

LOS ACUÍFEROS KÁRSTICOS DEL SUR DE CÓRDOBA (PARQUE NATURAL DE LAS SIERRAS SUBBÉTICAS)

M. Bouamama¹ y M. López Chicano²

¹Grupo de Hidrogeología e Ingeniería Geológica, Universidad Católica de Lovaina. Redingenstraat, 16. 3000 - Lovaina (Bélgica). mohamed.bouamama@geo.kuleuven.ac.be.

²Departamento de Geodinámica, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada. Avda. Fuentenueva s/n. 18071 - Granada. mlopezc@ugr.es

Resumen

El sur de la provincia de Córdoba, caracterizado por la existencia de abundantes relieves calcáreos (Sierras de Cabra, Gaena, Rute y Horconera), constituye una región de morfología kárstica mediterránea muy bien desarrollada. La originalidad y variedad del paisaje, junto con la abundancia de recursos naturales y su buen estado de conservación, condujeron en 1988 a su declaración como Parque Natural. Los acuíferos kársticos son abundantes y sus aguas subterráneas afloran en superficie a través de caudalosos manantiales (Fuente Alhama, Fuente del Río, Río de la Hoz, Nacimiento de Zambra, etc.); éstas constituyen obviamente un importante recurso, susceptible de ser explotado y protegido a la vez. Su grado de aprovechamiento es alto (Tabla 1), habida cuenta de que casi todos los manantiales sufren derivaciones frecuentes para satisfacer la demanda (sobre todo urbana y para riego de algunas zonas de huerta tradicional); pero ésta se lleva a cabo prácticamente sin regulación, con lo que existe muy poca garantía en el suministro. A continuación se hace una puesta al día de los conocimientos existentes sobre el sector de acuíferos lo que da una idea de su importancia y de las posibilidades de utilización futura.

Palabras clave: Acuíferos kársticos, Sur de Córdoba, Subbética.

INTRODUCCIÓN

Las primeras referencias escritas que conocemos sobre la hidrogeología de la región se remontan a los inicios del siglo XX. Consisten en descripciones muy someras de las condiciones geológicas de varios manantiales de la zona de Priego y de Cabra recogidas en algunos trabajos de Carandell (1922 y 1927); este investigador impulsó decisivamente el conocimiento geológico de esta región desde su Cátedra en el Instituto de Cabra.

En los años 50 se llevaron a cabo las primeras canalizaciones y conducciones por gravedad que partían de los principales manantiales y tenían como fin el abastecimiento de agua potable de algunas poblaciones del entorno de las Sierras Subbéticas, siendo quizás el caso más significativo la conducción de unos 50 l/s desde el Nacimiento de Zambra hasta Lucena. Hay que tener en cuenta que las sequías son frecuentes en esta región y para algunas grandes poblaciones de la Campiña el abastecimiento sólo era posible mediante este sistema. Desde entonces, la presión por la explotación de los recursos hídricos ha ido en aumento y se han dado casos de conflictividad entre los municipios del área, así como problemas de insolidaridad y de competencia por el agua.

Sistemas Hidrogeológicos	Recursos (hm ³ /a)	Abast. urbano (hm ³ /a)	Uso agrícola (hm ³ /a)
Sierra de Cabra-Alcaide	34	9.3	2.2
Sierra de Rute-Horconera	24.5	7.8	2.5
Sierra de Gaena	11	1.7	1.9
Sierra de Pollos o Jaula	1.5	0.1	0.8
Otros sistemas	1.2	0.2	0.1
	Total	72.2	19.1
	%	100	27

Tabla 1. Recursos hídricos renovables de los principales acuíferos kársticos del sur de Córdoba y volúmenes medios anuales destinados a distintos usos, según Bouamama (2000).

En los años sesenta se acometen los primeros trabajos serios para conocer las características de los acuíferos y llevar a cabo su mejor captación y explotación. Son los años en que Felgueroso y Coma (investigadores adscritos al IGME) llevan a cabo estudios geológicos y geofísicos relevantes de la región del sur de Córdoba, los cuales, bajo la coordinación del antiguo Instituto de Colonización, sirvieron de base para el primer estudio hidrogeológico moderno de esta zona (Felgueroso y Coma, 1967). La entrada en funcionamiento en 1969 del macroembalse de Iznájar supuso disponer de una fuente de recursos hídricos alternativa para la resolución de los problemas de abastecimiento urbano que se daban en el sur de Córdoba.

Aprovechando los datos hidrológicos (caudales de manantiales sobre todo) e hidrometeorológicos de Felgueroso y Coma (1967), López Vera y Saiz García-Cuenca (1975) estudian la infiltración eficaz en terrenos carbonatados, aplicando diversas fórmulas empíricas al caso concreto del macizo kárstico de Cabra. En la tesis doctoral de Pezzi (1977) se puede encontrar cierta información hidroquímica de algunos de los grandes manantiales de la región.

A finales de los 70 se crea el Consorcio para el Abastecimiento de Agua a los Pueblos de la Zona Sur de la Provincia de Córdoba para la gestión del suministro de agua potable de casi 30 municipios. Este organismo lleva a cabo diversos estudios técnicos y es el responsable de las captaciones de los manantiales del Río de la Hoz y de Fuente Alhama, dos de las principales surgencias del área.

En los años 80 se llevaron a cabo diversos estudios hidrogeológicos que constituyen realmente la base del conocimiento actual de los principales acuíferos del sector. Todos los trabajos realizados parten del proyecto del IGME (1982-83) sobre el estudio de los sistemas acuíferos 30 y 31, cuyos resultados aún permanecen inéditos, salvo en los aspectos difundidos por Castillo et al., (1984), Rubio y del Valle (1987), Rolandi et al. (1988) y Mantecón (1998).

También el IARA (1987) llevó a cabo estudios hidrogeológicos de síntesis en la región del sur de Córdoba, actuando como consultora la CGS. En ellos se analizan las posibilidades de regulación y una mayor explotación de los recursos hídricos subterráneos. Por esa época, la empresa INGEMISA (1988) inicia los trabajos detallados de regulación del manantial del Río de

la Hoz, por encargo del Consorcio para el Abastecimiento de Agua a los Pueblos de la Zona Sur de la Provincia de Córdoba y en colaboración con el ITGE. Los trabajos se prolongaron hasta mediados de los 90 (Castillo y Padilla, 1993; ITGE, 1995), si bien, la oposición de grupos ecologistas y vecinos de la localidad de Rute impidió llevar a cabo las pruebas definitivas antes de la regulación del manantial, por lo que ésta, desgraciadamente, no se ha podido materializar. A pesar de todo, los estudios supusieron un avance notable en el conocimiento de la hidrogeología de esta importante zona de descarga.

