

## CONSIDERACIONES SOBRE LA HIDROGEOLOGIA DE LA CUENCA DEL RIO ALMANZORA (SE PENINSULAR)

A. Vallejos Izquierdo \*, A. Pulido Bosch \* y A. Castillo Martín \*

### RESUMEN

Se analizan las características hidrogeológicas de los distintos sistemas acuíferos presentes en la cuenca del río Almanzora, de gran importancia por su posición estratégica en una región con recursos muy limitados, dadas las adversas condiciones climáticas a las que está sometida. Se establece una subdivisión en base a sus características litológicas, estructurales y piezométricas. Se analizan las características geométricas de las diferentes unidades, los principales puntos de agua relacionados con las mismas, su evolución piezométrica y la evaluación de los recursos. También se exponen las características fisicoquímicas de las aguas estudiadas.

**Palabras clave:** *Cordilleras Béticas, hidrogeología, recursos hídricos, hidroquímica.*

### ABSTRACT

The hydrogeological characteristics of the aquifer systems existing in the Almanzora River basin are analyzed. Those aquifers are very important due to the climatological conditions—semiarid region—where water is a basic resource. The systems are identified from the lithological, structural and piezometrical characteristics. The geometrical characteristics, the number of wells and springs, the piezometric evolution and the resources evaluation are established in each hydrogeological unit. Finally, the physical-chemical characteristics of the water are also studied.

**Key words:** *Betic Range, hydrogeology, water resources, hydrogeochemistry.*

### Introducción

La región estudiada, con una superficie aproximada de unos 2.650 km<sup>2</sup>, ocupa la parte septentrional de la provincia de Almería (fig. 1). Los límites aproximados del área son: al Sur, la sierra de los Filabres; al Norte, la sierra de las Estancias; al Oeste, la depresión de Baza; y al Este, la vertiente occidental de sierra Almagrera y el mar Mediterráneo. Es ésta una región accidentada, con dos alineaciones orográficas importantes de dirección aproximada E-W, que corresponden a las sierras de los Filabres y de las Estancias. Enclavado entre ambas queda el valle del río Almanzora. Las mayores elevaciones se localizan en Calar Alto (2.168 m) y en El Saliente (1.501 m).

Desde el punto de vista hidrográfico, el río Almanzora es uno de los ríos de mayor pendiente media de la península. Desde su cabecera hasta Santa Bárbara la trayectoria es casi rectilínea. La red está formada por cauces o cursos que normalmente no presentan escorrentía debido a la aridez del clima. Las galerías excavadas en el aluvial y el cuantioso drenaje que producen, provoca que durante el estiaje sean las galerías las que actúen como cauce dejando el río seco, mientras que en invierno el caudal se divide entre el cauce superficial y las galerías. Es de destacar la existencia de reducidos períodos de tiempo en el que se concentran las precipitaciones. Entre las causas de estas esporádicas y súbitas avenidas que caracterizan la hidrología del país semiárido destacan (Carulla, 1978):

\* G.I. Recursos Hídricos y Geología Ambiental. Departamento de Geodinámica e IAGM. Universidad de Granada-CSIC. Facultad de Ciencias. 18071 Granada.

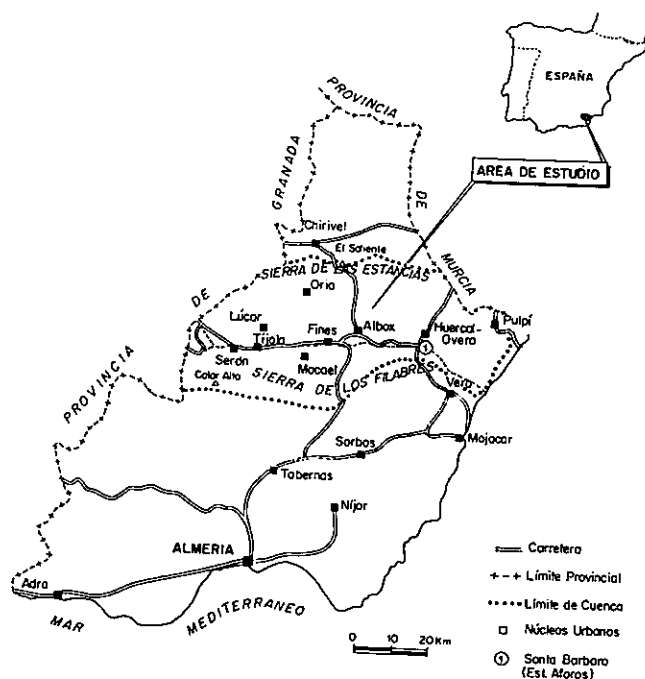


Fig. 1.—Localización geográfica del área de estudio.

— La falta de una cobertura vegetal desarrollada y el abandono de muchas áreas antaño cultivadas.

— El tipo de materiales aflorantes en la mayoría de la cuenca que, junto con unas pendientes medias muy altas, poseen un coeficiente de retención de agua muy bajo.

— Y sobre todo, el irregular régimen pluviométrico presente, en donde en algunas horas pueden precipitar cantidades equivalentes a un tercio o la cuarta parte del módulo pluviométrico anual.

Merece especial atención el caudal máximo instantáneo de 5.600 m<sup>3</sup>/s registrado en la estación de Santa Bárbara, correspondiente a la avenida de octubre de 1973. Otra característica del régimen hídrico presente es que, debido a todas las características anteriormente expuestas, en el caso de presentarse una avenida, la energía de arrastre y transporte de ella suele ser muy considerable. Este era uno de los inconvenientes técnicos que se tenían en cuenta para la construcción de la presa del río Almanzora, antes de su entrada en la depresión de Vera. Se trata de un embalse con capacidad de 168 hm<sup>3</sup>, que comenzó a funcionar en 1989.

La población de hecho total del sector se ha estimado, para el año 1986, en 73.000 habitantes (datos del censo del Instituto Nacional de Estadística), lo que equivale a una densidad aproximada de 30 hab/km<sup>2</sup>. Los municipios con más de 5.000 habitan-

tes son Huércal Overa (12.543), Albox (10.214), Cuevas de Almanzora (8.741) y Macael (5.544). Se trata de una población eminentemente rural. La actividad principal es la agricultura. En cuanto a la industria, es importante la actividad en la zona del mármol de Macael: en menor medida, se ha desarrollado la ganadería (cabrío y lanar), construcción y derivados, etc.

En lo relativo a los principales rasgos climáticos, se deduce, a partir del análisis de las precipitaciones durante el período 1963/64-1987/88 en 34 estaciones seleccionadas, que la precipitación anual media varía, de unos puntos a otros del área, entre 180 mm (estación Huércal Overa-Puerto Lumbreras) y 407 mm (estación Benitaglá), con un valor medio de 285 mm. La magnitud absoluta de las precipitaciones se incrementa gradualmente desde la costa hacia el interior, y desde las zonas topográficamente bajas hacia los principales relieves (fig. 2). La distribución pluviométrica intraanual se caracteriza por la presencia de un máximo absoluto en el mes de octubre, dos máximos relativos en los meses de noviembre y abril y precipitaciones muy escasas en julio y agosto. En los ocho primeros meses del año hidrológico tiene lugar el 86 % de la precipitación media anual, mientras que entre junio y septiembre sólo se registra el 14 % restante.

La temperatura media del área, obtenida durante el período 1963/64-1987/88 para un total de 12 estaciones termométricas, es de 16,6 °C. La temperatura media del mes más frío (enero) varía entre 4,8 y 13,2 °C, y la del mes más cálido (agosto) entre 22,9 y 27,1 °C. La evapotranspiración potencial media anual, obtenida por el método de Thornthwaite (1948) es de 850 mm. Dado que la pluviometría anual media calculada es de 285 mm, resulta que tan sólo se dispone como máximo de un 33,5 % de la cantidad de agua necesaria para satisfacer las necesidades hídricas de la ETP. Los valores de ETR quedan comprendidos entre 158 y 260 mm para una reserva útil de 10 mm, y entre 184 y 262 mm para una reserva de 50 mm, lo que supone un porcentaje variable entre el 50 y el 100 % de la precipitación anual en las diversas estaciones consideradas.

