamente, están situadas entre las ciudades de Málaga y Marbella (Fig. 1). Se trata de dos abruptos relieves carbonatados, separados por el Puerto de Los Pescadores, en los que se alcanzan alturas superiores a 1000 m, a menos de 5 km de distancia media al mar.

La precipitación media durante un periodo histórico (1963/64-1993/94) ha sido de 684 mm, aunque existe una importante variación espacial desde el sector occidental de Sierra Blanca (813 mm), hasta Sierra Mijas (607 mm). La mineralización y, en general, el contenido de los componentes químicos mayoritarios del agua de lluvia, aumentan de Oeste a Este.

La extensión de las Sierras Blanca y Mijas, casi 200 km<sup>2</sup>, y su situación geográfica en un área de elevada demanda de agua, como la Costa del Sol, han despertado siempre un gran interés y han propiciado la realización de investigaciones hidrogeológicas desde muy antiguo (Dupuy de Lôme, 1923; IGME, 1983 y 1985; SGOP, 1992). En el marco de los planes de emergencia contra la última sequía, llevados a cabo por la Dirección General de Obras Hidráulicas, se han realizado actuaciones en las Sierras Blanca y Mijas, encaminadas a proporcionar aguas subterráneas para abastecimiento a la Costa del Sol occidental.

En este trabajo se pretende describir las principales características geológicas e hidrogeológicas (hidrodinámicas e hidroquímicas) de las Sierras Blanca y Mijas; a partir de ellas se presenta una diferenciación en sistemas acuíferos, así como los aspectos más relevantes del comportamiento hidrogeológico de los mismos. Se trata, en definitiva, de un breve resumen de la Tesis Doctoral de uno de los firmantes (Andreo, 1996), que ha sido realizada en el Departamento de Geología de la Universidad de Málaga.

## Geología

Las Sierras Blanca y Mijas constituyen la Unidad de Blanca (Mollat, 1968), perteneciente al Complejo Alpujarride, dentro de las Zonas Internas de la Cordillera Bética. Los aspectos relativos a la geología de estas Sierras se abordan de forma más detallada en algunos trabajos previos (Tubía, 1985; Andreo, 1996; Sanz de Galdeano y Andreo, en prensa).

La serie estratigráfica de la Unidad de Blanca está formada por dos conjuntos litológicos fundamentales (Fig. 1): uno inferior metamórfico y otro superior carbonatado.

El conjunto inferior tiene una potencia del orden de 400 m, aflora principalmente en la vertiente meridional de las dos Sierras y está constituido por migmatitas, gneises y esquistos, que se atribuyen al Paleozoico, por criterios de geología regional.

El conjunto superior presenta, a su vez, dos tramos claramente diferenciables. El tramo inferior está formado por mármoles blancos diaclasados, a menudo con aspecto sacaroideo, y de composición dolomítica; tiene una potencia aproximada de 300 m y su edad es Triás medio. El tramo superior está constituido por mármoles azules, de composición caliza, cuya potencia es

