

RECONOCIMIENTO HIDROGEOLOGICO DE LA SIERRA DE LA ALMIJARA MERIDIONAL (MALAGA)

A. Castillo¹ y J. Carmona²

¹ CSIC e Instituto del Agua (Univ. Granada). C/ Ramón y Cajal, 4. Edificio Fray Luis de Granada. 18071 Granada. Email: acastill@goliat.ugr.es

² Profesional libre

ABSTRACT

The southern part of the Almiijara range (in the province of Málaga) is mainly composed of marbles of the Alpujarride Complex (Internal Zone of the Betic Range). There is significant tectonic complexity and the area is traversed by a large inverse fault ("escama de Calixto"), which causes the sector to be divided into two partially interconnected hydrogeologic subunits, the Almiijara and the Alberquillas.

With 140 km² of carbonated outcrops, groundwater resources have been estimated at around 40 hm³/y. The water is moderately saline (400 - 700 microS/cm) with calcic-magnesian bicarbonate facies. Current levels of exploitation only represent 50% of the evaluated water resources. Such underexploitation is exceptional in the context of the coastal regions of the eastern Mediterranean. A sharp increase in water extraction is forecast for the near future. This kind of exploitation should respect a series of criteria in order to satisfy consumers interests without harming the environment. Specifically, pumping activities should be divided between the existing water catchment areas and be concentrated in the southern boundaries, with extraction to the north of "escama de Calixto" being severely limited.

Key words: Southern Almiijara, groundwater, karst, resources, exploitation

Introducción

El sector estudiado comprende los afloramientos carbonatados de la vertiente meridional de la sierra de la Almiijara, en la provincia de Málaga, entre las cuencas de los ríos Algarrobo, al oeste, y de la Miel, al este; el límite occidental y meridional lo constituye el contacto mecánico (fractura de Canillas-Nerja) con los esquistos de la Unidad de Sayalonga (manto de los Güájares; Elorza y García Dueñas, 1980; Avidad y García Dueñas, 1981), y al septentrional la divisoria hidrográfica (fig. 1).

Figura 1.- Localización geográfica de la Unidad hidrogeológica de la Almiijara meridional

El área carbonatada tiene una superficie próxima a los 140 km² y se reparte en varias cuencas que vierten directamente al mar Mediterráneo, tras cortos recorridos (inferiores a 20 km) y fuerte pendiente. Las más importantes, y de oeste a este, serían las de los ríos Algarrobo, Torrox, Higuera, Chállar, Bco. de Maro y río de la Miel.

El sector estudiado se localiza en la Zona Interna de las Cordilleras Béticas, y, más concretamente en el Complejo Alpujarride. La serie estratigráfica está formada, básicamente, por un conjunto metapelítico inferior

(esquistos y, en menor medida, cuarcitas) de edad Paleozoico y un conjunto superior carbonatado, constituido por mármoles blancos dolomíticos y a techo por mármoles azules calizos, de edad Trías. Estos materiales pertenecen, en su mayor parte, al manto de la Herradura, según Elorza y García Dueñas (1980) y Avidad y García Dueñas (1981), o a la unidad de la Almirara, según terminología de Sanz de Galdeano (1986).

La complejidad estructural es notoria; el principal rasgo lo constituye una gran falla inversa que recorre, con dirección N135E, el sector central del área estudiada (Aescama de Calixto), origen de sectores con inversión, con los esquistos de la base sobre los materiales carbonáticos. Esta fractura se amortigua tanto hacia el este (cerro del Cisne), como hacia el oeste (cerro de Canillas) y desaparece formando un anticlinal, cuyo flanco sur sólo muestra materiales carbonáticos. Este accidente fue aprovechado para distinguir la subunidad hidrogeológica de las Alberquillas, situada al sur, parcialmente conectada con los afloramientos de la sierra de la Almirara situados al norte.

Hidrogeología

El sector acuífero estudiado tradicionalmente ha sido dividido en, al menos, dos unidades hidrogeológicas, la de las Alberquillas y la del sector meridional de la Almirara (SGOP, 1991), y ello cuando no se han realizado clasificaciones más amplias (IGME, 1983). No obstante, creemos que esta diferenciación complica la gestión conjunta de ambas unidades, parcialmente conectadas entre sí, por lo que, en adelante, las consideramos como subunidades de la Unidad denominada de la Almirara meridional. Coincide este criterio, a grandes rasgos, con el establecido por el MOPTMA (1995) para definir el subsistema II.1 del Plan Hidrológico de la Cuenca Sur.