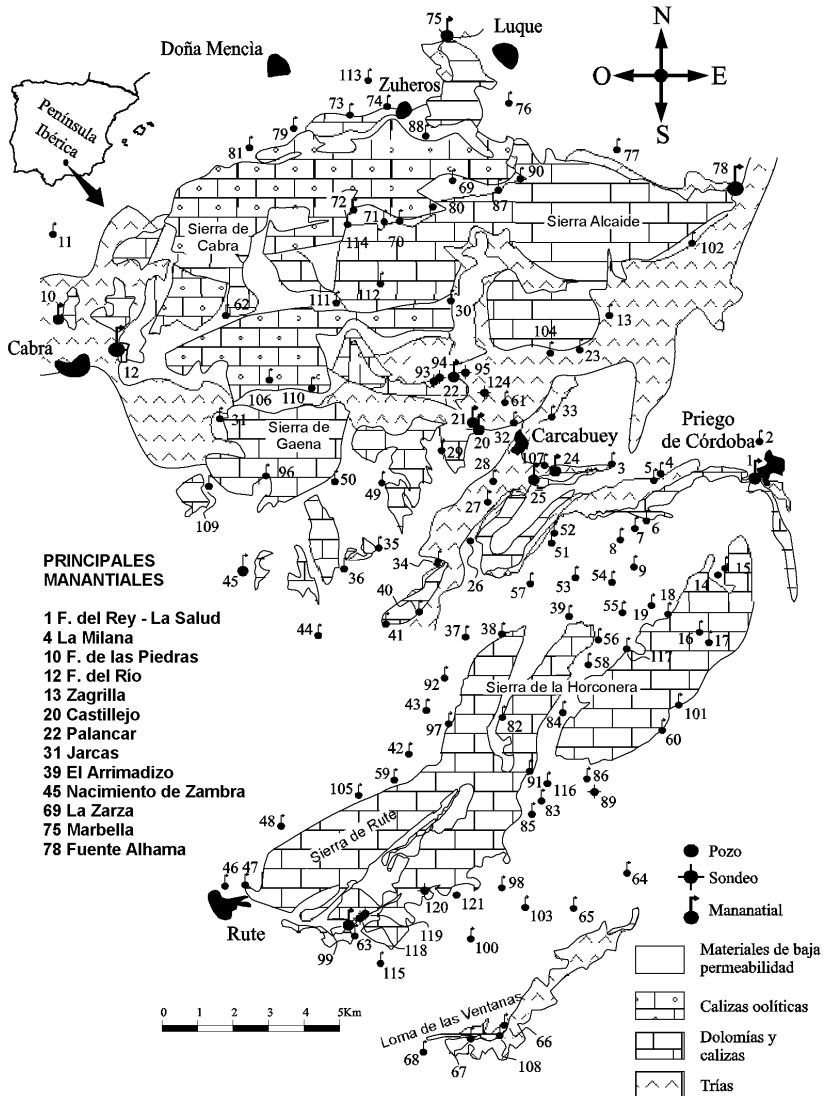


Figura 1.- Mapa hidrogeológico de la región estudiada

A lo largo de los 90 se llevaron a cabo los estudios hidrogeológicos (INGEMISA, 1992) previos a la declaración como agua mineral del manantial de Zambra y de la puesta en funcionamiento de la planta embotelladora, y otros trabajos que abordaron la problemática del abastecimiento de agua potable del núcleo urbano de Priego de Córdoba a partir del manantial de la Salud - Fuente del Rey (ANASS, 1992; Pulido Bosch y López Chicano, 1993; Pulido Bosch et al., 1995 y 1996). También en esta época, se proponen (ITGE, 1993 a y b) y se aprueban (DGOH, 1995 a y b) las primeras normas de explotación de los principales sistemas hidrogeológicos de la región. La Diputación de Córdoba (2000) ha abordado la problemática de los abastecimientos de agua urbanos en la provincia y las posibles vías de solución.

Por último, algunos trabajos llevados a cabo en el ámbito de la Universidad de Granada han tratado de sintetizar la dispersa información hidrogeológica existente y de poner al día el conocimiento hidrogeológico de la región, pero, sobre todo, han intentado conocer mejor el funcionamiento hidrodinámico de estos acuíferos kársticos a partir del empleo de métodos de reconocimiento hidrogeoquímico espacial y temporal (Bouamama et al., 1996; Bouamama, 2000; López Chicano et al., 2001; Bouamama y López Chicano, 2002 a y b).

En este artículo se tratan los principales aspectos hidrogeológicos de los tres sistemas acuíferos más importantes de la región (Figura 1): Cabra-Alcaide, Rute-Horconera y Gaena, tal y como fueron definidos por Bouamama (2000). También se dedica un pequeño apartado a describir los aspectos hidrogeoquímicos más destacados de los acuíferos de la zona. Por razones de espacio, no se tratan las características de otros acuíferos y sistemas acuíferos kársticos-carbonatados de menor importancia que se localizan dentro del perímetro del Parque Natural (Sierras de la Gallinera y de Pollos-Jaula) o en sus proximidades (Loma de las Ventanas, Sierra de los Judíos y Sierra de Araceli).

CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS Y GEOLÓGICAS

La zona de estudio está situada al sureste de la provincia de Córdoba y se caracteriza por la existencia de un conjunto de relieves carbonatados más o menos individualizados por depresiones alargadas, las cuales están ocupadas por terrenos arcillosos y margosos y cultivos de olivar. La extensión de afloramientos carbonatados es de casi 250 km², comprendidos entre las coordenadas geográficas 4° 11' - 4° 26' de longitud oeste y 37° 16' - 37° 34' de latitud norte.

En la parte septentrional se ubica el macizo de Cabra, el más extenso de todo el área, donde destacan algunos relieves poco articulados como: el Picacho de la Ermita de la Virgen de la Sierra, Sierra Alcaide, Abrevia, Abuchite, Sierra de la Lastra y Sierra del Pelpitre. La parte central del Parque Natural está ocupada por una serie de relieves alomados y de cotas máximas en torno a los 1000 m s.n.m., entre los que destaca la Sierra de Gaena, el cerro de Jarcas, la Sierra de la Cabrera y los cerros del Palojo. Más al sureste destacan las alineaciones de las sierras de la Gallinera y de Pollos o Jaula. En el sector meridional se encuentra otro macizo complejo que aglutina los abruptos relieves de la Sierra de la Horconera, Sierrecilla de la Trinidad y Sierra de Rute.

Al norte y noroeste se extiende la Campiña cordobesa y al sur la depresión de Iznájar, ocupada en buena medida por el embalse de igual nombre. Las cotas oscilan entre unos 500 m s.n.m. en las partes bajas y un máximo de 1567 m s.n.m. en el pico Tiñosa (Sierra de la Horconera). La zona de estudio se reparte entre los municipios de Priego de Córdoba, Carcabuey, Cabra, Luque, Zuheros, Doña Mencía, Rute e Iznájar. Desde el punto de vista hidrográfico, la zona vierte sus

aguas a dos importantes afluentes del Guadalquivir por su margen izquierda: el río Genil y el río Guadajoz. Algunos cursos afluentes de éstos más notables son los ríos Anzur, de Cabra, Salado, Marbella y Palancar. Otros cauces importantes por sus relaciones de transferencia con los acuíferos son el arroyo Bailón (en el macizo Cabra-Alcaide) y el sistema fluvial Rigüelo-Herrerías-Hoz (en el macizo Rute-Horconera).

En cuanto a la temperatura media del aire, en las Sierras Subbéticas cordobesas se pueden diferenciar dos áreas: las zonas montañosas, con altitud superior a 700 m s.n.m., presentan un temperatura media anual inferior a 14 °C (probablemente, del orden de los 10 °C en las partes más altas situadas por encima de 1200 m de cota), y valores medios de las temperaturas máximas y mínimas inferiores a 21 y 7 °C, respectivamente; las áreas de cota inferior a 700 m s.n.m., con temperaturas medias anuales que oscilan entre 16 y 16.5 °C, medias de las máximas del orden de 22-23 °C y medias de las mínimas entre 9 y 10 °C.

Dadas las características orográficas, su localización geográfica en un extremo de la depresión del Guadalquivir y la disposición de los relieves frente a las borrascas que proceden del Atlántico, la zona de estudio presenta un máximo pluviométrico de relativa importancia, aunque de rango inferior al de otros macizos de situación geográfica similar, como las Sierras de Grazalema y de Cazorla. La distribución de las lluvias es típica de un clima mediterráneo, con sequías estivales concentradas sobre todo en julio y agosto. Los máximos de precipitaciones se dan en invierno, aunque el episodio lluvioso comienza con la estación otoñal y las últimas precipitaciones llegan a registrarse en primavera. Así pues, se pueden diferenciar dos máximos pluviométricos: el primero absoluto, y que se registra durante el mes de diciembre; el otro, secundario y relativo, se da especialmente en febrero aunque se puede extender hasta marzo y incluso mayo.

La precipitación máxima anual se registra en la estación pluviométrica de La Ermita de la Virgen de la Sierra (1223 m s.n.m.), con un valor ligeramente superior a 1000 mm, mientras que la mínima (333 mm) se registra en Iznájar, situado al sur, ya fuera del área de estudio. Los valores de precipitación más frecuentes en la zona están comprendidos entre 600 y 700 mm, aunque en las partes más altas de las sierras se pueden alcanzar fácilmente los 1000 mm anuales.

Desde el punto de vista geológico, la zona de estudio se enmarca dentro del dominio Subbético, sobre todo dentro del subdominio Subbético externo (septentrional y meridional) y, en menor medida, del Subbético medio. El límite entre ambos se localiza, aproximadamente, en la alineaciones montañosas de las sierras de Rute y Horconera. Al norte de la Sierra de Cabra afloran materiales correspondientes al dominio de las Unidades intermedias, y también, a modo de ventana tectónica, en las inmediaciones de Carcabuey. Todos estos dominios incluyen materiales de edades comprendidas entre el Triásico y el Mioceno. El triásico es de facies germánicas y sirve de nivel de despegue entre el zócalo Hercínico y la cobertera post-permotriásica.

Los materiales triásicos afloran ampliamente en la región y consisten en arcillas de colores llamativos con frecuentes intercalaciones de delgados niveles de areniscas y abundantes yesos en lechos finos o en niveles masivos; a veces también de halita y rocas subvolcánicas del tipo ofitas. Se observan, también, afloramientos muy discontinuos de dolomías y calizas negras de facies *Muschelkalk*. Es muy frecuente encontrar dolomías oquerosas y carniolas (del *Infra*liás o *Supra* Keuper) incluidas en las arcillas del Trías o en la base de los carbonatos jurásicos.

