

USO INTENSIVO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS
ASPECTOS ÉTICOS, TECNOLÓGICOS Y ECONÓMICOS

Serie A, N°4

**El Campo de Dalías,
paradigma de uso intensivo**

**Problemática hidrogeológica del
Campo de Dalías - Sierra de Gádor**

**Recorrido hidrogeológico por el
Campo de Dalías**

Antonio Pulido Bosch
Ángela Vallejos Izquierdo
Luis Molina Sánchez
Pablo Pulido Leboeuf

PAPELES DEL PROYECTO AGUAS SUBTERRÁNEAS

Antonio Pulido Bosch. Es licenciado en Ciencias Geológicas (1972) y Doctor en Geología (1977) por la Universidad de Granada. Amplió estudios en las Universidades de Estrasburgo, Montpellier, Escuela de Minas de París (Fontainebleau), y Servicio Geológico de Alsacia y Lorena. Es Catedrático de Geodinámica en la Universidad de Almería. Ha sido investigador principal de una veintena de proyectos nacionales e internacionales, habiendo realizado investigaciones en Francia, Polonia, Marruecos, Bulgaria y Cuba. Es autor de más de 250 publicaciones, incluyendo 8 libros, difundidas en revistas internacionales, nacionales y congresos. Ha dirigido 20 tesis doctorales. Es miembro fundador de la Sociedad Geológica Española, de la Asociación Española de Hidrología Subterránea y de la Sociedad Española de Espeleología y Ciencias del Karst, y es miembro de la Asociación Internacional de Hidrogeología, y de la Asociación Internacional de Hidrología Científica

Luis Molina Sánchez es licenciado (1984) y doctor en Ciencias Geológicas (1998) por la Universidad de Granada. Becario de la Universidad de Almería desde 1988 hasta 1991. Profesor asociado en la Universidad de Almería desde 1994 hasta la actualidad. Ha participado en varios proyectos de la CICYT a partir del año 1998. Tiene gran número de artículos publicados en revistas nacionales e internacionales así como en congresos

Ángela Vallejos Izquierdo es licenciada en Geología por la Universidad de Granada, y adquirió el grado de doctora por esa misma Universidad en el año 1997. Desde el año 1991 ha participado en diferentes proyectos de investigación I+D (CSIC, DGICYT, CICYT, IARA). Las principales líneas de investigación seguidas en los últimos años se centran en: Hidrogeoquímica, Acuíferos kársticos, Intrusión Marina, Isotopía Hidrológica. Es Profesora Asociada de la Universidad de Almería desde 1998. Sus publicaciones más relevantes pueden consultarse en revistas como *Water Resources Bulletin*, *Environmental Geology*, *Earth Surface Processes and Landforms*, o *Water, Air and Soil Pollution*. Es miembro de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos desde 1988.

Pablo Pulido Leboeuf es Licenciado en Ciencias (Geología) por la Universidad de Granada, (1998). Becario de la Universidad de Almería desde 1999. Autor de artículos publicados en revistas de difusión nacional e internacional y comunicaciones en congresos internacionales. Actualmente realiza su segundo año del programa de doctorado «Recursos Hídricos y Geoambientales» por la Universidad de Granada, al tiempo que elabora su tesis doctoral.

CONTENIDO**«PROBLEMÁTICA HIDROGEOLOGICA DEL
CAMPO DE DALÍAS-SIERRA DE GÁDOR (ALMERÍA)»**

RESUMEN	5
INTRODUCCIÓN	6
EL MARCO GEOLÓGICO	8
Litoestratigrafía, 8	
Tectónica, 10	
Rasgos geomorfológicos, 11	
Aspectos hidrológicos, 13	
HIDROGEOLOGÍA	13
Unidad de Balerna-Las Marinas, 14	
Unidad de Balanegra, 16	
Unidad de Aguadulce, 18	
CARACTERÍSTICAS HIDROGEOQUÍMICAS	20
Consideraciones generales, 20	
Caracterización de procesos hidrogeoquímicos, 21	
LA PROBLEMÁTICA HIDROGEOLOGICA	23
Perfiles de temperatura y de conductividad, 23	
Deducción del funcionamiento del sistema, 26	
EL DÉFICIT HÍDRICO Y LAS POSIBLES SOLUCIONES	30
CONSIDERACIONES FINALES	32
REFERENCIAS	34