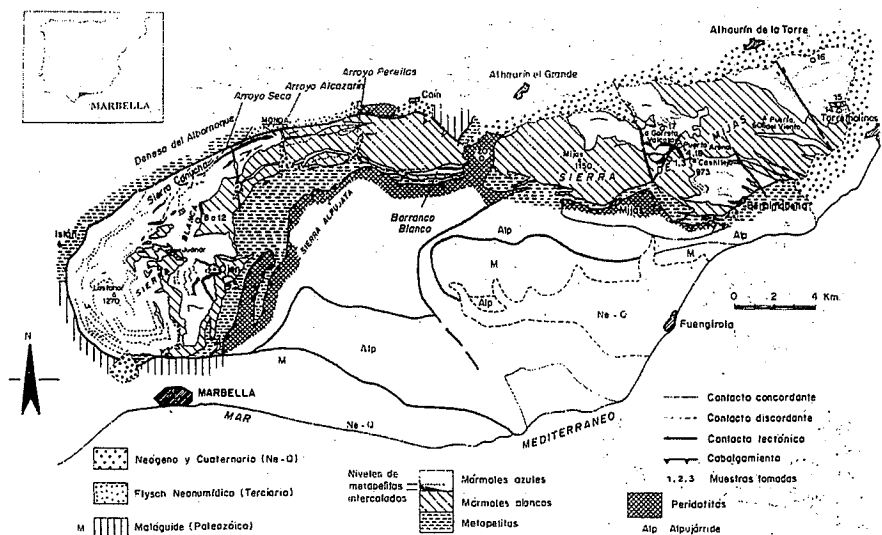


Fig. 1.- Localización geográfica del área de estudio. Mapa geológico de las Sierras Blanca y Mijas (tomado de Sanz de Galdeano y Andreo, en prensa).

Fig. 1.- Geographical situation of the studied area. Geological map of Sierras Blanca and Mijas (after Sanz de Galdeano and Andreo, in press).

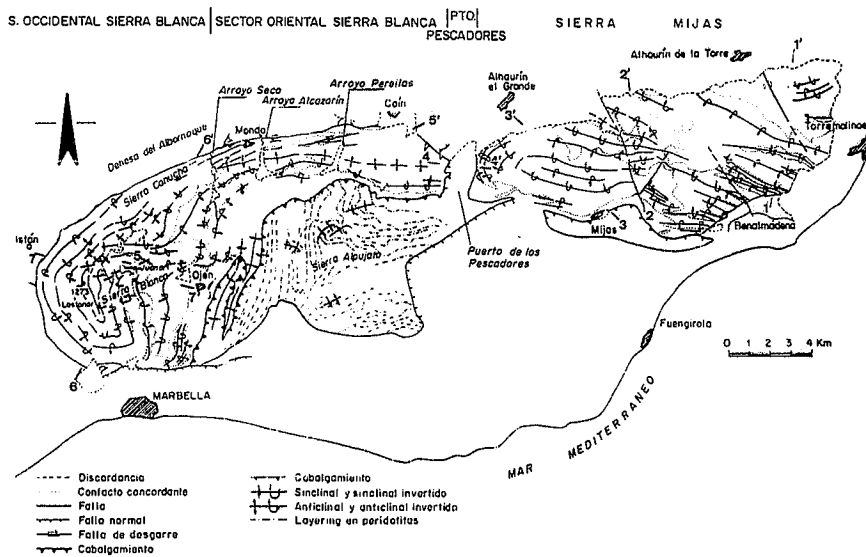


Fig. 2.- Mapa tectónico de las Sierras Blanca y Mijas. Los números indican la posición de los cortes hidrogeológicos de la figura 3.

Fig. 2.- Tectonic map of Sierras Blanca and Mijas. Numbers are indicating the position of the hydrogeological cross sections of figure 3.