En todas las unidades geológicas de los distintos subdominios presentes en la zona de estudio el Jurásico comienza con rocas calizas y dolomías de la Formación Gavilán, las cuales con-

forman los principales relieves montañosos y son las rocas acuíferas por excelencia en el área. Su potencia puede sobrepasar los 300 m. Continúa un conjunto de margas, margocalizas y calizas margosas de potencias muy variables según el dominio paleogeográfico, que puede presentar algunos estratos de calizas nodulosas a techo.

Mientras que en las Sierra de la Horconera el resto del Jurásico consiste en potentes conjuntos de margas, margocalizas y radiolaritas, en la Sierra de Gaena afloran calizas con sílex y calizas nodulosas. En el macizo de Cabra-Alcaide, los afloramientos correspondientes a la unidad Camarena-Lanchares (unidad de Cabra para otros autores) consisten en calizas oolíticas muy puras (con hasta 200 m de espesor en la zona de los Lanchares) y calizas nodulosas. El Cretácico-Neógeno tiene un carácter eminentemente margoso, con intercalaciones de calizas margosas y areniscas de origen turbidítico.

En la región, también existen afloramientos discretos de materiales de edad Cuaternario consistentes en depósitos aluviales en los valles de los principales ríos, depósitos coluviales, rellenos kársticos de terra rossa y travertinos.

La estructura geológica es compleja y comprende mantos de cabalgamiento, escamas, pliegues apretados y de gran radio, estructuras falladas en bloques y otras con origen en procesos halocinéticos.

CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS

El sistema Cabra-Alcaide

El sistema hidrogeológico kárstico Cabra-Alcaide, de 82 km² de superficie de alimentación, esta constituido por cuatro subunidades denominadas según la toponimia del área que ocupan:

- 1) Sierra de Cabra - Lobatejo - Melladas - Camarena
- 2) Alcaide - Lastra - Abuchite
- 3) Bramadero - Zumacal - Montosa - Cangilones
- 4) Pelpitre - Palancar

Los niveles acuíferos corresponden a calizas y dolomías del Lías inferior y medio (Formación Gavilán) y calizas oolíticas del Dogger (Formación Camarena), respondiendo su estructura a un anticlinal de gran radio afectado por fallas importantes que lo compartimentan en bloques. Asimismo existen isleos tectónicos compuestos por materiales triásicos y calizas y dolomías liásicas de una unidad geológica cabalgante (unidad de Gaena). El acuífero esta bien individualizado en conjunto, existiendo posiblemente conexiones hidráulicas entre las distintas subunidades que lo constituyen. Localmente, se pueden tener espesores de acuífero cercanos a 1000 metros, si se considera el espesor conjunto de las calizas y dolomías de la Formación Gavilán y de las calizas oolíticas del Dogger en la unidad geológica Camarena-Lanchares, más el espesor de la Formación Gavilán de la unidad cabalgante (unidad de Gaena), que a veces descansa directamente sobre las formaciones anteriores por adelgazamiento tectónico de los materiales triásicos. Se trata de un acuífero esencialmente libre, salvo en sus sectores sur y oeste, donde aparece confinado bajo materiales del Trías o del Cretácico. El substrato corresponde a margas y margocalizas cretácicas en el sector septentrional y a materiales triásicos en el este y sudeste.

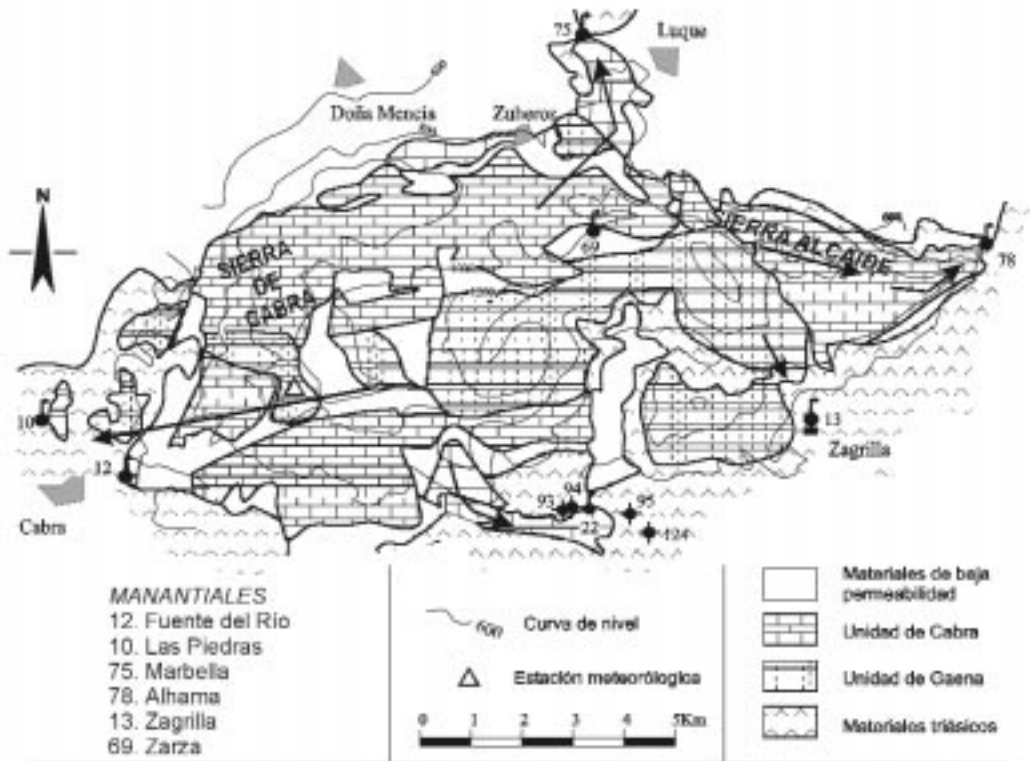


Figura 2.- Mapa hidrogeológico del sistema acuífero Cabra-Alcaide. Las flechas indican el sentido aproximado del flujo subterráneo.

La alimentación se produce casi exclusivamente a través de la infiltración directa de parte de agua de lluvia, existiendo también una pequeña infiltración indirecta desde el río Bailón. Las salidas naturales se efectúan a través de manantiales situados en la periferia del macizo kárstico, en sus cotas más bajas, aunque éstas varían entre 455 y 580 m s.n.m.. Existen también algunas surgencias repartidas en el interior del macizo situadas a cotas considerablemente más altas (en torno a 1000 m s.n.m.), de caudal bastante reducido. Estos manantiales constituyen el drenaje de afloramientos carbonatados aislados, correspondientes a una unidad geológica superpuesta tectónicamente. Una parte pequeña de los recursos hídricos del acuífero Cabra-Alcaide (menos del 1 %) drena por los sondeos surgentes situados al noroeste de Carcabuey (números 93, 94 y 95 en la Figura 2).

El contacto entre las dos grandes unidades hidrogeológicas Cabra-Alcaide y Gaena, esta última situada al sur, es un límite cerrado, no existiendo interconexión hídrica al sur de la carretera provincial Cabra-Priego.

La subunidad hidrogeológica Sierra Cabra-Lobatejo-Melladas-Camarena drena por los manantiales de la Fuente del Río (490 m s.n.m.) y Fuente de las Piedras (455 m s.n.m.). Estas cotas marcan aproximadamente la posición del nivel piezométrico en el sector occidental del sistema Cabra-Alcaide. Esta subunidad hidrogeológica muestra cierta heterogeneidad en el com-

portamiento hidrogeológico ya que el sector drenado por Fuente del Río tiene un comportamiento más característico de sistemas poco reguladores o poco inerciales. Sin embargo, Piedras refleja un comportamiento hidrodinámico con largos tiempos de respuesta y desfases respecto a las precipitaciones (Figura 3). El poder relativamente regulador de su cuenca hidrogeológica está relacionado, probablemente, con el alejamiento del área de recarga y con el carácter confinado del acuífero.

El manantial de Marbella drena el subsistema Bramadero-Zumacal-Montosa-Cangilonés, situado en el sector norte del macizo, el cual muestra un comportamiento hidrodinámico parecido al de la Fuente de las Piedras. Sin embargo, los desfases en los hidrogramas pueden ser explicados por la existencia de un drenaje diferido entre las distintas formaciones carbonatadas acuíferas (calizas y dolomías de la Formación Gavilán y calizas oolíticas de la formación Camarena), las cuales aparecen aquí parcialmente aisladas por niveles poco permeables (margas y margocalizas de la Formación Zegri). El nivel piezométrico regional en esta subunidad se sitúa alrededor de 470 m s.n.m. (sin grandes diferencias respecto al subsistema anterior), lo cual viene dado por la cota de surgencia del manantial de Marbella.