**«RECORRIDO HIDROGEOLOGICO POR EL
CAMPO DE DALIAS»**

INTRODUCCIÓN	37
CONSIDERACIONES GEO E HIDROGEOLOGÍCAS	38
LA INTERVENCIÓN PÚBLICA	41
EVOLUCIÓN DE LOS BOMBEOS	43
DESCRIPCIÓN DEL ITINERARIO	47
CONSIDERACIONES FINALES	49
REFERENCIAS	51

Papeles del Proyecto Aguas Subterráneas
M. Ramón Llamas, Director

Edita : Fundación Marcelino Botín
Pedrueca, 1 (Santander)

ISBN: 84-95516-01-2 (obra completa)

ISBN: 84-95516-06-3 (serie A, nº 4)

Depósito legal: M. 18.125-2000

Impreso en REALIGRAF, S.A. Madrid, marzo de 2000

PROBLEMÁTICA HIDROGEOLÓGICA DEL CAMPO DE DALÍAS – SIERRA DE GÁDOR (ALMERÍA)

RESUMEN

El Campo de Dalías, con unas 20.000 ha de cultivos extratempranos bajo plástico, constituye el área de mayor pujanza económica de la provincia de Almería, y posiblemente la región donde la agricultura alcanza la mayor rentabilidad de toda España y tal vez de Europa. El desarrollo agrícola ha estado basado en la iniciativa de la gente emprendedora del lugar, con el decidido apoyo de las Administraciones, y en la explotación intensiva de las aguas subterráneas. Los problemas hidrogeológicos planteados a lo largo de estos años afectan a la cantidad y a la calidad del agua. Los problemas de cantidad conciernen a las dos unidades hidrogeológicas principales: Balanegra y Aguadulce, que captan esencialmente los carbonatos triásicos alpujárrides. Como consecuencia de la explotación intensiva, los niveles del agua en el acuífero se encuentran bajo el nivel del mar en grandes extensiones. La tercera unidad (Balerma – Las Marinas) registra, por el contrario, una subida de los niveles bastante generalizada, como consecuencia de los escasos bombeos que se llevan a cabo en ella, que están originando humedales en los sectores de menor cota del terreno en el acuífero (Cañada de las Norias). Los problemas de calidad están muy relacionados con la explotación: se tienen procesos de intrusión marina en las dos unidades sobreexplotadas, movilización de aguas salobres y salmueras en sectores profundos, contenidos elevados en nitratos, y muy posiblemente pesticidas. Las soluciones a tales problemas son complejas y son objeto de estudio y planificación por parte de las instancias pertinentes. Éstas tendrían que pasar por el conocimiento profundo de los procesos hidrológicos, adecuada cuantificación de las aportaciones, ahorro de agua, limitación del crecimiento de la demanda, participación de los usuarios e investigadores, y debate en profundidad de las posibles alternativas.

INTRODUCCIÓN

El Campo de Dalías es la comarca de mayor pujanza económica de la provincia de Almería; ha sido el pilar básico que ha permitido el despegue económico de una región tradicionalmente deprimida. En la actualidad se riegan del orden de 20.000 ha en invernaderos que mueven, directa o indirectamente, cerca de 200.000 millones de pesetas al año. Para tener una idea de la importancia económica del área se puede partir de la evolución de la población, que ha pasado de tener 8.000 habitantes en 1950 (Navarrete, 1992) a más de 120.000 en 1995. Esta actividad económica ha descansado sobre dos soportes básicos: por un lado, el esfuerzo de miles de personas trabajando en unas condiciones frecuentemente muy hostiles; y por otro, el agua subterránea, cuya escasez ha sido siempre el mayor freno a un desarrollo económico aún mayor, lo cual no quiere decir ni armónico, ni razonable, ni sostenible.