Todo el área ha sido objeto de estudios infraestructurales de hidrogeología regional, entre los que cabe destacar los del IGME (1983), Diputación de Málaga (1988) y SGOP (1991); entre las investigaciones más locales, generalmente concentradas en la subunidad de las Alberquillas, estarían las de Castillo *et al.* (1986), Ollero *et al.* (1988), Fernández del Río *et al.* (1992), y Andreo y Carrasco (1993). En el momento actual aún persisten algunas controversias hidrogeológicas, en gran parte relacionadas con la complejidad tectónica del área.

Funcionamiento hidrogeológico

La alimentación procede de las aguas de precipitación, y el sentido del flujo es básicamente de norte a sur en la subunidad de la Almirara y de noroeste a sureste en la de las Alberquillas, por debajo de la "escama de Calixto". Los recursos totales se han estimado en unos 50 hm³/a, de los que la mayor parte son drenados por manantiales y escorrentía superficial directa (32 hm³/a), otra parte lo hace a través de extracciones (12 hm³/a), y el resto (otros 6 hm³/a) lo hace por descargas ocultas a sistemas limítrofes (principalmente al postorogénico de Nerja) y al mar (entre Nerja y Cerro Gordo). Los drenajes son piezas clave en el mantenimiento del caudal de base de los principales ríos del área (Torrox, Higuierón, Chíllar y de la Miel). Estas descargas tienen un fuerte carácter difuso, y se localizan a diferentes cotas, incluso dentro de la misma cuenca, produciéndose generalmente cerca del contacto con la "escama de Calixto", a cota aproximada de 500 m.s.n.m. Esta íntima relación de las aguas superficiales y subterráneas, con varios niveles de surgencias, seguidos por tramos de pérdidas, es muy característica de los materiales carbonatados alpujárrides (orla de Sierra Nevada, sierras de La Alfacuara, La Peza, etc);

Cómo ya se ha comentado, la Unidad estudiada presenta conexión hídrica entre las subunidades de la Almirara (s.s.) y de las Alberquillas, sobre todo entre el río Higuierón y de la Miel; en dicho tramo se estima una transferencia del orden de 10 hm³/a hacia la subunidad de las Alberquillas. También existe continuidad hidráulica con unidades limítrofes por los sectores septentrional y oriental. En ambos casos se trata de divisorias hidrogeológicas, prácticamente coincidentes con las hidrográficas, en continuidad con los mismos materiales acuíferos carbonáticos.

Recursos y reservas

Con la información actualmente disponible, con práctica ausencia de limnigrafos y pluviografos, no es posible ser muy precisos en la estimación desglosada de los recursos hídricos de la Unidad hidrogeológica considerada, y mucho menos aún en la de sus reservas hídricas.

En el marco de esta investigación, se realizaron dos estimaciones; una fue de corte empírico, y consistió en evaluar la lluvia útil (Llu) media anual por el método de Thornwaithe. La precisión de este método, en principio, no debería ser alta, ya que no se dispuso de una suficiente red de observatorios termopluviométricos, y además no fue posible realizar los cálculos a nivel diario. La precipitación media anual para la Unidad, calculada con 12 observatorios del área, fue de 660 mm. Para el cálculo de la ETR, se dispuso de la información aportada por 7 observatorios, y el valor medio obtenido fue de 318 mm (para una RU de 50 mm), siendo, por tanto, la Llu media anual de 342 mm. Con los valores de Llu obtenidos se calculó, de forma empírica, el caudal específico de escorrentía, que fue de 10,9 l/s/km².

El segundo método de estimación utilizado fue de tipo experimental, y, por tanto, más fiable, y consistió en calcular los caudales específicos de dos cuencas representativas del mismo ámbito hidrogeológico, dotadas con registros limnigráficos. En concreto, estas fueron las de los ríos Alhama (antes de la presa de derivación), y Verde (en Cázulas). En la figura 3 se muestran los correspondientes hidrogramas para el periodo 1969-89.

Figura 2.- Hidrogramas anuales de los ríos Alhama (antes de la presa de derivación) y Verde (en Cázulas) para el periodo 1969-89 (a partir de SGOP, 1991)

Tras ponderar las aportaciones aforadas con las diferentes pluviometrías medias anuales de sus correspondientes cuencas de recepción, se obtuvo para la Unidad considerada un caudal específico promedio de 10 l/s/km².

Cómo resultado de aplicar los valores de caudales específicos obtenidos, se obtuvieron las aportaciones hídricas totales (superficiales y subterráneas) que se muestran en el cuadro 1. Cómo es natural, previamente hubieron de planimetrarse los afloramientos de todos los materiales de diferente comportamiento hídrico existentes en el área y para cada cuenca hidrográfica diferenciada; ello se realizó a escala 1:50.000 con planímetro digital y resolución de 0,1 km².