La subunidad hidrogeológica Alcaide-Lastra-Abuchite drena por los manantiales de Fuente Alhama (470 m s.n.m.) y Zagrilla (580 m s.n.m.). El comportamiento hidrogeológico de la zona saturada drenada por estos manantiales es bastante modulador, aunque ligeramente mayor en la parte de acuífero que drena hacia el manantial de Zagrilla.

El drenaje del subsistema Pelpitre-Palancar se efectúa naturalmente a través del manantial del Palancar. No obstante, al NO de Carcabuey existen varios sondeos de investigación llevados a cabo en los años 60 (Felgueroso y Coma, 1967) ubicados en un área de confinamiento del acuífero, los cuales son surgentes; pero están desprovistos de válvula de cierre y funcionan como auténticos manantiales. El nivel piezométrico se sitúa alrededor de 570 m s.n.m. (cota de la surgencia), relativamente más alto que en las demás subunidades del sistema acuífero Cabra-Alcaide. La descarga del manantial del Palancar es característica de sistemas hidrogeológicos con gran capacidad de regulación natural, con un agotamiento muy lento en relación al resto de surgencias. Lo mismo ocurre para la descarga a través de algunos de sondeos surgentes de la zona.

En el área interior y más alta del macizo de Cabra-Alcaide aparecen varias surgencias colgadas, generalmente de escaso caudal, que no responden al flujo regional del acuífero. El estudio del comportamiento hidrodinámico de una de las más significativas, la Fuente de la Zarza, muestra que sus respuestas hidrológicas a las lluvias son bastante rápidas, propias de un comportamiento hidrogeológico muy dinámico, poco o nada regulador, típico de acuíferos de pequeña extensión y reducida zona no saturada, o bien con un alto grado de karstificación y permeabilidad en su cuenca de alimentación.

Dentro del macizo Cabra-Alcaide, el río Bailón es el único curso superficial que se puede considerar permanente en algunos de sus tramos, el cual discurre aprovechando las áreas deprimidas del polje de la Nava. Sólo en época de lluvias continuadas e intensas fluye el río a la altura de la garganta situada junto a Zuheros, la cual constituye la salida de este cauce del macizo montañoso. Los aforos diferenciales mensuales, llevados a cabo entre octubre de 1995 y abril de 1997 en dos puntos del cauce de este río, muestran que, en los meses de estiaje o con escasas lluvias, éste alimenta al acuífero mediante pérdidas difusas y progresivas a lo largo del tramo comprendido entre el polje de la Nava y la garganta de Zuheros. Si bien, esta recarga indirecta

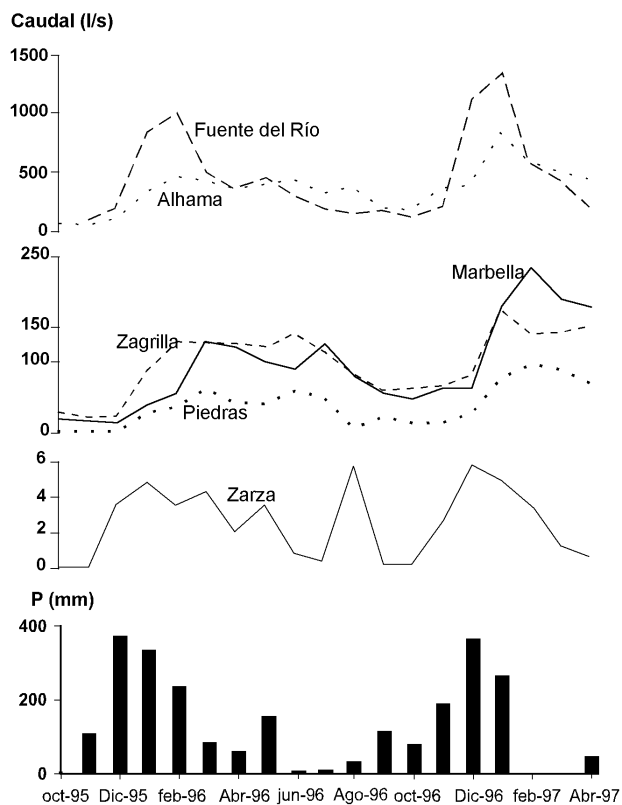


Figura 3.- Hidrogramas mensuales de los principales manantiales del sistema hidrogeológico Cabra-Alcaide para el periodo octubre-1995 a abril-1997.

(variable entre 10 y más de 120 l/s) es realmente un retorno de aguas de origen principalmente subterráneo, procedentes de los pequeños manantiales colgados que se localizan en las partes altas e interiores del macizo. Por regla general, el río Bailón se comporta como influente o perdedor; sólo en momentos de intensas precipitaciones pueden llegar a producirse ganancias por generación de escorrentía directa sobre materiales de baja permeabilidad que afloran en el interior del macizo.

Las precipitaciones medias anuales sobre el acuífero son de unos 890 mm. Los recursos medios anuales renovables se han estimado en 37 hm³/a (Bouamama, 2000). En este sistema independizado, las salidas igualan las entradas, estimándose: un valor medio de infiltración del 50 % de lluvia total; una escorrentía superficial del 2 % y un valor de la evapotranspiración real (ETR) del 48 %, todo ello respecto a la precipitación media anual antes referida.

El sistema Rute-Horconera

El sistema acuífero Rute-Horconera se extiende entre los pueblos de Priego de Córdoba y Rute. Presenta una superficie de alimentación de 45 km², siendo los materiales acuíferos las

dolomías y calizas dolomíticas del Lías inferior y medio (Formación Gavilán) con una potencia de más de 300 m en este sector. De acuerdo con las condiciones geológicas y la posición de los principales manantiales se puede establecer la siguiente subdivisión en tres subsistemas hidrogeológicos denominados según su posición geográfica:

- 1) Bermejo - Sierra de Rute - La Hoz
- 2) Loma de las Chozas
- 3) Tiñosa

El substrato impermeable corresponde, igual que para los demás acuíferos de la zona de estudio, a las formaciones del Triás, las cuales también constituyen su límite septentrional. En el resto de los bordes, el acuífero se encuentra rodeado de materiales margosos y margocalizos del Cretácico. La estructura general del sistema Rute-Horconera es una serie de pliegues agudos y fallados en sus flancos y a veces en las charnelas (Figura 4). El acuífero carbonatado es en gran parte libre, aunque existen sectores bajo condiciones de confinamiento como son los sectores N y NE, entre el pico Tiñosa y el núcleo urbano de Priego de Córdoba.

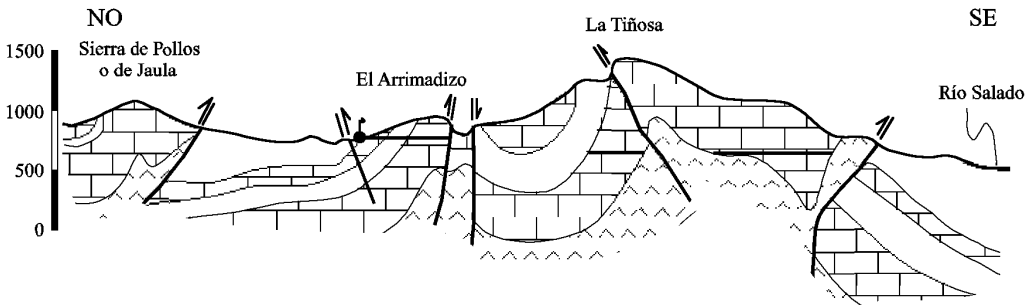


Figura 4.- Esquema hidrogeológico transversal de la Sierra de la Horconera.

La alimentación se produce fundamentalmente a partir de la infiltración de la lluvia y a partir de la infiltración indirecta del arroyo Herreras (arroyo Rigüelo en cabecera y río de la Hoz en el tramo bajo, antes de la confluencia con el río Genil). La descarga natural se produce a través de manantiales repartidos a lo largo del perímetro del macizo y del contacto de las calizas y dolomías con afloramientos de materiales impermeables.

El subsistema de la Tiñosa drena en su sector noreste por el manantial de la Salud - Fuente del Rey (Figura 5), situado a cota 660 m s.n.m., y por el manantial de la Milana (670 m s.n.m.). El nivel piezométrico regional debe encontrarse próximo a las cotas de las dos surgencias anteriores. Los bajos coeficientes de agotamiento que muestran ambas surgencias ($6 \cdot 10^{-3} \text{ d}^{-1}$ en la Salud y $5 \cdot 10^{-3} \text{ d}^{-1}$ en la Milana) ilustran sobre el gran poder regulador y la homogeneidad en la permeabilidad de este subsistema, cuya zona saturada se comporta con gran inercia desde el punto de vista hidrodinámico.