El área de estudio se encuentra en el denominado *Poniente Almeriense* y ocupa algo más de 650 km², de los que 330 corresponden al Campo de Dalías en sentido estricto y el resto a la vertiente meridional de la Sierra de Gádor (Fig. 1) El objetivo de este trabajo es caracterizar el área de estudio desde el punto de vista hidrogeológico e hidrogeoquímico, con el fin de evidenciar los problemas que afectan a las aguas subterráneas. Además, se esbozarán algunas posibles soluciones que podrían complementar las iniciativas que algunos sectores de la Administración tienen programadas. Hay que reseñar que esta síntesis reúne una parte importante de los conocimientos adquiridos sobre el área a lo largo de más de diez años de trabajo de numerosos investigadores de nuestro grupo, así como la recopilación de muchos otros datos obtenidos y elaborados por organismos públicos, muy especialmente el IGME, posteriormente ITGE. Nuestros trabajos, además de los usuales de recopilación y análisis, han sido labores de campo con miles de muestras de agua recogidas para determinaciones hidroquímicas e isotópicas, numerosos registros en sondeos de conductividad y temperatura, nivelaciones de precisión, levantamiento de series, medidas de capacidad de infiltración en los

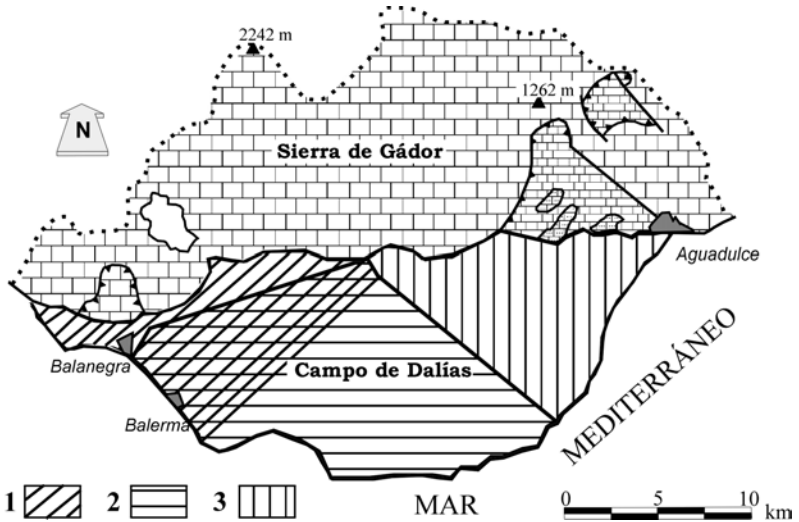


Figura 1.- Esquema hidrogeológico del Campo de Dalías y del borde meridional de la Sierra de Gádor.

- 1: Unidad de Balanegra
- 2: Unidad de Balerma – Las Marinas
- 3: Unidad de Aguadulce

lechos de las ramblas, medidas de nivel en sondeos, campañas de prospección geofísica eléctrica, etc. La interpretación de estos datos en gabinete ha ocupado una parte importante de las labores, con realización de planos de isocontenidos, isopiezas, análisis en componentes principales de los datos, aplicación de técnicas geoestadísticas, e identificación de procesos hidrogeoquímicos. Es pues, el fruto del trabajo de todo un equipo durante mucho tiempo.

EL MARCO GEOLÓGICO

Litoestratigrafía

El área estudiada se ubica en las Zonas Internas de las Cordilleras Béticas (Zona Bética). Dentro de los diferentes complejos que se suelen diferenciar en este dominio, en el área estudiada se encuentra tan sólo representado el Complejo Alpujárride, a su vez constituido por dos unidades: Gádor y Felix (figura 1). En la Unidad de Gádor los materiales basales están integrados por esquistos con algunos niveles cuarcíticos; pueden presentar yesos intercalados. Se les asigna edad permo-werfeniense.

Como suele corresponder a todos los mantos alpujárrides, la transición metapelitas – tramo carbonático se hace mediante un tramo de calcoesquistos y calizas margosas de edad Anisiense. La serie carbonática que sigue puede alcanzar más de mil metros de espesor y comprende, sobre el tramo de calcoesquistos, dolomías con intercalaciones de calizas y calizas margosas; este tramo ha sido datado como Ladiniense–Carniense (tramo medio).