Cuadro 1.- Recursos hídricos totales obtenidos para la Unidad hidrogeológica carbonatada de la Almirajara meridional, así como para las subunidades de Alberquillas y Almirajara, y cuencas hidrográficas. a.- Valor obtenido a partir de la Llu; b.- Valor obtenido a partir de los caudales específicos experimentales extrapolados

Con los datos obtenidos, los recursos hídricos totales de la Unidad hidrogeológica de la Almirajara meridional (Málaga) estarían comprendidos entre 48,1 y 50,6 hm³/a. Para el desglose entre los recursos subterráneos y los superficiales se utilizó la descomposición de los hidrogramas (fig. 2) de los ríos Verde y Alhama. En estos, las aportaciones superficiales supusieron aproximadamente el 20% de los recursos totales. Con esas premisas, los recursos exclusivamente superficiales del sector hidrogeológico considerado se estimaron en unos 10 hm³/a.

El SGOP (1991) cuantificó, para el año 89-90 (considerado cómo húmedo), unas salidas subterráneas del orden de 50 hm³ (sin considerar las ocultas); la descarga visible medida fue de 39 hm³/a y la explotación por bombeo de 10 hm³/a.

La estimación de las reservas hídricas es prácticamente imposible de realizar, ni siquiera de forma aproximada, con los datos actualmente disponibles. A la habitual dificultad de cuantificar el volumen de acuífero saturado, se le suma la muy comprometida estimación de la porosidad eficaz media de los materiales carbonatados alpujáridos, sin confundirla con la obtenida para las zonas de captación, especialmente favorables al respecto.

Todas las investigaciones hidrogeológicas coinciden en señalar la extremada anisotropía del medio, y por tanto también de la porosidad eficaz. Así, a tramos medianamente porosos se suceden otros apenas fracturados y karstificados, en los que la porosidad es extremadamente baja. Prueba de este heterogéneo comportamiento es el hecho de que se hayan llegado a perforar decenas de metros bajo el nivel piezométrico sin nivel de agua, o que se produzcan surgencias a diferente cota dentro del macizo carbonatado.

No obstante, se sabe por la investigación geológica regional realizada que el espesor de materiales

carbonáticos puede superar los 500 m (Sanz de Galdeano, 1986); algunas investigaciones hidrogeológicas centradas en la subunidad de las Alberquillas estiman una porosidad eficaz media en torno al 0,5-1 % (Castillo *et al.* 1986). En base a estas estimaciones, es posible predecir que las reservas son apreciables.

A medio plazo, la estimación puede llegar a ser necesaria, ya que muy probablemente el sector jugará un papel estratégico como reservorio de emergencia ante las previsibles próximas sequías, sobre todo con vistas a garantizar el abastecimiento urbano y turístico, en expansión en el sector costero.

Hidroquímica

Las aguas del sector estudiado poseen el quimismo típico de los materiales carbonatados alpujárrides. Se trata de aguas frías, con temperaturas de emergencia en torno a los 11-16 1C (con la excepción del manantial ligeramente termal de Maro; Andreo y Carrasco, 1993), y de mineralización débil, con conductividad comprendida entre 400 y 700 microS/cm. Las facies son bicarbonatadas cálcico-magnésicas, con escasa proporción de cloruros, sulfatos, sodio y potasio.

En la figura 3 se exponen tres gráficos hidroquímicos representativos de las surgencias del área; como puede observarse, las aguas son de un quimismo muy similar, diferenciándose levemente entre ellas por los diferentes contenidos en sulfatos y calcio, posiblemente ligados a depósitos de yeso dentro de los carbonatos. Tampoco presenta un quimismo muy diferente el manantial de Maro, que se ha representado de forma independiente dadas sus peculiaridades, no sólo hidrodinámicas, sino también físico-químicas (SGOP, 1991; Andreo y Carrasco, 1993).