El conjunto de los manantiales del río de la Hoz (Hoz-1 y Hoz-2, situados a escasos 200 m de distancia) drena la subunidad hidrogeológica Bermejo - Sierra de Rute - La Hoz (Figura 6). Los niveles piezométricos están relacionados con las cotas de estas surgencias y oscilan entre 500 m s.n.m. (Hoz-1) y 470 m s.n.m. (Hoz-2). Entre julio de 1995 y junio de 1996, el nivel piezométrico en un sondeo situado a unos 100 m de Hoz-1 apenas osciló 4 m. Los valores calculados del coeficiente de agotamiento varían entre $0.02-0.006 \text{ d}^{-1}$ en Hoz-1 y 0.004 d^{-1} en Hoz-2.

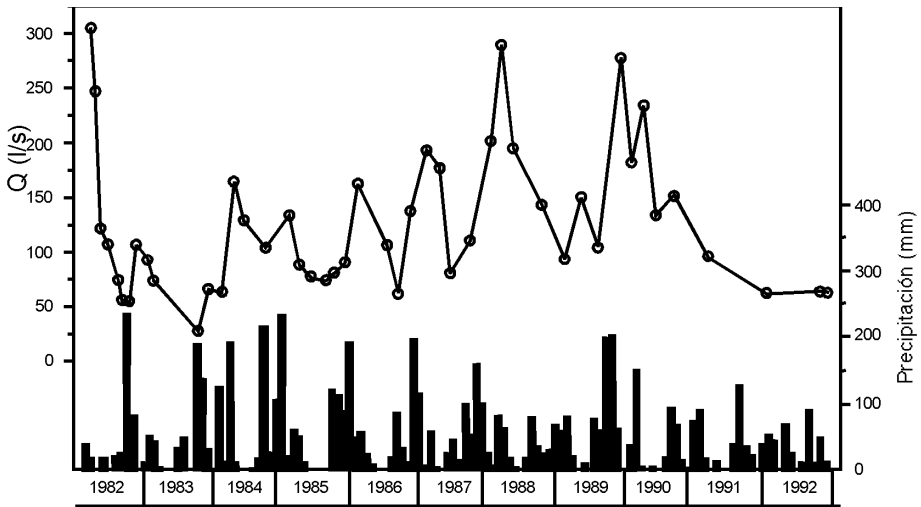


Figura 5.- Hidrograma del manantial de la Fuente del Rey, para el período 1982-1992, según datos suministrados por el IGME.

La porción de acuífero drenada por el primero de los manantiales muestra una pequeña capacidad de regulación natural, respondiendo al modelo conceptual de acuífero kárstico de elementos capacitivos y transmisivos, con gran desarrollo de conductos kársticos o drenes de flujo preferente; mientras que la parte drenada por Hoz-2 presenta un comportamiento hidrodinámico relativamente más inercial o de tipo difuso. Las pruebas de bombeos realizadas en los sondeos llevados a cabo por la Empresa Provincial de Aguas de Córdoba, junto al manantial Hoz-1, arrojaron un valor medio para la transmisividad de $595 \text{ m}^2/\text{d}$ y de 1.7% para el coeficiente de almacenamiento.

En el mes de junio de 1997 (Bouamama, 2000) se llevó a cabo un ensayo de trazado con un solución de LiCl, inyectándola en un pozo que captaba el aluvial del arroyo Rigüelo (afluente principal del río de la Hoz) junto a la entrada del mismo en el cañón de la Hoz, a 3 km al NE de los manantiales Hoz-1 y Hoz-2. En el primero de ellos se detectó el paso de trazador a las 13 h de la inyección, lo que indica velocidades reales de flujo altísimas, del orden de 231 m/h , mientras que en Hoz-2 no se detectó el trazador (al menos no para la frecuencia de muestreo seguida en este manantial). Aunque los resultados de este ensayo son poco extrapolables a las condiciones medias del acuífero, dado que se obtuvieron en un régimen afectado por las lluvias que cayeron esos días, sí se puede decir que en el área del cañón existe un dren o colector kárstico muy transmisible que imprime una gran vulnerabilidad a esta parte del acuífero frente a la contaminación.

El nivel piezométrico de la subunidad Loma de las Chozas se presenta bastante más alto que en los demás subsistemas del acuífero Rute-Horconera y viene definido por la cota de la surgencia del Arrimadizo (820 m s.n.m.); ésta constituye el punto de descarga principal y casi único del subsistema. En principio, no parece existir ninguna conexión hídrica entre este subsistema acuífero y la subunidad de la Tiñosa. Los coeficientes de agotamiento del Arrimadizo son rela-

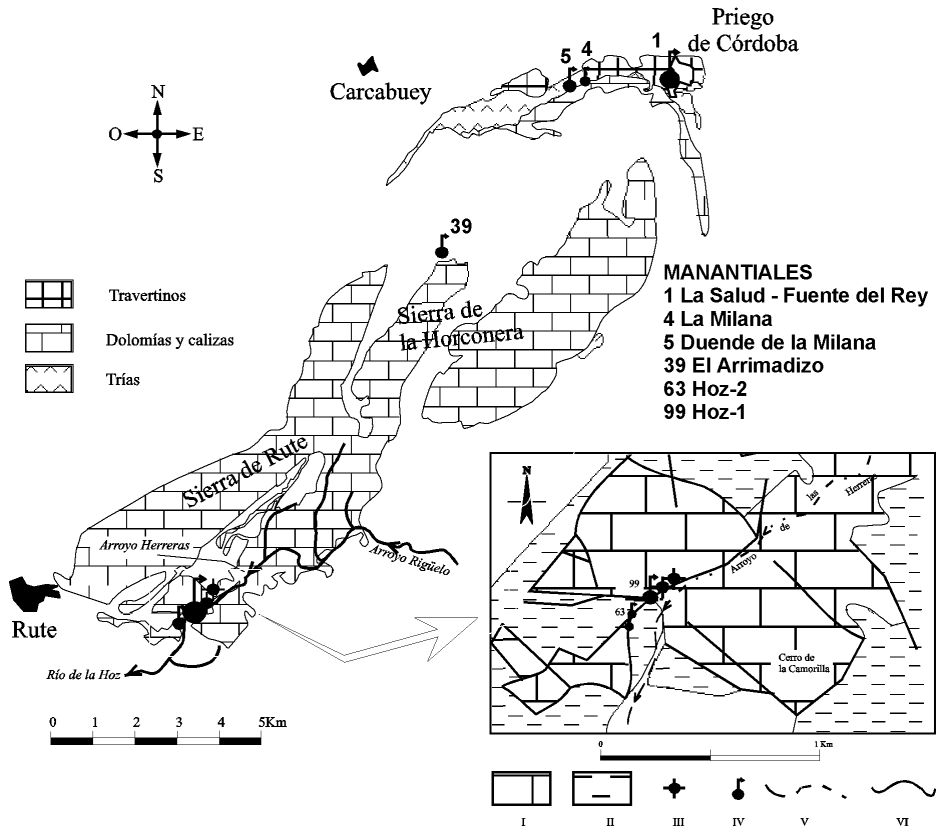


Figura 6.- Situación hidrogeológica del sistema acuífero Rute-Horconera y de sus principales manantiales, con detalle para los manantiales del río de la Hoz. I, calizas y dolomías liásicas; II, materiales de baja permeabilidad; III, sondeo; IV, manantial (tamaño proporcional al caudal); V, curso fluvial temporal; VI, curso fluvial permanente.

tivamente altos (0.024 y 0.033 d^{-1}), lo cual, junto con las grandes oscilaciones de caudal que muestra este manantial, hace suponer la existencia de un sistema de drenaje bien desarrollado, de escaso poder regulador.

El arroyo Herreras o río de la Hoz se comporta la mayor parte del tiempo como perdedor o infiltrante, alimentando de manera difusa al acuífero Rute-Horconera hasta con caudales del orden de 800 l/s en el tránsito estiaje-crecida. Esporádicamente, especialmente después de periodos de recarga más intensa, el curso fluvial es efluente o ganador por aportes subterráneos que ocurren cuando el nivel piezométrico asciende en el cañón de La Hoz hasta interceptar la superficie topográfica (Bouamama, 2000). Esta infiltración de aguas de escorrentía, poco mineralizadas y relativamente frías, drena principalmente por el manantial Hoz-1 (Bouamama y López Chicano, 2002), el cual registra, aparte de fuertes oscilaciones de caudal, amplias variaciones de la mineralización del agua y de la temperatura, al contrario de lo que ocurre en Hoz-2 (Figura 7).