El tramo superior es predominantemente calizo con niveles dolomíticos; la parte inferior incluye margocalizas tableadas amarillentas; la parte media es más caliza, aunque también presenta intercalaciones margocalizas y margosas y eventuales filitas; la edad es Carniense

Los materiales que integran la unidad de Felix afloran tan sólo en el tercio oriental, y cabalgan sobre la unidad anterior. También se componen de un tramo basal metapelítico y calcoesquistos y calizas; puede haber más de un nivel carbonático intercalado, aunque nunca supera los 100 m de potencia total. Entre los materiales triásicos y los terrenos miocenos no se han datado sedimentos, lo que se interpreta como debido a la existencia de una gran laguna que cubre todo ese período.

Dentro de los terrenos postmanto, los materiales miocenos están representados por calcarenitas, conglomerados y calizas pararecifales que *parchean* los bordes de la Sierra, encontrándose incluso a cotas superiores a 1500 m (sector del Ca-

labrial). Por datos de sondeos se conoce que estos materiales pasan hacia el Sur a margas más o menos arenosas con evaporitas, con una gradación completa desde un conglomerado basal que puede alcanzar 40 m de espesor.

En la mitad oriental del Campo afloran conglomerados de cantos de rocas volcánicas envueltos en una matriz también volcánica. Al conjunto se le asigna edad Tortonense.

La morfología de la cuenca finimiocena es muy irregular, lo que favorece la existencia de espesores muy variables de materiales pliocenos suprayacentes, representados por hasta 700 m de margas –se depositan sobre un conglomerado basal de escaso desarrollo– de origen marino, que hacia el techo presentan cada vez más proporción de arenas. Culminan con hasta 120 m de calcarenitas, de distribución espacial bastante homogénea aunque de espesor variable. Los materiales cuaternarios presentan gran variedad de ambientes sedimentarios, cubriendo desde el medio lacustre hasta los grandes abanicos aluviales y depósitos de playas levantadas, albuferas y marismas.

Merecen especial atención los grandes abanicos aluviales que jalonan el borde meridional de la Sierra de Gádor de los que se pueden diferenciar varias generaciones (Goy y Zazo, 1983). Su espesor puede alcanzar 150 m, dándose el caso de existir abanicos encostrados fallados, fosilizados por otra generación sin encontrar.

En cuanto a los sedimentos de playa, existen también varias generaciones –hasta cuatro han sido descritas (Fourniguet, 1977; Goy y Zazo, 1986)–, aunque no adquieren desarrollo como para tener incidencia en el almacenamiento del agua; sin embargo, estas fluctuaciones del nivel sí que han tenido su reflejo en el contenido salino de los sedimentos.

También tienen relevancia los depósitos de arcillas rojizas con cantos redondeados de cuarzo que *rellenan* depresiones cerradas en la parte central del Campo. Estos materiales han sido objeto de explotación intensiva para su uso como soporte de invernaderos, dando lugar a áreas deprimidas dentro del sector endorreico del campo.

Tectónica

Además de la existencia de una tectónica tangencial muy marcada –caracterizada por mantos de corrimientos y ciertas estructuras menores (escamas tectónicas)– hay una tectónica de fracturación que ha continuado activa hasta épocas recientes, viéndose afectados los materiales pliocenos y –más localmente– los cuaternarios.

La tectónica tangencial afecta a las dos unidades alpujárrides (Aldaya et al., 1983; Baena y Ewert, 1983), posteriormente plegadas y fracturadas. Los materiales miocenos fosilizan los contactos entre ambas unidades. Además de la sucesión de anticlinales y sinclinales de la Sierra de Gádor, cuyos ejes tienen dirección dominante E-NE e incluso E-W –aunque los hay con dirección anómala N-S (Sanz de Galdeano, 1985)–, en el interior del Campo se puede seguir, mediante datos sísmicos, un gran anticlinal también de dirección E-NE, tradicionalmente denominado *horst de Guardias Viejas*, que atraviesa todo el Campo (Rodríguez-Fernández y Martín Penela, 1993); los flancos del pliegue están fallados hacia el extremo suroccidental.

Los múltiples juegos de fractura existentes han podido actuar durante diferentes etapas de deformación, e incluso de manera diferente, atendiendo a la naturaleza y distribución de los esfuerzos. Las familias principales son N45–50E, N120E, N140–160E, N10–20E y N70–90E. La fractura más importante es la que define el borde meridional de la Sierra de Gádor, cuyo salto podría superar varios centenares de metros, en varias etapas desde el Tortoniense – Messiniense hasta el Pleistoceno (Montenat, 1975).