### Ambito geológico

Este sector se encuentra enclavado en la Zona Bética (s. str.) de las Cordilleras Béticas. La estructura de esta zona es el resultado de una serie de cabalgamientos (Brouwer y Zeijlmáns Van Emmichoven, 1924; Brouwer, 1926) que han dado lugar a estructuras de tipo alpino. Las unidades tectónicas de la Zona Bética son normalmente agrupadas en tres conjuntos o complejos, los cuales, en orden ascendente,



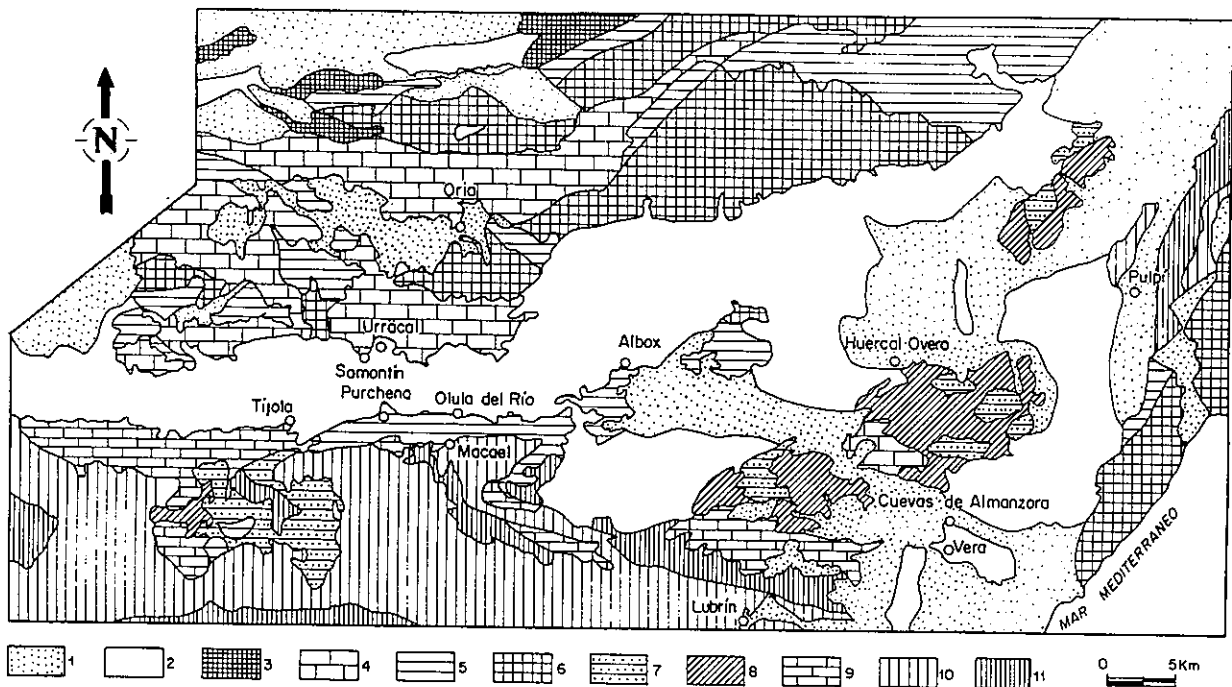


Fig. 3.—Síntesis geológica. (1) Cuaternario. (2) Neógeno. (3) Maláguide. Complejo Alpujárride: (4) Calizas y dolomías. (5) Filitas, cuarcitas y rocas carbonatadas. (6) Cuarcitas, filitas y esquistos. Complejo Ballabona-Cucharón: (7) Rocas carbonatadas. (8) Esquistos, cuarcitas y filitas. Complejo Nevado-filábride: (9) Rocas carbonatadas. (10) Micasquistos con albita y cuarcitas. (11) Micasquistos grafitosos, cuarcitas...

Los afloramientos de complejo Maláguide en el área de estudio son muy pequeños. Se distinguen dos conjuntos de materiales (Herbig, 1983; Mäkel, 1985). En la base aparece una formación constituida fundamentalmente por grauwacas en la que se intercalan rocas carbonatadas con componentes arenosos. La cobertera está formada por arcillas y pizarras de color rojizo, con intercalaciones de cuarcitas y también de conglomerados. En la parte superior aparecen rocas carbonatadas.

#### Depósitos post-mantos

Ocupan una gran extensión. Los materiales detríticos presentan un neto predominio. La amplia franja del valle del Almanzora es una comunicación entre la depresión de Guadix-Baza al Oeste, y el mar abierto al Este. Dentro de los trabajos existentes sobre estos materiales son de interés los de Vera *et al.* (1991) en la depresión de Guadix-Baza, Barragán (1987) en la cuenca de Vera, Guerra-Merchán (1992) en el valle del río Almanzora, Briend *et al.* (1990) en la cuenca de Huércal Overa y Aellen de la Chapelle (1990) en el corredor de Pulpí.

Dentro del Neógeno aparecen, de abajo hacia arri-

ba, formaciones litológicas de conglomerados, que constituyen la formación de borde de las sierras de los Filabres y Estancias, de arenas y lutitas grises, que afloran en todo el borde de la sierra de las Estancias y se sitúa discordantemente sobre la formación conglomerática, de microconglomerados y areniscas bioclásticas discordantes sobre la formación anterior y en último lugar, formación de margas y margocalizas con intercalaciones de areniscas.

Sobre dichas formaciones aparecen en discordancia erosiva y angular pequeños afloramientos pliocuaternarios, formados por conglomerados y arenas con matriz arcillo-arenosa. Como depósitos cuaternarios se diferencian piedemontes, derrubios de ladera, depósitos aluviales. Superficies de glacis formadas por conglomerados y arcillas cubren la cuenca neógena extendiéndose hasta las estribaciones de la sierra de las Estancias.

#### Tectónica

Las siguientes consideraciones están generalmente basadas en los estudios de Brouwer y Zeylmans Van Emmichoven (1924), y de Egeler y Simons (1969). Como ya se ha comentado se distinguen cuatro com-

plejos tectónicos mayores: Nevado-filábride, Ballabona-Cucharón, Alpujárride y Maláguide, encuadrados dentro de una estructura de mantos de corrimiento. Los criterios de diferenciación están basados fundamentalmente en las diferencias del metamorfismo.

Respecto a la relación entre el Nevado-filábride y el Ballabona-Cucharón, es evidente que existe una superposición tectónica del segundo sobre el primero. Se trata de un cabalgamiento, en general, subparalelo a la esquistosidad principal de la zona. Igual relación existe entre el Nevado-filábride y el Alpujárride. El contacto entre el Ballabona-Cucharón y Alpujárride es, asimismo, mecánico. El complejo Nevado-filábride se dispone en la sierra de los Filabres con una estructura de gran pliegue de fondo de dirección aproximada E-W, constituyendo un gran anticlinal. En el complejo Alpujárride se han diferenciado dos mantos (superior e inferior); aparece en las estribaciones de la sierra de los Filabres, para formar el substrato de la cuenca neógena del Almanzora y reaparece formando la sierra de las Estancias, con fallas inversas asociadas a esta última. El complejo Maláguide aparece en unos pocos retazos, de forma prácticamente no representable.

Recubriendo las cubetas están los materiales terciarios y cuaternarios. Presentan formas sinclinales con disposición paralela a las estructuras principales que las albergan. Los materiales anteterciarios fueron afectados por la orogenia alpina, que originó preferentemente grandes alineaciones estructurales de dirección E-W y NE-SW, estructuras en mantos de cabalgamiento y compartimentación en bloques por fallas normales, según direcciones preferentes. Los sedimentos terciarios soportaron los pequeños movimientos post-alpinos, hasta llegar a la actual morfología regional. Estos sedimentos se encuentran plegados. Los niveles pliocuaternarios presentan, asimismo, fuertes buzamientos.

### Ambito hidrogeológico

#### *Rasgos generales*

De acuerdo con la cartografía hidrogeológica (Vallejos, 1991), realizada a partir de la base geológica recogida en los diferentes MAGNAS que cubren el área de estudio, se consideran como principales acuíferos:

— Calizas marmóreas y mármoles del complejo Nevado-filábride, situadas sobre los esquistos paleozoicos que le sirven de base impermeable. Constituyen generalmente un acuífero libre y forman alineaciones (Macaél, Cóbdar y Alcóntar) de potencia variable, recargadas directamente por la lluvia y por las

aportaciones superficiales de los esquistos de su propio complejo, en las áreas de contacto con los mismos. Se descargan principalmente por manantiales y galerías, situados en las cotas más bajas de los afloramientos.

— Dolomías y calizas del complejo Alpujárride: constituyen el acuífero más importante de la cuenca, debido a su extensión y potencia. Los Llanos de Oria individualizan de forma hidrogeológica las sierras de Lúcar y Partalao, entre otras, de las sierras de Oria y del Saliente, ya que debajo del cuaternario de los Llanos, subyacen los esquistos paleozoicos. La base impermeable del acuífero dolomítico son las filitas. Normalmente, este acuífero no tiene continuidad hidráulica en todos los afloramientos motivado por la aparición de un substrato impermeable subaflorante.

— Arenas y conglomerados pliocuaternarios de matriz areno-arcillosa, en los que se intercalan arcillas arenosas y margosas. Estos materiales son los que rellenan las cubetas del Saltador, Pulpí y Overa; pueden tener comportamiento acuitado allí donde predomina la fracción fina.

— Materiales aluviales; formados por arenas, limos, gravas y conglomerados sueltos, de edad cuaternaria. Descansan sobre margas impermeables del Plioceno y Mioceno, más potentes según se avanza hacia la desembocadura. Aunque el aluvial del río Almanzora reviste gran importancia hidrogeológica en lo que a su potencial papel regulador se refiere, dado que éste se ciñe a una estrecha franja a todo lo largo del río, no va a ser objeto de descripción.

Las formaciones metapelíticas, que constituyen los términos basales de calizas y dolomías, tienen un comportamiento que, en líneas generales, se puede considerar como acuícludo, aunque a veces permite la infiltración y circulación de agua a favor de fracturas y en la franja de alteración. Los conglomerados, arenas y arcillas del Mioceno inferior-medio tienen, asimismo, un carácter poco permeable; se comportan como acuitado. El resto de los términos miocénicos, integrados por margas y margocalizas, poseen una permeabilidad muy baja, por lo que pueden ser considerados como acuícludo.