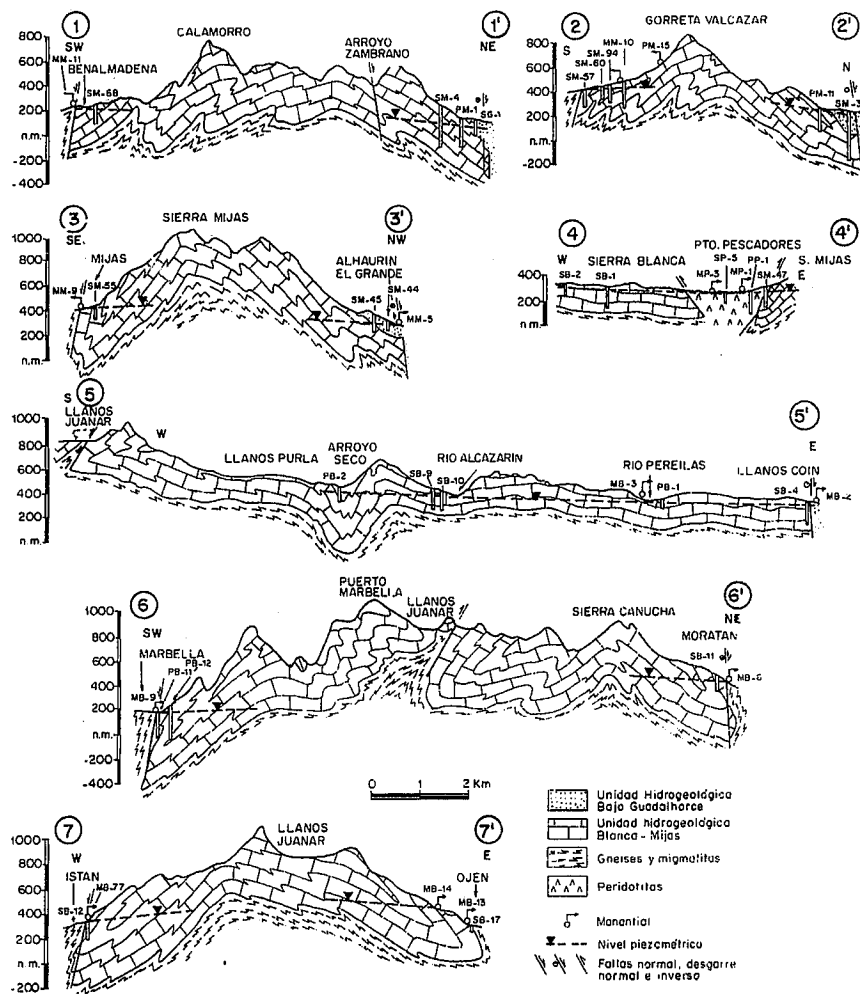


Fig. 3.- Cortes hidrogeológicos de las Sierras Blanca y Mijas.

Fig. 3.- Hydrogeological cross-sections of Sierras Blanca and Mijas.

de 300 m y la edad Triás superior.

La estructura geológica permite diferenciar tres sectores en la Unidad de Blanca (Fig. 2): sector occidental de Sierra Blanca, sector oriental de dicha Sierra y sector de Sierra Mijas.

En el sector occidental de Sierra Blanca, la estructura geológica está determinada por la interferencia de pliegues con direcciones N-S y E-W, que dan lugar a una estructura en caja de huevos; esto es, un sistema de cubetas, ocupadas por los mármoles azules, y de domos, en cuyo núcleo afloran los mármoles blancos e incluso las metapelitas de la base de la serie.

El sector oriental de Sierra Blanca presenta una estructura prácticamente tabular, constituida por los mármoles blancos, aunque hay un sinclinal vergente al Norte en la parte meridional.

En Sierra Mijas, la estructura está formada por pliegues de dirección ENE-WNW, curvos en la terminación occidental y siempre vergentes hacia el interior de la Sierra.

Las Sierras Blanca y Mijas están separadas, tanto en superficie como en profundidad, por un afloramiento de peridotitas existente en el Puerto de Los Pescadores, que no es más que la prolongación del macizo de Sierra Alpujata, perteneciente a la Unidad de Los Reales (Tubía, 1985), tectónicamente superpuesta a la de Blanca.

Todas las estructuras plegadas han sido afectadas por fracturas, como las cartografiadas en el interior de la Unidad y en los bordes de la misma. Se ha realizado un estudio de la fracturación que ha permitido constatar la existencia de dos orientaciones preferenciales: NNE-SSW y NNW-SSE.

En cuanto a las formas kársticas, cabe señalar que son escasas. Las formas exokársticas más abundantes son el lapiaz y los llanos, éstos últimos constituyen áreas topográficamente deprimidas, formadas por mármoles blancos que afloran a favor de estructuras tabulares. Las formas endokársticas (cavidades) también están poco representadas, la mayoría de ellas se reconocen en los mármoles azules calizos del sector occidental de Sierra Blanca y están condicionadas por fracturas de dirección NNW-SSE.