Rasgos geomorfológicos

Dentro del área de estudio se pueden diferenciar al menos seis dominios morfológicos bien marcados; de mayor a menor altitud, serían:

- Relieves *suaves* de la Sierra de Gádor
- Vertiente comprendida entre la franja altitudinal anterior y los abanicos aluviales
- Área de grandes abanicos aluviales
- Sector central del Campo y sus cuencas endorreicas anejas
- Zonas húmedas y llanura supralitoral
- Franja dunar y playas actuales

El primer dominio presenta una topografía relativamente suave, con algunas formas kársticas parcialmente capturadas por la erosión remontante, en gran medida reflejo de un levantamiento posiblemente *brusco* y diferencial de los materiales que comienzan a ser desmantelados como consecuencia de la marcada erosión remontante. Se trata de la cabecera de la mayoría de las ramblas y barrancos que surgen de la Sierra de Gádor.

El dominio inmediatamente inferior corresponde a los canales de desagüe de los torrentes, que se encajan espectacularmente en la masa carbonática o calcoesquistosa. El encajamiento de estos barrancos llega a superar en algunos casos los 500 m, lo cual da una idea de la notable energía puesta en juego tras el levantamiento del macizo.

Los abanicos aluviales corresponden a grandes conos de deyección en los que se han acumulado los materiales meteorizados, erosionados, desprendidos y arrastrados en esos procesos de erosión remontante; en las zonas apicales son visibles bloques de varios m³, disminuyendo su tamaño a medida que nos alejamos de la Sierra; la elevada permeabilidad media de los materiales favorece el deslastre de la corriente de agua por infiltración, disminuyendo igualmente la potencia de arrastre, por lo que tienen que ir desprendiéndose de parte de la carga transportada –normalmente la de mayor tamaño– por lo que el propio lecho aumenta su cota con los nuevos materiales depositados.

Hacia las partes más distales de los abanicos se depositan materiales rojizos finos; la existencia de una serie de fracturas, que afectan a los terrenos pliocenos y pleistocenos, ha dado lugar a varias cuencas endorreicas en la parte central de lo que se

podría denominar una **plataforma litoral emergida**. Si se analiza la red de drenaje que surca el Campo en su discurrir desde las estribaciones de la Sierra de Gádor se puede constatar cómo de las 55 cuencas, tan sólo tres o cuatro de cada extremo presentan un cauce relativamente bien definido hasta su desembocadura en el mar; el resto termina por perder su traza antes del mar, siendo especialmente marcado el área de El Ejido – Las Norias – La Mojonera. Además de esta gran área, existen otras pequeñas áreas endorreicas en las calcarenitas pliocuaternarias.

Los sucesivos descensos del nivel del mar durante el Holoceno, unido a la neotectónica, han generado un escarpe litoral en las calcarenitas pliocenas, que llegan a superar los 30 m de desnivel junto a la urbanización Almerimar. Entre ese escarpe y la franja dunar existe una llanura eventualmente deprimida, aprovechada desde la época romana o anterior para la explotación de salinas, de entre las que merecen destacarse por su gran extensión las de Cerrillos –con unos 4 km² de superficie– y la de San Rafael, que se aproxima a 1 km² de superficie. Otros humedales son los denominados Marismas de las Entinas y las de Guardias Viejas.

Finalmente, y separando el área deprimida del mar, se sitúa un cordón litoral de dunas cuyas cotas dominantes son el Sabinar (8 m) y el Cerrillo (7 m s.n.m.). Las playas actuales completan el corte longitudinal Sierra de Gádor – mar.

Aspectos hidrológicos

Los cursos que surcan el borde meridional de la Sierra de Gádor conforman 55 cuencas vertientes de desniveles muy marcados. En todos los casos se puede destacar el hecho de que el lecho de las ramblas, además de ser muy permeable, pocas veces llega al mar, por lo que en lluvias de alta intensidad la vulnerabilidad a las inundaciones es marcada, muy especialmente en todo el sector central, endorreico. Actualmente son varias las decenas de invernaderos que se sitúan en los lechos de las ramblas; estas últimas han sido lugar de vertido de toda suerte de residuos plásticos, vegetales, envases, etc.; algunas construcciones y vías

se han hecho y discurren en los lechos, todo lo cual hace prever que una gran avenida tendría unas consecuencias desastrosas.