#### *Unidades hidrogeológicas*

El conocimiento del marco litoestratigráfico, estructural y morfológico permite establecer las diferentes unidades hidrogeológicas, ya definidas por Castillo *et al.* en 1989 (fig. 4). Dentro de la cuenca del Almanzora se han diferenciado dos sectores: el alto-medio Almanzora y el bajo Almanzora.

En el primero de ellos el interés hidrogeológico se centra en las formaciones carbonatadas, agrupadas en distintas unidades, según su compartimentación

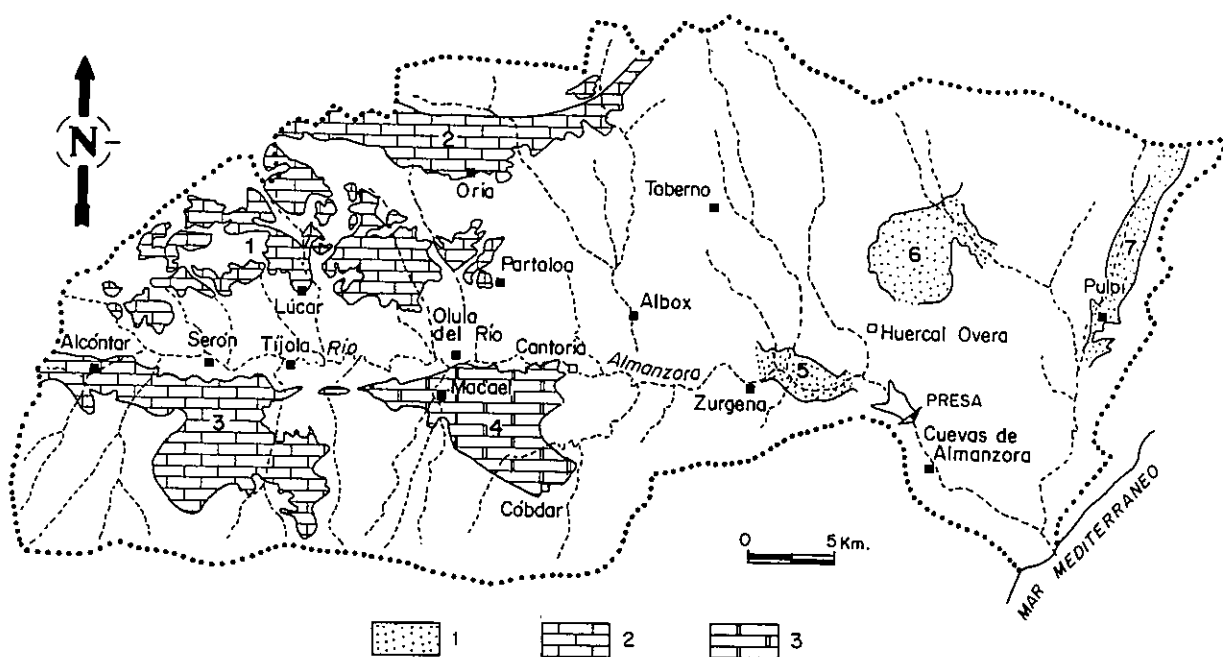


Fig. 4.—Principales unidades hidrogeológicas en la cuenca del río Almansora. 1. Sierra de las Estancias-sector meridional, 2. Sierra de las Estancias-sector septentrional, 3. Alcóntar-Bacares. 4. Macael-Líjar. 5. Cubeta de Overa. 6. Cubeta de El Saltador, 7. Cubeta de Pulpí. Leyenda: (1) Materiales pliocuaternarios. (2) Materiales carbonatados (calizas y dolomías), (3) Materiales carbonatados (mármoles).

estructural y secuencias estratigráficas. Se distinguen cuatro grandes conjuntos:

1. Unidad de la sierra de las Estancias - sector meridional.
2. Unidad de la sierra de las Estancias - sector septentrional.
3. Unidad Alcóntar-Bacares.
4. Unidad Macael-Líjar.

Las dos primeras unidades pueden subdividirse a su vez, en atención a las estructuras y geometría de los tramos carbonatados; de este modo la primera unidad se encuentra dividida en: subunidad Hijate-Lúcar-Cerrón de Baza y subunidad Somontín-Partaloa. El sector septentrional lo componen: subunidad de sierra de Oriá y subunidad de sierra del Saliente. La fragmentación de los afloramientos implica la existencia de una relativa heterogeneidad intraunidad en las características fisicoquímicas (Castillo *et al.*, 1993).

Como ya se ha indicado anteriormente, en el tramo bajo del curso fluvial las unidades hidrogeológicas están constituidas por tres cubetas pliocuaternarias: El Saltador, Pulpí y Overa. Las dos primeras son cuencas casi endorreicas, que se han desarrollado en las inmediaciones de la divisoria de aguas con la cuenca del río Guadalentín, mientras que la cu-

ta de Overa corresponde a un sector donde se superpone a materiales pliocenos detríticos un amplio tramo de materiales aluviales asociados al río Almansora.

#### El alto-medio Almansora

- Unidad de la sierra de Las Estancias-sector meridional

Este sistema acuífero presenta afloramientos permeables que ocupan cerca de 130 km<sup>2</sup>; se sitúa entre las localidades de El Hijate al Oeste, y Partaloa al Este, Los Llanos de Oriá al Norte, y las poblaciones de El Higueral, Lúcar, Somontín y Urrácal por el Sur.

El horizonte acuífero está constituido por calizas, dolomías y mármoles del complejo Alpujárride. Generalmente presentan un zócalo metamórfico formado por micasquistos y filitas con intercalaciones de niveles cuarcíticos. Las unidades cabalgadas sobre los materiales filíticos y paleozoicos de base presentan una gran complejidad tectónica. Existe un cortejo de fallas inversas que compartimentan estas series carbonatadas (Voermans *et al.*, 1979).

La subunidad El Hijate-Lúcar-Cerrón de Baza ocu-

pa el extremo oriental de la cuenca del río Almanzora y cubre una extensión de 180 km<sup>2</sup>, de los cuales 88 corresponden a afloramientos de materiales carbonatados alpujárrides; son estos últimos los que constituyen el acuífero, cuya geometría es muy irregular. En efecto, las calizas y dolomías alpujárrides de esta unidad están localmente cabalgadas por esquistos, filitas y cuarcitas de un manto superior (fig. 5, corte: B-B'); la potencia de esquistos aumenta en las proximidades de Lúcar y disminuye hacia el Norte, aflorando en algunas ocasiones las calizas inferiores en pequeñas ventanas tectónicas; bajo las calizas y dolomías, como sucede en los mantos alpujárrides, existen filitas y cuarcitas (Voermans *et al.*, 1979), que deben constituir el muro impermeable del acuífero. El borde meridional de la unidad lo constituyen materiales miocuaternarios del valle del Almanzora, de baja permeabilidad en general, salvo el aluvial del río. El borde oriental queda definido por los afloramientos de las filitas de base, de naturaleza impermeable. El borde occidental está representado por materiales miocenos y pliocuaternarios, también de baja permeabilidad.

Con respecto a los parámetros hidráulicos de esta subunidad, existen datos referentes a bombeos de ensayo de diferente duración en varios sondeos, tanto de ésta como de la siguiente subunidad. La transmisividad obtenida varía entre valores próximos a 865 y 8,6 m<sup>2</sup>/día; los más frecuentes se sitúan en torno a 90 m<sup>2</sup>/día (Castillo *et al.*, 1986). Desde el punto de vista de la evolución piezométrica, se diferencian dos sectores. En el sector de Lúcar ha fluctuado poco el nivel piezométrico (S.-Lu), mientras que el sector del Higueral (S.-Hi) se ha visto sometido a extracciones superiores a la alimentación, siendo visible una tendencia al descenso (fig. 6). Se pone de manifiesto la existencia de compartimentos dentro de la subunidad, sin aparente continuidad lateral.