Figura 3- Gráficos hidroquímicos para algunos puntos de agua representativos de la Unidad hidrogeológica de la Almirajara meridional (Málaga). Superior.- para la subunidad de la Almirajara; intermedio.- para la subunidad de las Alberquillas; inferior.- análisis medios de las subunidades de la Almirajara y de las Alberquillas, y para el manantial de Maro. Valores en mg/l, salvo conductividad, en microS/cm (a partir de datos analíticos de SGOP, 1991)

Regulación. Posibilidades de actuación

La Unidad hidrogeológica de la Almirajara meridional (Málaga) está, al día de hoy, subexplotada en su conjunto. Se calcula que de los 50 hm³/a estimados como recursos totales de la Unidad, aproximadamente 25 hm³/a escapan a la regulación y aprovechamiento, perdiéndose en su mayoría al mar. Los actuales aprovechamientos corresponden, sobre todo, a sondeos situados en el borde sur de la subunidad de las Alberquillas, así como a la captación directa de aguas de manantiales y de escorrentía superficial. Previsiblemente, la Unidad se explotará completamente en los próximos años, para atender, sobre todo, a demanda urbana y turística, en franca expansión en el área litoral.

Cómo línea maestra de actuación, se debería intentar una gestión basada en el aprovechamiento por cuencas hidrográficas, definiendo, en base a los recursos propios, los límites máximos de explotación de cada una de ellas. Con ello se evitarían posibles afecciones cruzadas a usuarios, y, sobre todo, al frágil equilibrio hídrico del sistema. Las explotaciones deberían concentrarse en la subunidad de las Alberquillas, donde podrían regularse hasta 10 hm³/a adicionales, teniendo buen cuidado en no concentrar las extracciones en las proximidades del mar, y especialmente en su sector más oriental, donde el riego de intrusión en ese caso ya ha sido señalado por otros autores (Castillo *et al.* 1986).

La explotación de la subunidad de la Almirajara se considera de gran riesgo, fundamentalmente por los impactos medio ambientales que dicha actuación traería consigo (agotamiento de manantiales y ríos, apertura de caminos, conducciones, etc.) en un espacio de alto valor ecológico, actualmente declarada como Parque Natural. Una actuación restringida en la cuenca del río Higuera y algún sector adyacente podría admitirse, con una regulación del orden de 5 hm³/a adicionales. Así pues, la explotación por encima de la "escama de Calixto" no existiría, quedando el área con la consideración de reserva hídrica, tanto para el mantenimiento de caudal de base de los ríos del área, cómo para la utilización de emergencia en periodos de fuerte sequía del agua naturalmente fluyente por los ríos.

Agradecimientos

Esta investigación se llevó a cabo merced a dos contratos de investigación suscritos entre la Universidad de Granada (Instituto del Agua) y la mancomunidad de municipios de la Costa del Sol Oriental (Axarquía).

Referencias

Andreo, B. y Carrasco, F. (1993). *Estudio hidrogeológico del entorno de la Cueva de Nerja*. Trabajos sobre la Cueva de Nerja, n1 3 (ed. F. Carrasco), 163-187

Avidad, J. y García Dueñas, V. (1981). *Mapa Geológico de España a escala 1:50.000 de la hoja de Motril (1.055) y memoria explicativa*. IGME, 36 p. Madrid

Castillo, E.; Gollonet, F.J. y Delgado, J. (1986). Características hidrodinámicas de materiales carbonáticos alpujarrides del sector Nerja-La Herradura (Granada). *II Simposio sobre el Agua en Andalucía*, 2: 267-276

DIPUTACION DE MALAGA (1988). *Atlas hidrogeológico de la provincia de Málaga*. Serv. Pub. Diputación de Málaga. 151 p

Elorza, J.J. y García Dueñas, V. (1980). *Mapa Geológico de España a escala 1:50.000 de la hoja de Vélez Málaga (1.054) y memoria explicativa*. IGME, 59 p. Madrid

Fernández del Río, G.; Castillo, E.; Delgado, J. y Villalobos, M. (1992). Evaluación de recursos hídricos de las sierras Tejeda y Almirajara (Granada-Málaga). *Hidrogeología y Recursos Hidráulicos*, XV: 241-256. Alicante

IGME (1983). *Sistema acuífero n1 41. Calizas y dolomías triásicas de la sierra de la Almirajara-sierra de Lújar*. Inf. técnico n1 10. Madrid

MOPTMA (1995). Plan Hidrológico de la Cuenca Sur. Memoria y anejos (doc. restringido)

SGOP (1991). *Estudio hidrogeológico de las sierras Tejeda, Almirajara y Güájaras (Málaga y Granada)*. Memoria, planos y anejos. Inf. restringido. 244 p

Ollero, E.; García García, J.L. y Alcaín, G. (1988). Características hidrogeológicas del acuífero carbonatado costero de las Alberquillas. *TIAC 88, III*: 439-453

Sanz de Galdeano, C. (1986). Structure et stratigraphie du secteur oriental de la Sierra Almirajara (Zone Alpujarride, Cordilleres Bétiques). *Estudios Geol.*, 42: 281-289