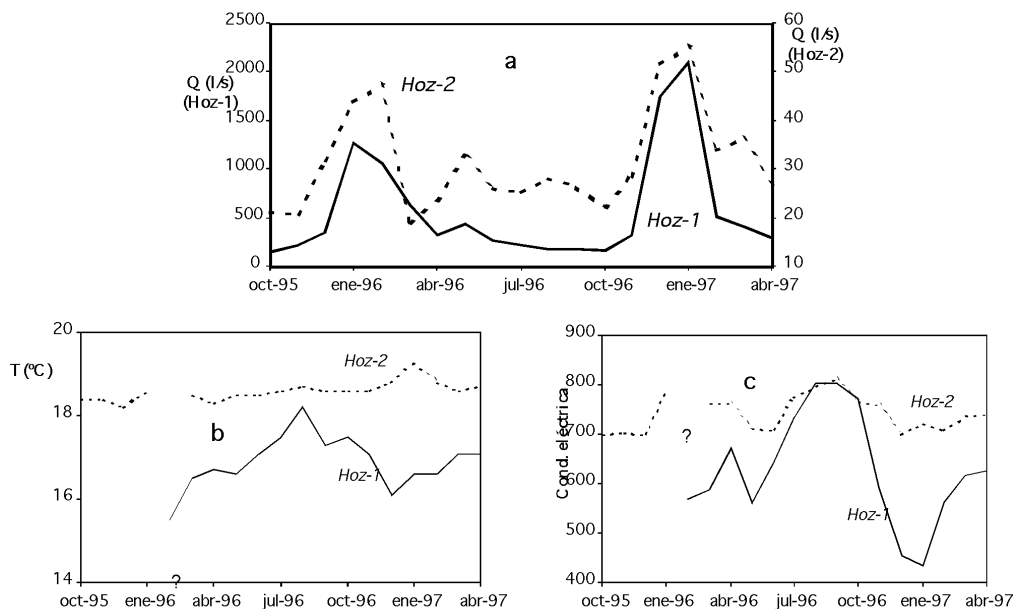


Figura 7.- Evolución mensual del caudal, temperatura y conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$ a $25\text{ }^\circ\text{C}$) del agua en los manantiales Hoz-1 y Hoz-2, durante el período octubre-1995 a abril-1997.

La superficie de recarga del acuífero Rute-Horconera recibe una precipitación media anual de 860 mm. Los recursos medios anuales renovables se estiman en unos 21 hm^3 , 3 de los cuales corresponden a la infiltración indirecta de aguas superficiales alóctonas que discurren por el arroyo Herreras y el cañón del río de la Hoz. Se ha calculado una infiltración media del 46 % respecto al total de la lluvia, y una ETR media del orden del 54 %. La escorrentía superficial autóctona en este acuífero es prácticamente nula a nivel medio mensual.

El sistema de Gaena

El sistema hidrogeológico de Gaena (15 km^2 superficie) está constituido por materiales calizos y dolomíticos del Lías inferior y medio (Formación Gavilán) con más de 300 m de potencia. Se subdivide en tres subunidades hidrogeológicas independizadas entre sí por barreras impermeables o divisorias hidrogeológicas:

- 1) Hoyones-Sierra de Gaena
- 2) Cerro de Jarcas
- 3) Palojo-Puerto Escaño

El substrato impermeable corresponde a materiales triásicos, los cuales también constituyen su límite septentrional. Los restantes límites están jalonados por potentes formaciones margosas postliásicas, cretácicas y terciarias. La estructura del sistema acuífero corresponde a la de un manto de corrimiento afectado por algunas fallas normales e inversas que favorecen la existencia de sectores confinados. Su alimentación procede de la infiltración de parte del agua de lluvia, mientras que las salidas naturales se efectúan a través de surgencias situadas a distintas cotas (Figura 8).

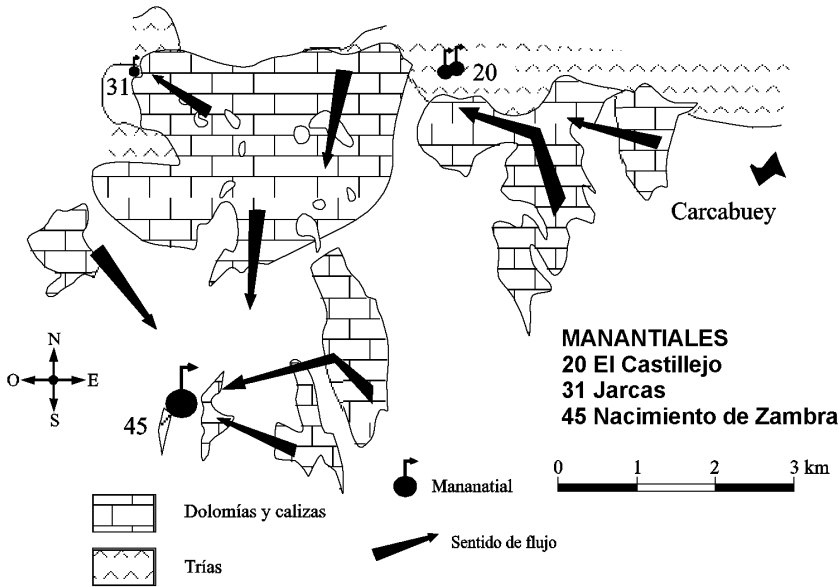


Figura 8.- Mapa hidrogeológico del sistema de Gaena.

El subsistema Hoyones-Sierra de Gaena drena por el Nacimiento de Zambra (Figura 9), situado a cota 500 m s.n.m. La mayor parte del área de alimentación se sitúa en la zona conocida como Los Hoyones, en alusión a la existencia de dolinas y otras depresiones kársticas muy espectaculares, donde la tasa de infiltración de la lluvia debe ser muy alta. El coeficiente de agotamiento de este manantial es relativamente alto (0.017 d^{-1}), lo cual parece ser característico de un comportamiento hidrodinámico poco inercial, propio de acuíferos con un elevado grado de karstificación o al menos con escaso poder regulador. No existe un único punto de descarga, sino que ésta es dispersa a lo largo de un borde de más de 200 m de longitud. Este manantial constituye el nacimiento del río Anzur, afluente del Genil por su margen derecha. Sus aguas se emplean en el abastecimiento de Lucena y de la localidad de Zambra, en regadío y también como agua mineral de mesa gracias a la concesión de 8 l/s a una planta embotelladora instalada en las inmediaciones del antiguo molino de harina.

El manantial de Jarcas constituye el punto de drenaje de la subunidad que hemos denominado Cerro de Jarcas, cuya cota es la más alta de todas las surgencias del acuífero de Gaena (720 m s.n.m.). Los desfases de las crecidas respecto a las precipitaciones están relacionados con desplazamientos de la divisoria hidrogeológica que separa el flujo hacia Jarcas y hacia Zambra, conforme aumenta el espesor saturado por infiltración.

La subunidad Palojo-Puerto Escaño drena prácticamente por un único manantial, el Castillejo, a 610 m s.n.m. de cota. El nivel piezométrico, como se observa, es relativamente más alto que el del subsistema Hoyones-Sierra de Gaena, lo cual no descarta la conexión hídrica entre ambas subunidades. El coeficiente de agotamiento del manantial del Castillejo es de $6.4 \cdot 10^{-3} \text{ d}^{-1}$, relativamente bajo, indicando un comportamiento hidrodinámico muy modulador o poco kárstico.

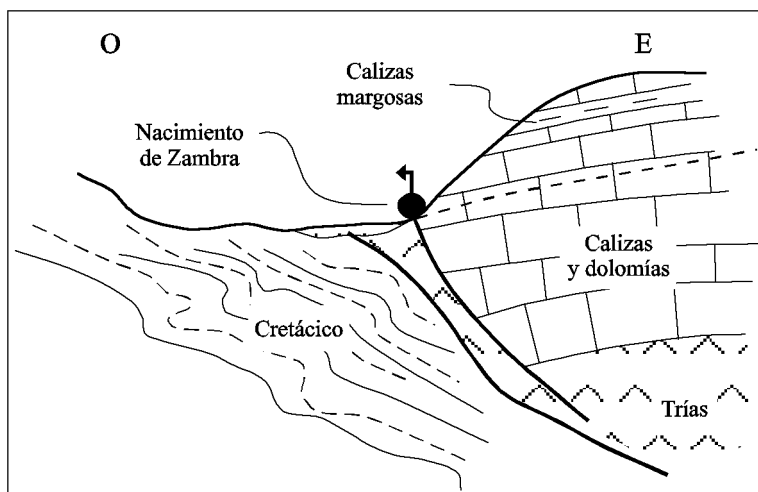


Figura 9.- Esquema ilustrativo de la situación hidrogeológica del Nacimiento de Zambra.