**Características hidrogeológicas generales de las Sierras Blanca y Mijas**

Límites y geometría: Los mármoles triásicos que afloran en las Sierras Blanca y Mijas tienen una potencia total del orden de 600 m y ocupan una superficie de 170 km<sup>2</sup>. Dichos materiales están muy fracturados y, en algunos sectores, también karstificados, lo que permite la circulación y acumulación de agua subterránea, constituyendo así la Unidad Hidrogeológica Blanca-Mijas. Esta Unidad está limitada por fallas, al Norte, Este, Oeste y en algunos tramos del límite Sur, el cual es básicamente un contacto estratigráfico entre los mármoles y las metapelitas del substrato, que reposan en serie invertida sobre los mármoles (Fig. 1).

La geometría de la Unidad Blanca-Mijas está condicionada por la estructura geológica (Figs. 2 y 3). Así, la interferencia de pliegues N-S y E-W, en el sector occidental de Sierra Blanca, determina su compartimentación en varios sistemas acuíferos que se drenan por los manantiales de los bordes. Las estructuras geológicas que más trascendencia hidrogeológica tienen son (Fig. 4): la alineación anticlinal de Sierra Canucha y los plie-

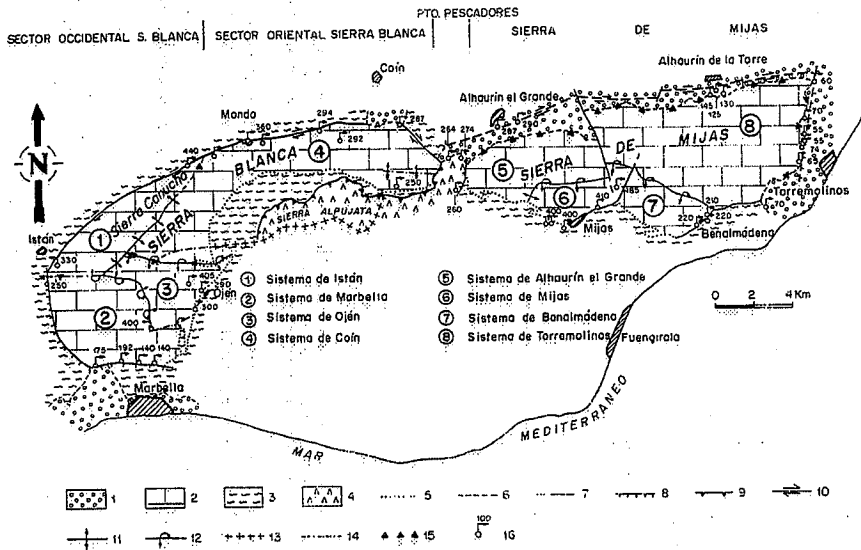


Fig. 4.- Sistemas acuíferos de la Unidad Hidrogeológica Blanca-Mijas. Leyenda: 1=sedimentos pliocuaternarios, 2=mármoles, 3=metapelitas, 4=peridotitas, 5=contacto concordante, 6=contacto discordante, 7=contacto tectónico, 8=falla normal, 9=falla inversa, 10=falla de desgarre, 11=anticlinal, 12=anticlinal tumbado, 13=divisoria hidrográfica, 14=divisoria hidrogeológica, 15=posible transferencia de recursos, 16=manantial y cota de surgencia.

Fig. 4.- Aquifer systems of the Hydrogeological Unit Blanca-Mijas. Legend: 1=pliocuaternary sediments, 2= marbles, 3= metapelites, 4=peridotites, 5=conformity, 6=unconformity, 7=fault, 8=normal fault, 9=thrust, 10=strike-slip fault, 11=anticline, 12=reversed anticline, 13=limit of drainage basin, 14=limit of groundwater basin, 15=possible transference of resources, 16=spring and altitude of surgence.

gues anticlinales, con dirección E-W, que pasan por la parte central. Las estructuras sinclinales vergentes hacia el interior de la Sierra dan lugar a geometrías en fondo de saco (Fig. 3).