En cuanto a las principales surgencias, en los materiales miocenos se localiza la Balsa de Cela (término de Lúcar). Se trata de un manantial termal (25 °C), que se sitúa a cota 732 m y posee un caudal próximo a 30 l/s. Aparece entre margas, y esta surgencia parece estar ligada a una fractura que conecta los materiales triásicos con la superficie, a través del Mioceno (PIAS, 1977). La unidad carbonatada queda recubierta por los materiales miocenos, apareciendo diminutos afloramientos a unos 8 km de El Hijate, a los que va unida la presencia de surgencias termales. Son los manantiales de La Perica (22 °C), El Algibe (24 °C) y la galería Cañada y Plaza (21 °C), todos ellos a cota 837 m, con caudales que oscilan entre los 5 y 10 l/s, aunque según datos del IGME (1980), oscilaban entre 15 y 24 l/s en 1980. Junto a éstos se encuentra la galería del Ramil (894 m), seca gran parte del año. Es posible que el paquete de ca-

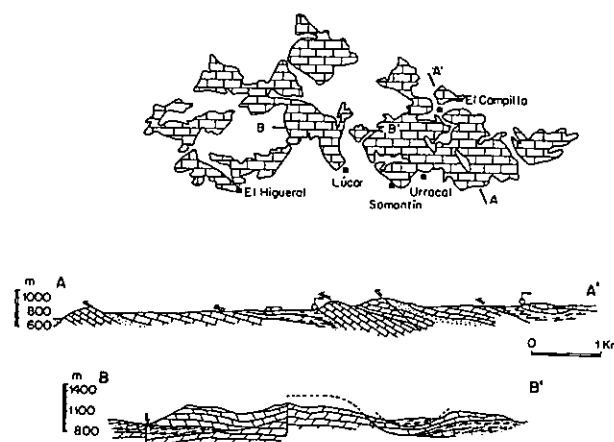


Fig. 5.—Cortes hidrogeológicos en la unidad Sierra de las Estancias-sector meridional. A-A': subunidad Somontín-Partaloa. B-B': subunidad El Hijate-Lúcar-Cerrón de Baza.

lizas y dolomías vaya descendiendo bajo el Mioceno de una forma escalonada, por medio de fracturas, hasta las proximidades del río Alcóntar, una de estas fracturas debe hacer aflorar el manantial de Huélago (24 °C) a cota 890 m, como le sucede al manantial de Cela (IGME, 1980). En la margen derecha del río las calizas y dolomías se encuentran debajo de las filitas triásicas detectadas por un sondeo surgente (Tijola; PIAS, 1977). En el sector del Higueral no queda ningún manantial activo, sólo cuatro pozos, que extraen caudales del orden de 60 l/s. En el término de Lúcar, El Marchalillo (galería a cota 865 m) presenta un caudal de 10 l/s, mientras que en los Caños de Miguel sólo alcanza los 5 l/s.

Esta subunidad así definida recibe su alimentación a partir de la infiltración directa del agua de lluvia caída sobre los materiales carbonatados y de la escorrentía procedente de lluvias caídas en los afloramientos metapelíticos y/o cuaternarios. Las salidas principales se llevan a cabo a través de la serie de surgencias citadas y mediante bombeos, situados esencialmente a lo largo del borde meridional. En 1980 la explotación media anual correspondiente a los sondeos existentes en esta zona oscilaba entre 2,5 y 3 hm<sup>3</sup>/año, y las principales surgencias alcanzaban 5 hm<sup>3</sup>/año. Los recursos se limitan a la propia infiltración de la lluvia sobre el acuífero (3,2 a 4,8 hm<sup>3</sup>/año), más los aportes de la escorrentía sobre los materiales filíticos y cuaternarios (1,75 a 2,5 hm<sup>3</sup>/año), considerando como infiltración de la precipitación 10-15 % (Carrasco *et al.*, 1981). La aportación pluviométrica media en esta unidad se estima en 350 mm/año. La evapotranspiración real media, calculada según el método de Thornthwaite, para una reserva utilizable de 10 mm, es del orden del 65 %

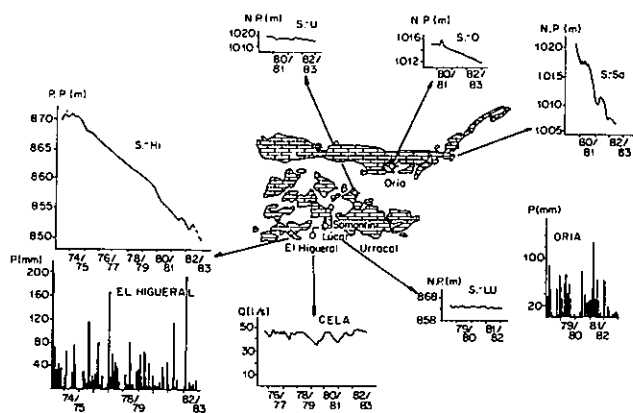


Fig. 6: Evoluciones piezométricas en la sierra de Las Estancias, sector meridional y septentrional (IGME. 1987).

de la precipitación. Ello conduce a un valor de lluvia útil sobre el área vertiente de  $10,7 \text{ hm}^3/\text{año}$ .

Con respecto a las características físico-químicas de los cinco puntos acuíferos analizados, comentaremos que la conductividad toma valores comprendidos entre 900 y  $1.100 \mu\text{S}/\text{cm}$ . Las aguas de esta subunidad presentan facies sulfatada cálcica, posiblemente debido a la influencia de las formaciones del Mioceno. A pesar de observarse cambios en las concentraciones iónicas, la facies química de las aguas se mantiene: el catión dominante es el calcio, seguido del sodio y magnesio, a excepción de la muestra tomada en la balsa de Cela, donde domina el magnesio sobre el sodio, a consecuencia de la existencia probable de dolomías en profundidad. El agua se emplea esencialmente en la agricultura, aunque se abastecen también de las aguas de la unidad los municipios y pedanías del área y su entorno.

La subunidad Somontín-Partalao ocupa una superficie de  $82 \text{ km}^2$ , de los cuales 50 corresponden a afloramientos carbonatados alpujárrides. Se caracteriza por una gran complejidad tectónica, consistente en estructuras cabalgantes producidas por materiales esquistofílicos sobre las unidades carbonatadas (fig. 5, corte: A-A'). Por esto, en el área se encuentran paquetes dolomíticos separados por escamas de filitas (Voermans *et al.*, 1979). La potencia del tramo carbonatado puede superar los 300 m.

Existen numerosas surgencias y galerías que drenan los diferentes bloques que integran esta subunidad. La surgencia que abastece a Somontín (cota 1.000 m) presenta un caudal de unos 5 l/s, mientras que en 1980 alcanzaba de 15 a 20 l/s (Carrasco *et al.*, 1981). El caudal de las surgencias controladas no registra grandes variaciones desde 1976; en el manantial de los Molinos de Urracal (760 m), el caudal va-

ría entre 23 y 29 l/s; lo mismo se puede decir de la «Fuente Nueva» de Urracal (880 m), cuyo caudal queda comprendido entre 10 y 20 l/s, sin que parezca afectarse por la variación estacional de las precipitaciones. El nivel en el piezómetro controlado por el IGME (S.-U) apenas si fluctúa (fig. 6).

Como ocurre en la subunidad anterior, las principales entradas al sistema son las producidas por la infiltración del agua de lluvia. La precipitación media sobre el acuífero puede estimarse en unos 350 mm. De acuerdo con la superficie de acuífero, considerando que la ETR media anual, calculada por el método de Thornthwaite, puede estimarse en un 64 % de la pluviometría, se obtienen unos valores por infiltración del agua de lluvia de  $5-7 \text{ hm}^3/\text{año}$ . Las salidas tienen lugar a través de galerías y manantiales y, en menor medida, por bombeos. El volumen extraído por bombeo es del orden de  $0,8 \text{ hm}^3/\text{año}$  y las salidas naturales de  $2,6 \text{ hm}^3/\text{año}$ . Los recursos totales alcanzan una cifra del orden de 2,7 a  $3 \text{ hm}^3/\text{año}$  (Carrasco *et al.*, 1981). Las aguas presentan facies bicarbonatada cálcico-sódica y conductividades comprendidas entre los 500 y  $700 \mu\text{S}/\text{cm}$  y se emplean en el abastecimiento de los núcleos urbanos del entorno (Urracal, Somontín, y otros) y en regadío.

#### — Unidad de la sierra de Las Estancias-sector septentrional

Se consideran incluidos en el sector septentrional las sierras de Oria y del Saliente. Se trata de una serie de alineaciones calizo-dolomíticas que, en dirección E-W la sierra de Oria, y SW-NE El Saliente, forman todo el complejo calizo Norte de la sierra de las Estancias, desde la sierra del Madroñal al Oeste, hasta las estribaciones del corredor de Vélez Rubio. Las sierras de Oria y del Saliente están separadas por la rambla del Campillo, donde aflora su base filítica (Voermans *et al.*, 1979; Baena *et al.*, 1979). El conjunto presenta una longitud de 43 km y una anchura máxima de 4 km. La superficie total de material carbonatado aflorante es de  $89 \text{ km}^2$ . En esta unidad se han observado datos muy diversos de caudales específicos (7, 15 y  $60 \text{ l/s/m}$ ). La transmisividad varía entre 5.900 y  $700 \text{ m}^2/\text{día}$ , con un valor medio de  $2.700 \text{ m}^2/\text{día}$ ; asimismo, se estima que la permeabilidad del acuífero oscila entre 4 y  $27 \text{ m/día}$  (García y Vives, 1987).

La subunidad sierra de Oria tiene una superficie aproximada de  $80 \text{ km}^2$  y una longitud de 28 km. Los cursos superficiales presentan una dirección generalizada N-S, siendo las ramblas más importantes las «Bocas de Oria», los Cerricos y, más al Oeste, la rambla de la «Fuente del Negro». Esta alineación se comporta como un «horst», estando limitada al Nor-



te y al Sur por dos depresiones rellenas de materiales permo-triásicos. Su límite Sur está representado por el contacto mecánico de la base carbonatada con las filitas y cuarcitas de su propia unidad, mientras que al Norte el contacto lo forma la unidad cabalgante de los esquistos paleozoicos sobre las calizas y dolomías. La unidad carbonatada está afectada por una serie de fallas inversas jalonadas de materiales filíticos (Vries y Zwaan, 1967). La potencia de la serie carbonatada puede suponerse superior a 400 m. La interpretación hidrogeológica de esta unidad se ve complicada por los distintos compartimentos, «posibles» acuíferos desconectados entre sí (IGME, 1980).