El sistema hidrogeológico de Gaena recibe una precipitación media anual de 929 mm. Los recursos renovables medios anuales se estiman en 9 hm³/a, correspondiendo a una tasa de infiltración media bastante alta (64 % de la lluvia). La escorrentía superficial y la recarga indirecta son prácticamente nulas y se estima una ETR media del 36 % de la lluvia anual.

ASPECTOS HIDROGEOQUÍMICOS GENERALES

La Tabla 2 y el diagrama de Piper representado en la Figura 10 muestran las principales características hidroquímicas de las aguas subterráneas de las Sierras Subbéticas de Córdoba. Se trata de muestreos en manantiales (todos ellos localizados en la Figura 1) llevados a cabo sistemáticamente a finales de marzo y comienzos de abril de 1996. Hay que tener en cuenta que el periodo de muestreo coincidió (intencionadamente) con una época de crecida de los manantiales, debida a la intensa recarga pluviométrica de los meses previos; no obstante, las conclusiones que se obtienen sobre el comportamiento hidrogeoquímico general de los acuíferos son similares a las obtenidas en otro muestreo realizado en época de estiaje.

	Intervalos de Conductividad Eléctrica	300-400	400-500	500-600	600-700	700-900	1000-2500
	Nº de muestras	8	19	25	14	12	14
Ca	Rango	45-61	46-100	50-111	82-131	74-142	114-455
	Media	53	75	79	112	104	232
	CV	13	21	23	28	31	49
Mg	Rango	8-17	2-30	2-34	4-23	5-48	15-100
	Media	11	11	17	11	24	46
	CV	29	66	59	118	107	57
Na	Rango	1-3	2-9	2-20	4-19	9-41	5-255
	Media	2	3	7	9	22	52
	CV	22	44	65	144	144	433
K	Rango	0-0,7	0-1,4	0-10	0-2,8	0,1-1,5	0-51
	Media	0	0	1	1	1	6
	CV	131	126	265	-----	-----	-----
NO ₃	Rango	9-18	6-59	6-100	12-77	12-137	7-191
	Media	13	17	38	41	47	56
	CV	27	85	69	50	66	100
HCO ₃	Rango	153-214	175-320	183-366	244-374	221-351	183-351
	Media	187	252	269	323	294	276
	CV	10	15	17	29	32	29
Cl	Rango	5-9	5-14	7-27	9-36	18-69	11-479
	Media	7	9	13	18	36	98
	CV	13	26	43	51	47	111
SO ₄	Rango	7-42	4-63	11-100	12-110	41-155	244-1324
	Media	15	20	39	43	91	533
	CV	71	82	65	56	44	66

Tabla 2.- Valores medios y rangos de variación (CV = coeficiente de variación expresado en %) de las concentraciones (mg/l) en iones mayoritarios en los manantiales del área de estudio, clasificados por intervalos de conductividad eléctrica del agua ($\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25 °C). Según un muestreo realizado en marzo de 1996 (Bouamama, 2000).

Se observa un claro predominio de la facies Ca-HCO₃ (34 muestras o 36 % del total de muestras), consecuencia de una disolución preferente de calcita, con tasas bastante mayores respecto a la de dolomita. Es frecuente encontrar escasos contenidos en magnesio en las aguas recolectadas en surgencias que drenan formaciones acuíferas o acuitardas de importancia hidrogeológica secundaria: calizas nodulosas, calizas tableadas con sílex y calizas margosas; en las cuales la presencia de dolomita es poco relevante o inexistente (ejemplo de los puntos número 35, 36, 37, 38, 42, 70 y 110). Esta característica se da también, de forma esporádica, en algunas surgencias colgadas o epikársticas localizadas en materiales calizo-dolomíticos de la Formación Gavilán, las cuales son alimentadas por flujos muy rápidos y someros, como es el caso de la Fuente de la Zarza, en la Sierra de Cabra-Alcaide (nº 69 en las Figuras 1 y 2).

Existen también 25 muestras (27 % del total) de facies Ca-Mg-HCO₃. Los procesos hidrogeoquímicos responsables de esta facies, la segunda más frecuente en el área de estudio, corres-

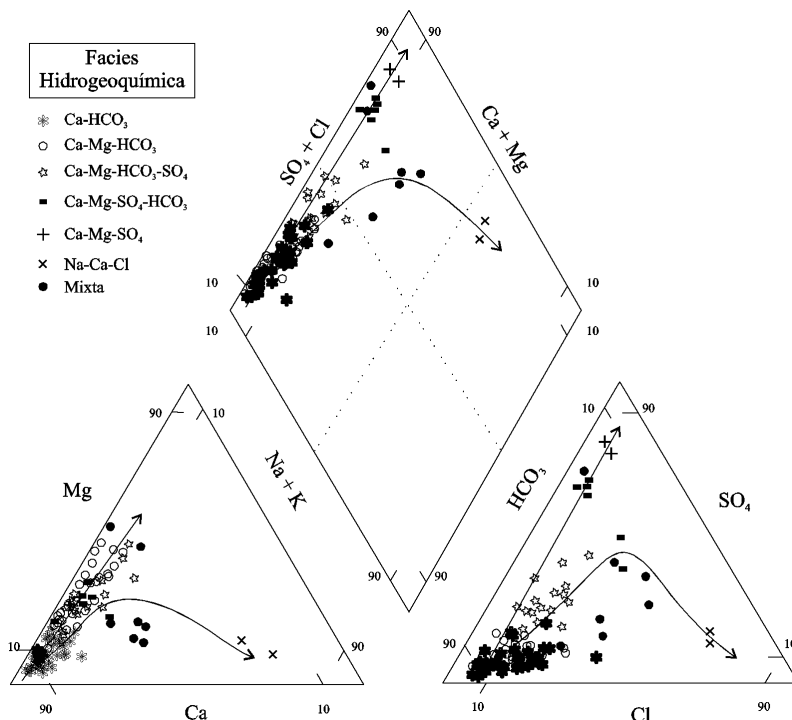


Figura 10.- Representación en diagrama de Piper de las aguas muestreadas en la zona de estudio. Las flechas indican la evolución espacial y las tendencias de cambio en la química de las aguas subterráneas.

ponden a la disolución de las calizas y dolomías que conforman los principales materiales acuíferos presentes en el área de estudio (Formación Gavilán). El enriquecimiento en sulfato de las aguas de tipo Ca-Mg-HCO₃ produce un cambio progresivo de la facies química hacia aguas Ca-Mg-SO₄-HCO₃ (16 muestras o 17 % respecto al total) y Ca-Mg-HCO₃-SO₄ (6 muestras), asistiendo a un relevo del ion bicarbonato por el sulfato. Las facies hidroquímicas sulfatadas y cloruradas son bastante raras; no obstante existen en el área de estudio, encontrando dos manantiales con aguas claramente Ca-Mg-SO₄ y otros dos con aguas Ca-Na-Cl. Esta tendencia evolutiva espacial, posiblemente encuentra su explicación en la influencia de las masas de yeso y halita que se encuentran entre los materiales del Triás.

Se puede mencionar también la existencia de otras facies hidroquímicas particulares halladas en diferentes puntos acuíferos: n° 10 de facies Ca-Mg-Na-HCO₃-Cl; n° 52 de facies Ca-Na-SO₄-Cl-HCO₃; n° 75 con una facies Ca-Na-Mg-HCO₃-Cl-SO₄.

La existencia de un substrato triásico detrítico-evaporítico rico en yesos y, en menor medi-

da, en halita, influye indudablemente sobre la química general de las aguas drenadas por las distintas surgencias. Puesto que los materiales triásicos se encuentran ocupando frecuentemente las áreas más deprimidas topográficamente, o subordinados estratigráfica y tectónicamente a otras formaciones de carácter kárstico carbonatado, las surgencias que más acusan su influencia suelen ser las de cota más baja, aunque hay excepciones. Así, muchas de estas surgencias, y, por supuesto, las que emergen de niveles acuíferos o acuitados de edad Triásico, suelen mostrar una facies hidroquímica Ca-Mg-SO₄ o Ca-Na-Cl.

En las aguas con pequeñas concentraciones en sulfatos los procesos hidrogeoquímicos más influyentes son la disolución de calcita y dolomita responsables de la facies Ca-HCO₃ y Ca-Mg-HCO₃, respectivamente. El incremento de los contenidos en magnesio en las muestras correspondientes al subgrupo de aguas Ca-Mg-HCO₃ es en parte resultado de la mayor tasa de disolución de dolomita, debido a tiempos más largos de tránsito y mayor tiempo de contacto agua-roca.