El sector oriental de Sierra Blanca presenta una geometría casi tabular, aunque puede existir una divisoria hidrogeológica en la parte Este del sector, en relación con un núcleo anticlinal.

En Sierra Mijas, también hay geometrías en fondo de saco, debido a la existencia, en sus bordes, de sinclinales tumbados vergentes hacia el interior del macizo (Fig. 3). Los núcleos anticlinales ocupados por metapelitas originan divisorias hidrogeológicas que, junto con las fracturas NNE-SSW y NNW-SSE han dado lugar a la compartimentación de la Sierra en sistemas acuíferos. Las estructuras que más importancia hidrogeológica deben tener son el anticlinal de Sierra Mijas y las fallas situadas al Este de Mijas (Fig. 4).

**Hidrodinámica:** La descarga de la Unidad Hidrogeológica Blanca-Mijas se produce, de modo natural, a través de los manantiales y, a través de bombeos, en los numerosos sondeos que existen, sobre todo en Sierra Mijas. Las cotas de surgencia de los manantiales y las cotas piezométricas en los sondeos son diferentes según el sector considerado, como ya se ha puesto de manifiesto en trabajos anteriores (Dupuy de Lôme, 1923; Linares y Trenado, 1981; IGME, 1983 y 1985; Andreo, 1996).

En el sector occidental de Sierra Blanca la cotas de surgencia varían según el borde (Fig. 4): 330-440 m.s.n.m. en el septentrional, 175-192 m.s.n.m. en el meridional y 290-405 m.s.n.m. en el oriental. En el sector oriental de Sierra Blanca las cotas varían entre 250 y 360 m.s.n.m. Y, en

Sierra Mijas, los manantiales también están a cotas diferentes según el área de que se trate: 287-290 m.s.n.m. en Alhaurín el Grande, 400-485 m.s.n.m. en Mijas, 210-220 m.s.n.m. en Benalmádena, 125-145 m.s.n.m. en Alhaurín de la Torre y 55-74 m.s.n.m. en Torremolinos.

A la vista de estos datos, es evidente que existe una compartimentación de la Unidad Blanca-Mijas, tanto desde el punto de vista geológico como hidrogeológico.

**Hidroquímica:** A partir de los datos hidroquímicos de un muestreo realizado en 25 puntos representativos de la Unidad, mediante la aplicación de métodos de análisis multivariante, se pueden distinguir tres familias o grupos fundamentales de aguas, correspondientes a cada uno de los sectores diferenciados en la Unidad.

Las aguas del sector occidental de Sierra Blanca son de facies bicarbonatada cálcica, presentan los contenidos más elevados en Sr, pero son las menos mineralizadas de la Unidad y no presentan radiactividad natural medible, porque drenan principalmente mármoles azules calizos, en los cuales existe un cierto grado de karstificación funcional y las aguas están poco tiempo en contacto con los materiales acuíferos.

En el sector oriental de Sierra Blanca, las aguas son de facies bicarbonatada magnésica y magnésico-cálcica, presentan contenidos más elevados en SiO<sub>2</sub>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> y Mg<sup>2+</sup>, componentes éstos tradicionalmente asociados a flujos lentos. Son más mineralizadas que las del sector occidental y presentan radiactividad natural medible, porque drenan mármoles blancos dolomíticos, en los cuales existe un bajo grado de karstificación funcional y, por tanto, un mayor tiempo de permanencia del agua en contacto con los már-

moles acuíferos.

Las aguas de Sierra Mijas, hidroquímicamente, son parecidas a las del sector oriental de Sierra Blanca, pero con la particularidad de que los contenidos en Cl<sup>-</sup> y Na<sup>+</sup> son más elevados, porque el agua de lluvia que cae sobre Sierra Mijas presenta concentraciones más elevadas en dichos componentes.