La fluctuación máxima interanual del nivel piezométrico correspondiente al sondeo S.-O (IGME, 1987) es de 3 m, con niveles en descenso, como consecuencia de la escasez de precipitaciones (fig. 6). Las salidas se efectúan a través de numerosos manantiales y galerías situados a lo largo de la rambla de Oria, todos ellos a una cota aproximada de 820 m. El Angel, El Molino de Oria, Daimuz... arrojan cada uno, caudales de 15 a 20 l/s. El Molino de Oria es la surgencia de mayor caudal; refleja con gran nitidez los ciclos anuales (aunque con tendencia decreciente, tanto en máximos como en mínimos). Algo similar puede decirse de la galería El Angel. Otro punto de drenaje importante durante todo el año es la galería La Polaca (1.010 m), cuyo caudal permanece prácticamente constante. Aprovechando que los aluviales de la rambla comunican prácticamente la totalidad del acuífero, se podrían aprovechar los últimos afloramientos de dolomías aguas abajo, para llevar a cabo perforaciones y de esta manera hacer un intento de aprovechamiento casi total, donde el arroyo alimentaría y las rocas carbonatadas actuarían de embalse regulador (Moreno, 1983).

Si consideramos que la precipitación media anual caída sobre el área oscila entre 300 y 350 mm, los valores de lluvia útil obtenidos, considerando un 35-40 % de la infiltración del agua de lluvia, oscilan entre 8,4 y 11,2 hm<sup>3</sup>/año. En 1980, los recursos generados por la lluvia caída sobre el afloramiento se estimaron en 3,5-6,5 hm<sup>3</sup>/año, considerando una lluvia útil de 10 a 15 %: Las salidas alcanzan valores del orden de 4-5 hm<sup>3</sup>/año (IGME, 1980).

Se han analizado las aguas pertenecientes a la galería La Polaca. Se trata de un agua de facies bicarbonatada magnésico-cálcica que presenta baja concentración en sales, no superan los 600 mg/l. El agua se emplea en regadío y en el abastecimiento a los núcleos urbanos del sector, de los cuales Oria es el de mayor número de habitantes.

La subunidad sierra del Saliente alcanza una longitud de 15 km y una anchura que disminuye hacia el Este. El material carbonatado aflorante comprende 11 km<sup>2</sup> de superficie. La potencia para la serie car-

bonatada se estima en unos 300 m; ésta forma el núcleo de una estructura sinclinal, afectada, en su borde Norte, por un cabalgamiento de esquistos paleozoicos, mientras que hacia el Sur aparece la secuencia normal de calizas y filitas permotriásicas (Vries y Zwaan, 1967).

El sondeo controlado (S.-Sa) mostró un descenso de 9 m, debido al bombeo de los sondeos instalados en esta subunidad (IGME, 1987; fig. 6). Las galerías y surgencias cercanas que aparecían en este paquete también se han secado. Sondeos realizados por el IRYDA alcanzan los 200 m de profundidad. No se ha realizado ningún análisis químico de las aguas de esta subunidad.

Las extracciones en 1987 se estimaron en 2,2 hm<sup>3</sup>/año (García y Vives, 1987), mientras que en 1989 se valoraron en 1,5 hm<sup>3</sup>/año; este agua se dedica fundamentalmente a agricultura. Los recursos totales alcanzan 1 hm<sup>3</sup>/año, considerando un 10 % de infiltración de la lluvia (IGME, 1980). Teniendo en cuenta que la precipitación media del área es del orden de 250 mm/año, la recarga por infiltración del agua de lluvia da un valor comprendido entre 0,9 y 1,3 hm<sup>3</sup>/año (con coeficiente de infiltración del 35-40 %).

#### — Unidad Alcóntar-Bacares

Se trata de una serie de afloramientos carbonatados pertenecientes tanto al complejo Nevado-filábride como al Alpujárride. Ocupan un sector del borde Norte de la sierra de los Filabres, en la margen derecha del río Almanzora. Comprende una superficie de 150 km<sup>2</sup>, de los cuales 50 corresponden a afloramientos carbonatados. En ella se encuentra el vértice Tetica de Bacares, con 2.080 m s.n.m.

Sobre las metapelitas y cuarcitas nevado-filábrides reposan calizas marmóreas y mármoles de dicha unidad tectónica, con espesores comprendidos entre 30 y 80 m. Sobre estos tramos marmorizados se apoyan los esquistos y filitas con su respectivo tramo carbonatado de techo del complejo Ballabona-Cucharón. La potencia de la formación calizo-dolomítica es de 250 m y constituye la formación acuífera más importante. Por último, sobre el conjunto reposan los materiales del complejo Alpujárride, constituidos por filitas y dolomías muy compartimentadas (Velendo *et al.*, 1987).

Las características litológicas y estructurales del área dan lugar a una compartimentación hidrogeológica del conjunto, por lo que cada pequeño afloramiento tiene uno o más puntos de surgencia, en general de escaso caudal, a excepción del manantial de Liar (1.065 m), la principal surgencia, que supera los 50 l/s y drena el paquete carbonatado del complejo Ballabona-Cucharón. Se observó en esta surgencia

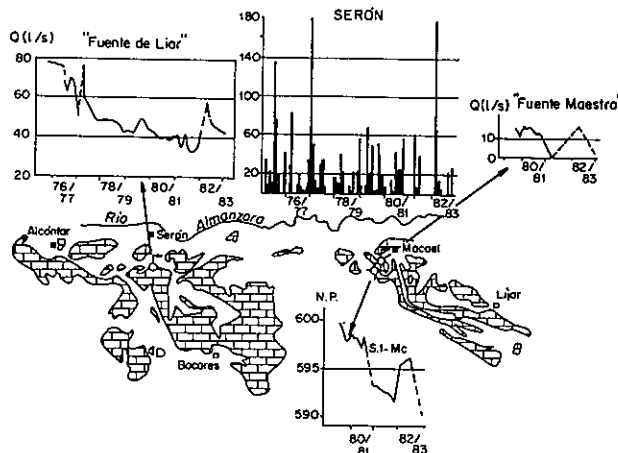


Fig. 7.—Unidad de Alcóntar-Bacares y Lijar-Macael: evoluciones de caudales (IGME, 1987).

una nítida disminución de los caudales a partir del año 1978/79. Esta disminución corresponde a un descenso de las precipitaciones. Los meses poco lluviosos se traducen en un descenso continuado del caudal, el cual se recupera bruscamente tras intensas lluvias (fig. 7; IGME, 1987).

Las entradas se deben a la infiltración directa de la lluvia caída sobre los materiales carbonatados, estimadas en 5-6 hm<sup>3</sup>/año, considerando una precipitación media anual del orden de 350 mm. El porcentaje de infiltración aplicado es del 35 %. Las salidas se llevan a cabo a través de galerías y/o manantiales, por lo que el régimen de la unidad es prácticamente natural.

Las temperaturas de las tres muestras analizadas en esta subunidad son las más bajas de todas las analizadas en la cuenca. Se obtuvieron valores de 11 °C y 12 °C en Las Menas y 14 °C en la «Fuente de Lijar». La facies química de las aguas de esta unidad es bicarbonatada, cálcica y/o magnésica. El magnesio aparece más abundante en las muestras procedentes de Las Menas, debido a la existencia de dolomías en el sector.

#### — Unidad Lijar-Macael

Se encuentra, como la unidad anterior, en la margen derecha del río Almanzora. Se trata de un grupo de afloramientos calizos marmorizados, que alcanzan los 10 km<sup>2</sup>, siendo la superficie total de la unidad de unos 67 km<sup>2</sup>. Varias franjas carbonatadas alpujárri-des y nevado-filábrides constituyen el material acuífero, situadas sobre los esquistos paleozoicos que le

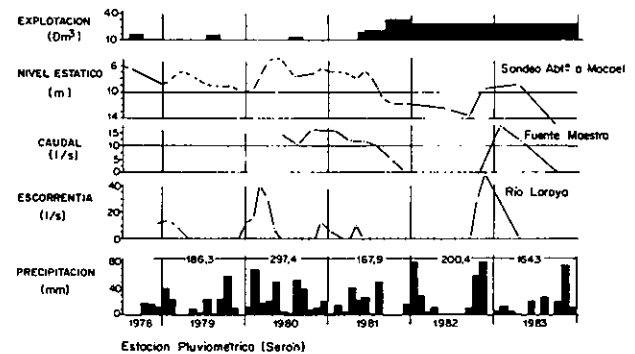


Fig. 8.—Unidad Lijar-Macael (IGME, 1985).

sirven de base impermeable. Se presentan formando bandas o cuerpos lenticulares de desarrollo variable, constituidos por mármoles, que presentan una permeabilidad por fisuración relativamente notable (Kampschuur *et al.*, 1973).

Se ha controlado el caudal de la «Fuente Maestra» (580 m), así como la evolución del nivel en el sondeo S.1.-Mc (IGME, 1985). En la figura 8 se puede ver la evolución del caudal de Fuente Maestra, del nivel piezométrico en el sondeo de abastecimiento, del volumen mensual de bombeo en esta captación, de la escorrentía superficial estimada en el río Laroya y del régimen de precipitaciones en la estación pluviométrica de Serón. Del estudio de estos hidrogramas se obtiene la dependencia de esta unidad hidrogeológica local con las aportaciones del río Laroya, tanto superficiales como subterráneas. Las máximas aportaciones de éste corresponden a subidas, tanto en el nivel piezométrico del sondeo de abastecimiento, como en el caudal de la propia Fuente Maestra (IGME, 1985).