Otro fenómeno hidrogeoquímico de importancia esencial para comprender la hidroquímica del área de estudio, es la dedolomitización. La disolución del yeso del substrato detrítico-evaporítico triásico provoca la disolución de dolomita de la roca acuífera y una tendencia hacia la precipitación de calcita. El incremento de la concentración del Ca de las aguas subterráneas, por disolución del yeso, provoca la precipitación de la calcita; al precipitar ésta, la concentración en CO₃²⁻ y HCO₃⁻ disueltos en el agua disminuye, lo que da lugar a la disolución de la dolomita y al aumento del contenido en Mg del agua.

El Cl y el Na tienen su origen en la disolución a partir de masas más o menos voluminosas de halita que se encuentran dispersas en el mismo substrato triásico. El relativo enriquecimiento, que a veces se observa en sodio puede ser debido a fenómenos de intercambio iónico con el Ca. Lo mismo se puede decir para defectos de Na frente al ion Cl.

Los contenidos en nitrato son bastante altos en muchos de los manantiales de la región. Más del 30 % de las surgencias registran concentraciones superiores a 40 mg/l, como consecuencia de la existencia de claros procesos de contaminación por actividades agrícolas, especialmente las ganaderas que se desarrollan justo encima de los afloramientos carbonatados, pero también por el uso de fertilizantes en el olivar, y, en menor medida, por vertidos o fugas de aguas residuales urbanas o la existencia de pozos negros. Estos problemas afectan sobre todo a manantiales de escaso caudal donde los procesos de dilución y dispersión están muy limitados.

BIBLIOGRAFÍA

- ANASS, 1992. La peor descalcificadora es el agua del Arrimadizo. *Adarve*, 389-390, 31-33.
- Bouamama, M. 2000. Aportación de la hidrogeoquímica al conocimiento de los sistemas hidrogeológicos kársticos del sur de Córdoba (Parque Natural de las Sierras Subbéticas). Tesis Doctoral Universidad de Granada, Granada, 308 p. Inédito.
- Bouamama, M. y López Chicano, M. 2002 a. Hydrogeochemical characterisation and classification of karstic springs in high waters. The case of Sierras Subbéticas aquifer (south of Cordoba, Spain). En: *Contributions to the Geology of Belgium and Northwest Europe*. Leuven University Press, Aardkundige Mededelingen, 12, Leuven, 219-222.
- Bouamama, M. y López-Chicano, M. 2002 b. Procesos de mezcla de aguas en los manantiales kársticos del Río de la Hoz (Rute, Córdoba). En Carrasco, F., Durán, J.J. y Andreo (eds.) *Karst and Environment*. Fundación Cueva de Nerja, Málaga, 227-235.
- Bouamama, M., López Chicano, M. y Pulido Bosch, A. 1996. Comportamiento hidrogeoquímico estacio-

- nal de los principales manantiales kársticos del Sur de Córdoba (Parque Natural de las Sierras Subbéticas). IV Simpio sobre el Agua en Andalucía, Almería, 2, 37-47.
- Carandell, J. 1922. Notas acerca de una excursión geográfica a Priego de Córdoba y sus alrededores. Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural, 22, 72-81.
- Carandell, J. 1927. Nota acerca de la tectónica de la Sierra de Cabra. Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural, 27, 399-411.
- Castillo, A.; Carmona, J.; Medina, J. M. y Molina, J. M. 1984. Estudio de un sistema acuífero carbonatado situado al noreste de Priego de Córdoba (Subbético medio, Cordilleras Béticas). I Congreso Español de Geología, Segovia, 99-108.
- Castillo, E. y Padilla, A. 1993. Regulation possibilities for The La Hoz karstic spring. In Pulido-Bosch, A. (ed.) Some Spanish karstic aquifers. Universidad de Granada, Granada, 19-36.
- DGOH 1995 a. Normas de explotación de las unidades hidrogeológicas con afección a embalses de regulación y fuentes de abastecimiento a poblaciones de la Cuenca del Guadalquivir. Unidad hidrogeológica 05.35 Sierra de Cabra-Gaena. Informe técnico inédito.
- DGOH 1995 b. Normas de explotación de las unidades hidrogeológicas con afección a embalses de regulación y fuentes de abastecimiento a poblaciones de la Cuenca del Guadalquivir. Unidad hidrogeológica 05.36 Rute-Horconera. Informe técnico inédito.
- Diputación de Córdoba 2000. El abastecimiento de agua en los municipios cordobeses: Análisis de la problemática y propuesta de solución Documento resumen). Informe técnico inédito.
- Felgueroso, C. y Coma, J.E. 1967. Estudio hidrogeológico de la parte más meridional de la provincia de Córdoba. Area situada en las hojas de Lucena, Puente Genil, Baena y Montilla. Boletín Geológico y Minero, 78, 49-91.
- IARA 1987. Estudio hidrogeológico de la comarca de ordenación de explotaciones del sureste de Córdoba. Informe técnico inédito.
- IGME 1982-83. Proyecto de investigación hidrogeológica infraestructural de los sistemas acuíferos 30 y 31. Cuenca alta del Guadalquivir. Informe técnico inédito.
- ITGE 1993 a. Propuesta de normas de explotación de las unidades hidrogeológicas con afección a embalses de regulación y fuentes de abastecimiento a poblaciones de la cuenca del Guadalquivir. Unidad hidrogeológica 05.35 Sierras de Cabra-Gaena. Informe técnico inédito.
- ITGE 1993 b. Propuesta de normas de explotación de las unidades hidrogeológicas con afección a embalses de regulación y fuentes de abastecimiento a poblaciones de la cuenca del Guadalquivir. Unidad hidrogeológica 05.36 Rute-Horconera. Informe técnico inédito.
- ITGE 1995. Obtención de datos complementarios de los manantiales de la Hoz para su potencial regulación. Unidad Rute-Horconera. Investigación hidrogeológica para la mejora y actualización de los datos básicos de la Cuenca Alta del Guadalquivir 1ª fase. Informe técnico inédito.
- INGEMISA 1988. Estudio previo sobre las posibilidades de regulación del manantial de La Hoz. Informe técnico para el Consorcio de Aguas del Sur de Córdoba, Granada, Informe técnico inédito.
- INGEMISA 1992. Estudio geológico e hidrogeológico del manantial de Zambra. Informe técnico para la empresa embotelladora "Aguas del Nacimiento de Zambra", Córdoba, inédito, 22 pp. Informe técnico inédito.
- López Chicano, M., Bouamama, M., Vallejos, A. y Pulido Bosch, A. 2001. Factors wich determine the hydrogeochemical behaviour of karstic springs. A case study from the Betic Cordilleras, Spain. Applied Geochemistry, 16 (9-10), 1179-1192.
- López Vera, F. y Saiz García-Cuena, J. 1975. Cálculo de la infiltración eficaz en materiales carstificados. Aplicación al macizo Cárstico de Cabra (Córdoba). Tecniterrae, 5, 32-41.
- Mantecón, R. 1998. Acuíferos de las Sierras Subbéticas de Córdoba. En ITGE-Junta de Andalucía (eds.), Atlas hidrogeológico de Andalucía. ITGE-Junta de Andalucía, Madrid, 106-108.
- Pezzi, M.C. 1977. Morfología kárstica del sector central de la Cordillera Subbética. Tesis Doctoral Universidad de Granada, Cuadernos Geográficos de la Universidad de Granada, s.m.-2, 289 pp.

- Pulido Bosch, A. y López Chicano, M. 1993. Estudio hidrogeológico de la Fuente del Rey (manantial de la Salud) y su entorno (Priego de Córdoba). Informe técnico para el Excmo. Ayuntamiento de Priego de Córdoba. Granada, Inédito, 137 p.
- Pulido Bosch, A., López Chicano, M. y Bouamama, M. 1996. Condiciones hidrogeológicas y explotación de los recursos hídricos en el entorno de Priego de Córdoba. Recursos Hídricos en Regiones Kársticas, Vitoria, comunicaciones, 23-34.
- Pulido Bosch, A. López Chicano, M. Pulido Bosch, M. y Bouamama, M. 1995. Problemática general de los parques naturales en áreas kársticas en Andalucía. Ejemplo del Parque Natural de las sierras Subbéticas (Provincia de Córdoba), Inédito, 55 p.
- Rolandi, M. Rubio, J. C. y Perandres, G. 1988. Contribución al conocimiento hidrogeológico de las unidades carbonatadas subbéticas del sector meridional de la provincia de Córdoba. Sierras de Rute-Horconera, Gaena y Cabra-Alcaide. II Congreso Geológico de España, Granada, comunicaciones, 2, 429-432.
- Rubio, J.C. y del Valle, M. 1987. Actualización de balances en los acuíferos de las provincias de Granada y Jaén. Hidrogeología y Recursos Hidráulicos, Palma de Mallorca, 11, 669-683.