**Sistemas acuíferos de la Unidad Hidrogeológica Blanca-Mijas**

A partir de la estructura geológica antes descrita y teniendo en cuenta la cota de surgencia de los manantiales, así como la distribución espacial del quimismo de las aguas, es posible distinguir ocho sistemas acuíferos en la Unidad Blanca-Mijas (Fig. 4): tres en el sector occidental de Sierra Blanca (Istán, Marbella y Ojén), uno en el sector oriental de dicha Sierra (Coin) y cuatro en Sierra Mijas (Alhaurín el Grande, Mijas, Benalmádena y Torremolinos).

**Sector occidental de Sierra Blanca:**

Los manantiales de este sector presentan bruscos aumentos de caudal ante las precipitaciones, pasan de estar prácticamente agotados a drenar caudales de varios centenares de l/s. En los manantiales equipados con aparatos de registro continuo se ha podido constatar que la respuesta se produce al cabo de 2-3 horas de producirse el máximo pluviométrico. Del mismo modo, en los sondeos piezométricos se registran bruscas e importantes variaciones del nivel (en algún caso superiores a 100 m).

La aplicación de métodos hidrodinámicos como los análisis de las curvas de recesión, correlatorio y espectral y de caudales clasificados, a los datos de caudal medidos en los manantiales de este sector, ponen de manifiesto que drenan sistemas de tipo kárstico, con escasa inercia y bajo poder regulador. En todos los casos el volumen dinámico se vacía, prácticamente, al cabo de un año; la mayor parte de éste volumen se drena en situación de aguas altas.

Los datos hidrotérmicos e hidroquímicos permiten descomponer las distintas partes del hidrograma (crecida, decrecida y agotamiento), constatándose que la crecida es de corta duración y en ella se producen grandes diluciones, por la infiltración rápida de las aguas de lluvia.

Los sondeos realizados en los sistemas del sector occidental de Sierra Blanca indican que la permeabilidad de los mármoles azules es baja, los valores de transmisividad obtenidos son inferiores a 100 m<sup>2</sup>/día y, consecuentemente, en los sondeos no es posible bombear caudales continuos de explotación superiores a 25 l/s, en el mejor de los casos.

Por tanto, los sistemas acuíferos del sector occidental de Sierra Blanca, responden rápidamente ante las precipitaciones, porque drenan mármoles azules calizos, con un cierto grado de karstificación funcional, presentan una baja inercia y un escaso poder regulador y, en definitiva, reservas limitadas. Se trata de acuíferos con un comportamiento hidrodinámico parecido al modelo de acuífero kárstico jerarquizado propuesto por Bakalowicz y Mangin (1980) para los sistemas del Pirineo o al modelo de *conduit flow system* de los Appalaches (Schuster y White, 1971).

**Sector oriental de Sierra Blanca:** Este sector constituye el sistema de Coín, dentro del cual el flujo subterráneo se realiza de Oeste a Este, donde se encuentra el manantial de Coín, principal punto de descarga del sistema. Así lo corrobora la disminución progresiva de la cota piezométrica y el aumento de la temperatura del agua, de la radiactividad natural y de la mineralización; los mayores valores se registran siempre en el manantial de Coín.

El sistema de Coín está formado por mármoles, fundamentalmente blancos dolomíticos, y por peridotitas y migmatitas que afloran en la vertiente septentrional de Sierra Alpujata. Sin embargo, los bajos contenidos en algunos componentes químicos mayoritarios ( $\text{SiO}_2$  y  $\text{Mg}^{2+}$ ) y elementos trazas (Ni y Cr) de las aguas, sugieren una escasa influencia de los materiales de baja permeabilidad en el funcionamiento del sistema.