Se considera que se puede aplicar un 45-50 % como coeficiente de infiltración del agua de lluvia, obtenido a partir del método de Kessler. Considerando una precipitación variable entre 250-350 mm/año se obtiene que la entrada procedente de la infiltración de lluvia caída en el propio acuífero varía entre 1 y 2 hm<sup>3</sup>/año. Se descarga principalmente por galerías y manantiales, situados en las cotas menores de los afloramientos, así como por sondeos de abastecimiento que bombean en la actualidad, ya que la «Fuente Maestra», abastecimiento clásico del núcleo de Macael, es insuficiente para satisfacer la demanda.

Han sido doce las muestras analizadas en esta unidad. El sector SE aparece representado por la galería El Algarrobo y la balsa de Los Chorros, en el municipio de Córdar. En las proximidades de Macael han sido tomadas el resto de las muestras. En general, pueden catalogarse como aguas de facies bicar-

bonatada cálcico-magnésica, si bien en algún punto la cantidad de sulfatos puede aumentar, debido a la disolución de yesos. Esta disolución de los yesos de los materiales nevado-filábrides ha dotado a las muestras analizadas en Cóbdar de cantidad suficiente de sulfatos para catalogarlas como sulfatadas cálcicas. El contenido salino en ambas muestras está próximo a 900 mg/l, siendo la conductividad de unos 1.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

### Bajo Almanzora

#### — Cubeta de El Saltador

Está situada al Norte de Huércal Overa. Es una depresión alargada de 62 km<sup>2</sup> de extensión y con una cuenca de recepción que alcanza los 116 km<sup>2</sup>. El sistema acuífero corresponde a una cubeta rellena de materiales detríticos pliocuaternarios, compuestos de arenas y conglomerados sueltos de matriz areno-arcillosa, en los que se intercalan arcillas arenosas o margosas, que se hacen más potentes hacia la base, descansando el conjunto sobre las margas amarillas miocenas poco permeables o sobre terrenos alpujarrides de permeabilidad variable (Voermans *et al.*, 1979). Se trata de un acuífero libre considerado globalmente, aunque localmente puede presentar características de un acuífero multicapa (Ruiz-Tagle *et al.*, 1989). Debido a sucesivos hundimientos dentro del Plioceno, incluso ya intracuaternarios, se han acumulado considerables espesores de materiales terrígenos del Plioceno superior y Cuaternario, que alcanzan potencias de hasta 500 m (Huerga y Domínguez, 1971). Se encuentra cerrada lateralmente por las mismas margas mio-pliocenas, salvo al Sur, donde hacen de límite las formaciones triásicas (filitas y calcoesquistos con, incluso, cuarcitas y dolomías subyacentes), y al Noreste, donde el vaso está colindante con el valle de la rambla de Las Norias (Voermans *et al.*, 1979).

Los valores de transmisividad obtenidos en una quincena de bombeos de ensayo ejecutados por el IRYDA oscilan entre 600 y 1.800 m<sup>2</sup>/día aproximadamente. El coeficiente de almacenamiento ha sido estimado en un 2 %, tanto a partir de bombeos de ensayo como de la comparación entre volúmenes extraídos y descensos del nivel piezométrico (PIAS, 1977). La evolución del nivel piezométrico en este sistema continúa siendo descendente.

La alimentación de este sistema se compone de la infiltración de la lluvia y del retorno del agua aplicada en riego. Debe tener también una entrada lateral —tanto superficial como subterránea— desde el Norte, mediante las ramblas y afloramientos más o menos permeables, y desde el Sur a partir de las dolo-

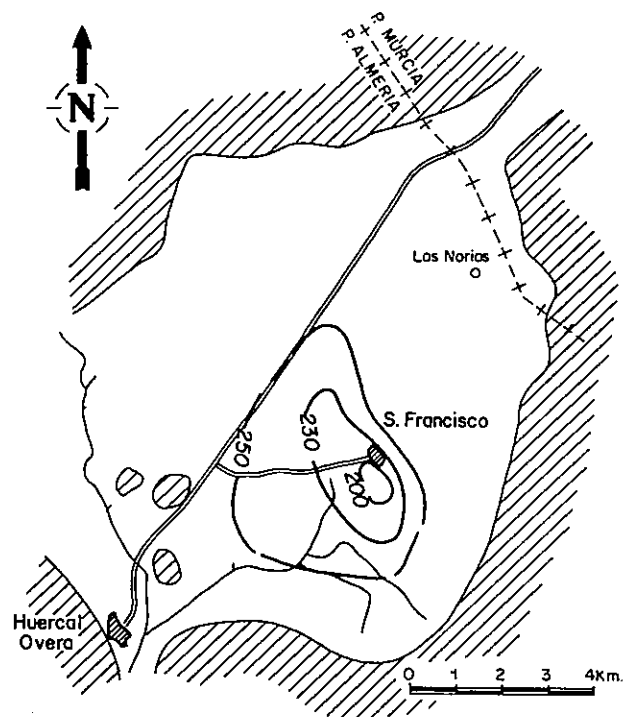


Fig. 9.—Esquema hidrológico de la Cubeta de El Saltador con isopiezas representativas (Ruiz-Tagle *et al.*, 1989).

mías y cuarcitas de la sierra de Almagro, porque aunque predominan las filitas éstas pueden tener algún interés hídrico (PIAS, 1977). La descarga se realiza por bombeos. El gran número de sondeos realizados en su tiempo por el IRYDA debido a la demanda de agua subterránea para riego dentro de la propia cubeta, han sufrido una propia reprofundización, a causa de la sobreexplotación que empezó a aparecer en los años 70 y la mayoría de éstos se encuentran parados (IGME, 1982). Las superficies piezométricas de 1972 y 1981 ponen de manifiesto la existencia de un cono de sobreexplotación (SGOP, 1982). Este grave problema se ha visto en cierto modo solucionado con el inicio del riego con agua del trasvase Tajo-Segura en 1985, aportando en el período 87/88 unos 4,5 hm<sup>3</sup>/año, excepto el primer año (85/86), que se aproximó a los 8 hm<sup>3</sup>. En el último año sólo se extrajeron 4,5 hm<sup>3</sup> del acuífero. El descenso continuado de los niveles piezométricos que se estimaban en 4 m/año en el sector central, se está recuperando, produciéndose en los sectores más afectados ascensos de 6-7 m/año desde 1985 (Ruiz-Tagle *et al.*, 1989, fig. 9).

Los sondeos n.º 6 y 10 del IRYDA han sido los elegidos para determinar las características físico-químicas de las aguas de esta unidad. La conductividad

eléctrica alcanza valores de hasta 3.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . La concentración de sulfatos es parecida en ambas muestras, próxima a 600 mg/l. Son aguas utilizables en agricultura, aunque hay que tomar determinadas precauciones.

#### — Cubeta de Overa

Formada dentro del mismo lecho del río, se encuentra cerrada por la sierra de Almagro. El acuífero de la cubeta está constituido por una formación detrítica de edad pliocuaternaria, representada esencialmente por gravas, arenas y conglomerados de matriz areno-arcillosa con pasadas de arcillas arenosas. Aunque pueden diferenciarse desde el punto de vista litológico materiales cuaternarios, pliocuaternarios y pliocenos, hidrogeológicamente están conectados y forman un solo acuífero. En unos sectores de la cubeta, el detrítico se encuentra sobre margas impermeables miocenas que lo cierran lateralmente, y en otras directamente sobre el conglomerado mioceno de base y las dolomías triásicas (Voermans *et al.*, 1979). La potencia media del acuífero pliocuaternario está comprendida entre 90 y 100 m. La superficie de la cubeta es de 12 km<sup>2</sup>, con una longitud de 5 km y una anchura comprendida entre 1 y 3 km.

Los valores de transmisividad obtenidos oscilan entre 24 y 60 m<sup>2</sup>/día y los caudales específicos entre 0,5 y 1 l/s/m (Castillo *et al.*, 1989). El descenso del nivel piezométrico en este área se debe a la falta de aportes del río, consecuencia de la sequía prolongada que padece esta cuenca. En el historial del seguimiento del nivel piezométrico del acuífero se observa una clara relación con el régimen del río, teniendo en períodos de escasa o nula aportación descensos de hasta 5-7 m/año y recuperaciones rápidas en años húmedos (*op. cit.*). Sin embargo, en los años 60 se observó un descenso de nivel de 15 m en diez años (Hueriga y Domínguez, 1971).

Este acuífero libre está alimentado lateralmente por el río, tanto subterránea como superficialmente, y en pequeña cantidad por el agua de lluvia. La descarga natural se produce a través del río en el cierre impermeable triásico y por los bombeos de la propia cubeta. Se pone en contacto con el acuífero más profundo (dolomías triásicas) antes del cierre impermeable. Su substrato está perfectamente definido por margas miocenas, pero éstas se laminan al final de la cubeta, originándose entonces el contacto del acuífero pliocuaternario con el acuífero dolomítico (PIAS, 1977). Sobre la superficie de la cubeta se sitúan gran número de captaciones que extraen en conjunto más de 4 hm<sup>3</sup>/año.

Dos han sido las muestras tomadas en esta unidad para su análisis. Presentan conductividades próximas

a los 3.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y facies sulfatada cálcico-magnésica o calco-sódica.

#### — Cubeta de Pulpí

Con una extensión de unos 25 km<sup>2</sup>, esta cubeta es una franja estrecha de 2,5 km de ancho por unos 10 km de largo. Se encuentra entre materiales impermeables constituidos por esquistos paleozoicos del complejo Nevado-filábride al NW y E, y margas miocenas al SW y S, dentro de las estribaciones Sur de sierra Almenara. La formación detrítica pliocuaternaria que constituye el acuífero está formada por arenas y conglomerados de matriz areno-arcillosa, con intercalaciones de arcillas arenosas y margosas (fig. 10). Parece no estar cerrado al SE, en el contacto con las dolomías de la sierra del Aguilón (Espínosa *et al.*, 1974). La mayor potencia del detrítico se mide al Este de la mitad Sur, junto al contacto con el Paleozoico. El espesor del relleno pliocuaternario varía entre 30 y 100 m (Cerón *et al.*, 1991).

En la mitad Sur de la cubeta se encuentran la mayoría de los pozos y sondeos que realizaban la explotación, actualmente parados debido a los aportes exteriores del trasvase Tajo-Segura. La alimentación principal llega por el Norte de la cubeta, pero también existe alimentación de escorrentía superficial desde los bordes. Parece también existir una alimentación de la cubeta por el Oeste de la sierra del Aguilón, a pesar de su explotación. Los bombeos son el sistema de descarga del acuífero (PIAS, 1977). Tras un descenso generalizado del nivel en todo el acuífero, se abandonaron varias captaciones. En años sucesivos los descensos se han concentrado al Este de Pulpí, donde se registran depresiones continuadas de 1,5 a 2 m/año (Castillo *et al.*, 1989).

Los recursos del acuífero estarían comprendidos entre 1,7 y 6,2 hm<sup>3</sup>/año, según Cerón (1992). El IGME (1980) cifraba estos recursos entre 3,3 y 3,9 hm<sup>3</sup>/año, mientras que Castillo *et al.* (1989) daban un valor inferior a los recursos, entre 2,5 y 3 hm<sup>3</sup>/año. Las fluctuaciones estacionales no son muy acusadas y van relacionadas con la época de estiaje y de explotación para riego. La demanda más importante es la agrícola. Las aguas de este sector presentan facies sulfatada calco-sódica-magnésica; la dispersión de las concentraciones es elevada, especialmente en los iones magnesio, sodio y cloruro (Cerón *et al.*, 1992).

#### Discusión

La cabecera del río Almanzora presenta un régimen continuo, debido a la escorrentía de la sierra de Los Filabres. El resto de la cuenca tiene un régimen

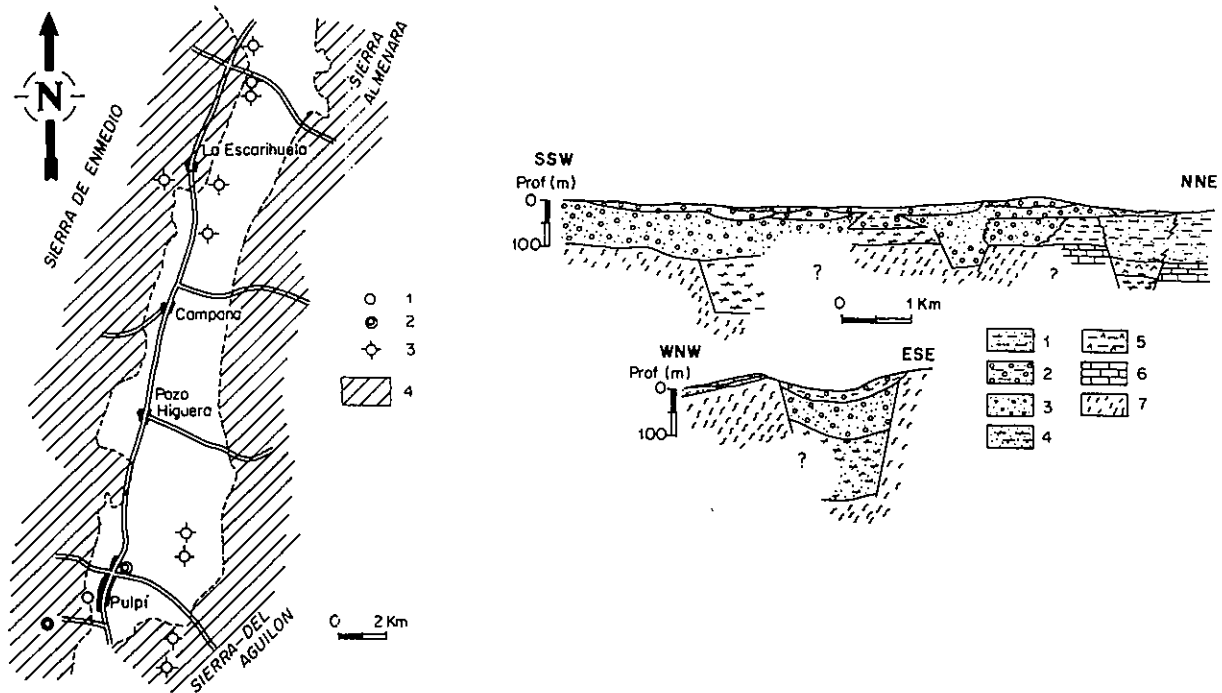


Fig. 10.—Esquema hidrogeológico de la Cubeta de Pulpí (1: pozo, 2: pozo-sondeo, 3: sondeo, 4: materiales de borde) y perfiles geológicos (Relleno pliocuaternario: (1) arcillas y limos, (2) arcillas, limos, arenas y gravas, (3) gravas y arenas; Terciario: (4) arenas margosas y margas, (5) margas con yesos; Sustrato: (6) mármoles, (7) filitas y esquistos; Cerón y Pulido Bosch, 1992).

estacional, ligado al carácter tormentoso de las precipitaciones. Dada la gran irregularidad hidrológica, con extensos períodos de estiaje o agotamiento total y reducido período de tiempo en el que se concentran las precipitaciones, la construcción de embalses y la explotación de las aguas subterráneas son aspectos muy interesantes.

El acuífero más importante debido a su extensión y potencia son las calizas del complejo Alpujárride, seguido de las calizas marmóreas y mármoles del complejo Nevado-Filábride. Existe una gran compartimentación de estos afloramientos, debido a una complicada tectónica de fallas inversas que arrastran en su desplazamiento niveles de filitas que restan homogeneidad a los sistemas acuíferos. Se detectan problemas de sobreexplotación de desigual continuidad lateral, debido a la fragmentación de los afloramientos y a la irregularidad de las aportaciones. Estas consideraciones implican igualmente la existencia de una relativa heterogeneidad intraunidad en las características fisicoquímicas.

En la cuenca baja del Almanzora destacan los acuíferos desarrollados sobre cubetas detríticas pliocuaternarias, las cuales se relacionan con cuencas subsi-

dentas de reciente funcionamiento. En El Saltador la evolución del nivel piezométrico es descendente debido a la descarga continua del acuífero por bombeos. En la cubeta de Overa se observan igualmente descensos del nivel piezométrico, debido fundamentalmente a las extracciones y falta de aportes del río. El descenso continuado del nivel en la cubeta de Pulpí parece haberse estabilizado actualmente debido a la disminución del volumen de explotación de los pocos sondeos que aún están en funcionamiento, a la llegada de un volumen mayor de aportes externos (travase Tajo-Segura) y a las lluvias caídas en los dos últimos períodos hidrológicos. En el Delta los niveles se encuentran bajos, pero estabilizados debido a la mala calidad de las aguas, sin haberse detectado, hasta el momento, procesos significativos de intrusión.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se realizó en el marco del proyecto «Dinámica del geosistema de la cuenca del río Almanzora: evaluación de los procesos de desertificación» (ICONA-CSIC).