El hidrograma del manantial de Coín y las evoluciones piezométricas de los sondeos del sistema, pese a estar afectados por bombeos, permiten interpretar que las respuestas ante las precipitaciones se producen de forma lenta. A los datos de caudal registrados en este manantial se han aplicado varias metodologías de estudio (análisis de la curva de recesión, análisis correlatorio y espectral, análisis de caudales clasificados), lo cual ha puesto de manifiesto que el sistema presenta bajo grado de karstificación funcional, gran inercia y poder regulador elevado. En este caso, al cabo de un año, no se drena ni la mitad del volumen dinámico del sistema.

Los datos de temperatura y del quimismo del agua, indican que el manantial está, prácticamente, el mismo tiempo en situación de crecida y de agotamiento. Además, las variaciones de estos parámetros se producen de forma muy amortiguada.

Los sondeos perforados en las proximidades del manantial de Coín, permiten extraer caudales continuos de explotación del orden de 100 l/s, porque los mármoles son muy transmisivos (hasta 5000  $\text{m}^2/\text{día}$ ).

Todos los datos apuntan a que el sistema de Coín responde lentamente a las precipitaciones, como consecuencia de la menor karstificación funcional de los mármoles que lo constituyen; en este caso, las reservas de agua son abundantes. El comportamiento de este sistema es más parecido al modelo de elementos capacitivos y transmisivos propuesto por Drogue (1980), para los acuíferos perimediterráneos o al modelo de *diffuse flow system* de los Appalaches (Shuster y White, 1971).

**Sector de Sierra Mijas:** En régimen natural sólo se dispone de datos de caudal de los manantiales de Torremolinos, cuyos hidrogramas muestran variaciones de caudal muy amortiguadas ante las precipitaciones. La aplicación de los análisis de curvas de recesión, correlatorio y espectral y caudales clasificados ha puesto de manifiesto que el sistema de Torremolinos presenta una gran inercia y un enorme poder regulador, mayor que en el sistema de Coín, como consecuencia del bajo grado de karstificación funcional que presentan los mármoles blancos dolomíticos. En el sistema de Torremolinos el

vaciado del volumen dinámico se produce lentamente, puesto que al cabo de un año se drena menos de un 25% del mismo.

Los datos hidroquímicos e hidrotérmicos disponibles, relativos a las aguas de los sistemas de Sierra Mijas, indican que las variaciones temporales son prácticamente inexistentes, es decir, hay una gran homogeneidad hidroquímica como consecuencia de la homogeneidad hidrodinámica que caracteriza dichos sistemas.

La información procedente de los abundantes sondeos perforados, demuestra que las cavidades kársticas son muy escasas, pero los mármoles presentan abundantes tramos fisurados, con diaclasas abiertas de escala centimétrica. En general, los sondeos realizados en los sistemas de Sierra Mijas permiten bombear caudales continuos de explotación superiores a 50 l/s, en el sistema de Torremolinos pueden llegar a ser de 100 l/s. Esto se debe a que los mármoles blancos diaclasados, son muy transmisivos; a partir de los ensayos de bombeo practicados se obtienen transmisividades del orden de  $10^3 \text{ m}^2/\text{día}$ . Como consecuencia de la importante explotación que se lleva a cabo en los sistemas de Sierra Mijas, sobre todo en el de Torremolinos, las evoluciones piezométricas presentan tendencias descendentes, aunque interrumpidas por los ascensos del nivel correspondientes a los años húmedos.

Por tanto, los datos disponibles indican que los sistemas de Sierra Mijas presentan comportamientos hidrogeológicos más parecidos a los del sistema de Coín que a los del sector occidental de Sierra Blanca; concretamente, el sistema de Torremolinos es claramente más inercial y tiene un poder regulador más elevado que el de Coín. Las reservas de agua almacenadas en Sierra Mijas son importantes, como lo corrobora la gran explotación que se está llevando a cabo de las mismas (del orden de 30  $\text{hm}^3/\text{año}$ ).