## Referencias

- Aellen de la Chapelle, M. (1990). Le coloir de Pulpí. *Doc et Tar. IGAL*, 12 y 13, 195-206.
- Baena, J., Guzmán, J. L. y Voermans, F. M. (1979). Memoria y hoja geológica 1:50.000 de Chirivel (23-39). *Proyecto MAGNA, Inst. Geol. y Minero de España*.
- Barragán, G. (1987). Una nueva interpretación de la sedimentación neógena en el sector sur de la Cuenca de Vera. *Acta Geol. Hisp.*, 21-22, 449-457.
- Blumenthal, M. M. (1935). Relie fuberschiebungen in den westlichen Betischen Cordilleren. *Geol. Médit. occid.*, 4, 3-29.
- Briend, M., Montenant, C. y Ott d'Estevou, P. (1990). Le bassin de Huercal-Overa. *Doc et Trav. IGAL*, 12 y 13, 239-259.
- Brouwer, H. A. (1926). Overthrust structure in the Eastern Betic Cordillera. *XIX Congrès Géol. Int.*, Madrid, 1885-1888.
- Brouwer, H. A. y Zeijlman Van Emmichoven, C.P.A. (1924). De tektoniek van net centrale gedeelte van de sierra de los Filabres (Zuid Spanje). *Versl. Kon. Ned. Akad. Wetensch*, 33, 837-882.
- Campos, J., García Dueñas, V., González Lodeiro, F. y Orozco, M. (1986). La zona de cizalla del contacto entre el grupo de mantos del Mulhacén y la unidad del Veleto (sierra Nevada y sierra de los Filabres, Andalucía). *Geogaceta*, 1, 15-17.
- Carulla, N. (1979). *Contribución al conocimiento de la dinámica hidrogeológica en clima semiárido (Depresión de Vera, Almería)*. Tesis Doctoral. Univ. Autónoma de Barcelona, 2 tomos.
- Carrasco, A., Frías, J. y Ruiz-Tagle, M. (1981). Diferenciación de unidades hidrogeológicas en la sierra de Las Estancias. Estimación de sus recursos y reservas. *I Simp. Agua en Andalucía*, Granada, 2, 615-626.
- Castillo, E., Hidalgo, J. y Lupiani, E. (1986). Características hidrogeológicas del sistema acuífero sierra de Las Estancias-sector meridional (Almería). *II simp. Agua en Andalucía*, Granada, 2, 231-243.
- Castillo, E., Lupiani, E., Hidalgo, J., González, A. y Aranda, J. A. (1989). Sobreexplotación de acuíferos en la cuenca del Almanzora. Almería. *Congr. Nac. Sobreexplot. de acuíferos. Temas Geológico-Mineros*, 10, 35-41.
- Castillo, A., Vallejos, A. y Cerón, J. C. (1993). Sobre la hidroquímica de la cuenca del río Almanzora (Almería). *Geogaceta*, 14, 15-17.
- Cerón, J. C. (1992). *Estudio hidrogeoquímico de la Cubeta de Pulpí (Almería y Murcia)*. Univ. de Granada, 168 págs.
- Cerón, J. C. y Pulido Bosch, A. (1991). Consideraciones sobre la geometría de un sector del acuífero de la Cubeta de Pulpí (Almería). *III Simposio sobre el agua en Andalucía*, Córdoba, 1, 325-337.
- Cerón, J. C. y Pulido Bosch, A. (1992). Consideraciones sobre la hidroquímica del acuífero de la Cubeta de Pulpí (Almería). *Estudios Geol.*, 48, 67-78.
- Durand Delga, M. (1968). Coup d'oeil sur les unités malaguides des Cordillères bétiques (Espagne). *C. R. Acad. Sci.*, 266, 190-193.
- Egeler, C. G. (1963). On the tectonics of the eastern Betic Cordilleras (SE. Spain). *Geol. Rundschau*, 53, 260-269.
- Egeler, C. G. (1974). On the evolution of structure and metamorphism during the Alpine orogeny in the Eastern and Central Betic zone (Spain). *Géol. Mijnb.*, 53, 273-277.
- Egeler, C. G. y Simon, O. J. (1969 a). Sur la tectonique de la zone Bétique (Cordillères Bétiques, Espagne). *Verh. Kon. Ned. Akad. Wetensch. Afd. Natuurk. Eerste Reeks*, 25, 90 págs.
- Egeler, C. G. y Simon, O. J. (1969 b). Orogenic evolution of the Betic Zone (Betic Cordilleras, Spain) with emphasis on the nappe structures. *Geol. en Mijnbouw*, 48, 296-305.
- Espinosa, J. S., Martín Vivaldi, J. M., Martín Alafont, J. M. y Pereda, M. (1974). Memoria y hoja geológica 1:50.000 de Aguilas (25-40). *Proyecto MAGNA, Inst. Geol. y Minero de España*.
- Memoria y hoja geológica 1:50.000 de Pto. Lumbreras (25-39). *Proyecto MAGNA, Inst. Geol. y Minero de España*.
- Memoria y hoja geológica 1:50.000 de Garrucha (25-41). *Proyecto MAGNA, Inst. Geol. y Minero de España*.
- García, M. y Vives, R. M. (1987). Estudio hidrogeológico del sector oriental de la sierra de Las Estancias (Prov. de Almería). *Hidrogeología y Recursos Hidráulicos*, 11, 141-154.
- Guerra-Merchán, A. (1992). *Origen y relleno sedimentario de la cuenca neógena del Corredor del Almanzora y áreas limítrofes (Cordillera Bética)*. Tesis Doctoral. Univ. de Granada (en prensa).
- Herbig, H. G. (1983). El Carbonífero de las Cordilleras Béticas. «Carbonífero y Pérmico de España», *X Congreso Ent. Estr. Geol. Carbonífero*, Madrid, 345-355.
- Hurga, A. y Domínguez, A. (1971). Consideraciones sobre los datos de los sondeos del INC en el sector septentrional de la cuenca del Almanzora, entre las ramblas de Oria y las Norias. *CHILAGE*, 1; 3, 219-238.
- IGME (1980). Estudio hidrogeológico de las unidades carbonatadas del alto Almanzora (Almería), 85 págs.
- (1982). Informe del abastecimiento de Huércal Overa y del sondeo realizado. Ministerio de Industria y Energía, 20 págs.
- Plan de gestión y control de acuíferos. Cuenca Sur (Almería). Informe Piezométrico/Hidrométrico. Ministerio de Industria y Energía, 14 págs.
- (1985). Estudio de alternativas de abastecimiento a Macael (Almería) y su futuro polígono industrial, 67 págs.
- (1987). Síntesis Hidrogeológica de Almería. Informe inédito.
- Kampschuur, W., Langenberg, C. W. y Rondeel, H. E. (1973). Polyphase Alpine deformation of the Eastern part of Betic Zone of Spain. *Estudios Geol.*, 29, 209-222.
- Kampschuur, W. y García Monzón, G. (1975). Memoria y hoja geológica 1:50.000 de Vera (24-41). *Proyecto MAGNA, Inst. Geol. y Minero de España*.
- Kampschuur, W., Vissers, R. L. M. y García Monzón, G. (1975). Memoria y hoja geológica 1:50.000 de Macael (23-41). *Proyecto MAGNA, Inst. Geol. y Minero de España*.
- Mâkel, G. H. (1985). The geology of the malaguide complex and its bearing on the geodynamic evolution of the Betic-Rif orogen (Southern Spain and Northern Morocco). *GUA Papers Geol.*, 1-22, 263 págs.
- Martínez Martínez, J. M. (1985). Las sucesiones nevado-filábrides en la sierra de los Filabres y sierra Nevada. Correlaciones. *Cuad. Geol.*, 12, 127-144.

- (1986). Evolución tectono-metamórfica del complejo Nevado-filábride en el sector de unión entre sierra Nevada y sierra de los Filabres (Cordilleras Béticas). *Cuad. Geol.*, 13, 1-194.
- Moreno Cayuela, F. (1983). Consideraciones hidrogeológicas en el Subbético, el Maláguide, el Alpujarride y el Nevado-Filábride, al Norte de la provincia de Almería. *III Simposio de Hidrogeología*, Madrid, 685-694.
- PIAS (1977). Estudio hidrogeológico de la Cuenca Sur. Almería. Cuenca del Almanzora y Antas. Informe Técnico VII. IGME.
- Ruiz-Tagle, M., González, A. y Frías, J. (1989). Evolución de la sobreexplotación en la cubeta de El Saltador. Almería. *Temas Geológico-Mineros*, 10, 301-310.
- SGOP (1982). Estudio de viabilidad de recarga artificial en los acuíferos de la cubeta de El Saltador (Almería). Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, 57 págs.
- Vallejos, A. (1991). *Contribución al conocimiento hidrogeológico de la cuenca del río Almanzora (Almería)*. Tesis de Licenciatura, Univ. de Granada, 160 págs.
- Van Bemmelen, R. W. (1927). *Bijdrage tot de Geologie der Getishe Ketens inde province Granada*. Tesis Doctoral. Delft., 176 págs.
- Velendo, F. y Navarro, D. (1979). Memoria y hoja geológica 1:50.000 de Fiñana (22-41). *Proyecto MAGNA, Inst. Geol. y Minero de España*.
- Vera, J. A., Rodríguez Fernández, J., Guerra-Merchán, A. y Viseras, C. (1991). La Cuenca de Guadix-Baza. *Doc. et tra. IGAL*, 14, París.
- Voermans, F. M., Geel, T. y Baena, J. (1979). Memoria y hoja geológica 1:50.000 de Vélez Rubio (24-39). *Proyecto MAGNA, Inst. Geol. y Minero de España*.
- Voermans, F. M., Simon, O. J., Martín García, L. y Gomez Prieto, J. A. (1979). Memoria y hoja geológica 1:50.000 de Cantoria (23-40). *Proyecto MAGNA, Inst. Geol. y Minero de España*.
- Memoria y hoja geológica 1:50.000 de Húercal Overa (24-40). *Proyecto MAGNA, Inst. Geol. y Minero de España*.
- Vries, W. C. P. y Zwaan, K. B. (1967). Alpujarride succession in the central part of the sierra de Las Estancias, Province of Almería, S.E. Spain. *Proc. Kon. Ned. Akad. v. Wetensch*, Series B, 70, 443-453.

Recibido el 23 de marzo de 1993  
Aceptado el 30 de abril de 1994