## Conclusiones

Las Sierras Blanca y Mijas constituyen una Unidad Hidrogeológica bien delimitada en sus bordes, con una geometría interna muy compleja, por la estructura geológica que presenta. Desde el punto de vista hidrogeológico es posible distinguir tres sectores en la Unidad: sector occidental de Sierra Blanca, sector oriental de Sierra Blanca y Sierra Mijas.

El sector occidental de Sierra Blanca esta formado por tres sistemas acuíferos (Istán, Marbella y Ojén) cuyos manantiales responden rápidamente ante las precipitaciones, presentan una escasa inercia y un bajo poder regulador; porque drenan mármoles azules calizos, con un importante grado de karstificación funcional. Los sondeos realizados en los sistemas de este sector muestran que los mármoles tienen una permeabilidad baja por debajo de las cota de surgencia de los manantiales y, consecuentemente, las reservas de agua son muy limitadas. El funcionamiento hidrogeológico de estos sistemas recuerda al modelo de acuífero kárstico jerarquizado propuesto por Bakalowicz y Mangin (1980) para los sistemas del Pirineo o al *conduit flow system* de los Appalaches (Schuster y White, 1971).

En el sector oriental de Sierra Blanca (siste-

ma de Coín) y en Sierra Mijas (sistemas de Alhaurín el Grande, Mijas, Benalmádena y Torremolinos), las respuestas ante las precipitaciones son mucho más amortiguadas, porque la karstificación funcional está menos desarrollada; en estos casos las reservas son abundantes, de hecho, se están explotando en los numerosos sondeos existentes. El funcionamiento hidrogeológico de dichos sistemas se asemeja bastante al modelo de elementos transmisivos y capacitivos propuesto por Drogue (1980) para los acuíferos carbonatados perimediterráneos o al modelo de acuífero de flujo difuso de los Appalaches (Schuster y White, 1971).

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado gracias a la ayuda del Grupo de Investigación 4021 (Recursos Hídricos) de la Junta de Andalucía, en el marco de los proyectos PB94-050 y PB94-1495 de la DGICYT.

## Referencias

- Andreo, B. (1996): *Estudio hidrogeológico de los mármoles alpujarrides de las Sierras Blanca y Mijas. Contribución al conocimiento de los acuíferos carbonatados del Sur de España*. Tesis Doct. Univ. Granada, 492 p.
- Bakalowicz, M. y Mangin (1980): *Mem. Soc. Geol. France*, 11: 71-79.
- Drogue, C. (1980): *Mem. Soc. Geol. France*, 11, 101-108.
- Dupuy de Lôme, E. (1923): *Estudio acerca de la cuenca hidrológica de la Sierra de Mijas o Torremolinos*. Excmo. Ayuntamiento de Málaga, 21 p.
- IGME (1983): *Investigación hidrogeológica de las cuencas del Sur de España. Sistema Acuífero n°38 (mármoles de Sierra Blanca-Mijas)*. Informe técnico n°6, 2 tomos.
- IGME (1985): *Estudio del Sistema Acuífero n°38 (Sierra Blanca-Sierra Mijas)*. *Hidrogeología, calidad y utilización del agua*, 5 tomos.
- Linares, L. y Trenado, L. (1981): *Características hidrogeológicas generales del macizo carbonatado Sierra Blanca-Sierra de Mijas (Málaga)*. I Simp. Agua Andalucía, 2, 699-705.
- Sanz de Galdeano, C. y Andreo, B. (en prensa): *Bull. Geol. Soc. Greece*.
- Schuster, E.T. y White, W.B. (1971): *Jour. Hydrol.*, 14, 93-128.
- SGOP (1992): *Recopilación de datos hidrogeológicos de la Unidad Hidrogeológica Sierra Blanca-Sierra de Mijas*, 97 p.
- Tubía, J.M. (1985): *Sucesiones metamórficas asociadas a rocas ultramáficas en los Alpujarrides occidentales (Cordilleras Béticas, Málaga)*. Tesis Doct. Univ. País Vasco. En: *Bol. Geol. Min.*, 99 (2,3,4,5), 1988.