Los estudios realizados por Martín Rosales (1997) ponen de manifiesto que los caudales máximos esperados para diferentes períodos de retorno pueden llegar a ser muy elevados, especialmente en el caso de las ramblas de Carcauz, Almocete y Vícar – El Cura, con 196, 126 y 108 m³/s de caudal instantáneo punta, para 50 años de período de retorno. Actualmente existen 107 diques construidos en todo el borde meridional, de los que 29 son de mampostería gavionada, 72 de mampostería hidráulica y 6 de hormigón.

HIDROGEOLOGÍA

De todos los materiales descritos tienen comportamiento acuífero los carbonatos de Gádor y Felix, las calcarenitas del Mioceno, las calcarenitas pliocenas y los sedimentos de los abanicos aluviales. Los materiales acuícludos –eventualmente acuitardos– serían las metapelitas y calcoesquistos alpujárrides, las margas pliocenas y los limos y arcillas rojas cuaternarias. Los tramos margoso–arenosos del techo sí que almacenan y transmiten agua, y juegan un papel relevante en el funcionamiento del sistema.

Los escasos datos de sondeos que se perforaron en los conglomerados de rocas volcánicas pusieron de manifiesto su reducida potencialidad acuífera.

Tradicionalmente se han distinguido tres unidades hidrogeológicas en el Campo de Dalías que han recibido distintas denominaciones según los autores. La denominación más antigua fue propuesta por los estudios del IGME en el PNAS (IGME, 1978). Consideran tres *acuíferos*: Superior Central, Inferior Occidental e Inferior Oriental; este último también recibe la denominación de Sector Noreste en el que sucesivos trabajos han diferenciado desde tres *acuíferos* hasta cinco *zonas*, atendiendo al número de formaciones que se pueden atravesar en una vertical. La terminología más extendida utilizada por el organismo citado,

relativa al Sector Noreste es: acuífero superior, acuífero inferior y acuífero intermedio (ITGE, 1998).

Por nuestra parte los nombres asignados fueron Balerma – Las Marinas –correspondiente esencialmente a las calcarenitas pliocenas y los tramos basales de transición–; Balanegra, sensiblemente coincidente con el denominado Acuífero Inferior Occidental, que estaría esencialmente constituido por los materiales carbonatados de Gádor, aunque afloran tramos metapelíticos que podrían ser los basales, en la denominada *escama de Balsa Nueva*; y la Unidad de Aguadulce, de gran complejidad interna (Fig. 1, página 7).

Unidad de Balerma – Las Marinas

Esta unidad es la que ocupa mayor extensión en todo el Campo, con unos 225 km² de afloramiento. Sobre este acuífero se sitúa la mayor parte de la actividad agrícola. El material acuífero está esencialmente integrado por calcarenitas pliocenas cuyo espesor puede alcanzar 120 m. El sustrato impermeable del acuífero está integrado por las margas pliocenas cuyo espesor puede superar 700 m. Dado que existe un paso gradual desde las calcarenitas a las margas, con margas arenosas de transición entre ambas, el salto de permeabilidad es igualmente progresivo.

En lo concerniente a los límites del acuífero y su naturaleza, todo el borde meridional está constituido por el mar y, por tanto, se trataría de un límite a potencial constante. En realidad el borde meridional del acuífero se encuentra a una cierta distancia del litoral y está constituido por las margas arenosas, siendo, por tanto, un límite semipermeable.

El límite nororiental coincide sensiblemente con una fractura a lo largo de la cual, y a ambos lados, se observan saltos piezométricos; dado que el potencial es mayor en el acuífero que en el sector nordeste, se trata de un borde permeable, de descarga. Los bordes restantes se han hecho coincidir con la laminación de las margas grises, aunque su trazado es coincidente con fracturas; en las condiciones hidrodinámicas actuales este borde es permeable, de

descarga. En régimen natural muy posiblemente sucedía lo contrario, es decir, habría una alimentación a partir de la Sierra de Gádor, con flujo en sentido Norte-Sur.

En lo relativo a los parámetros hidráulicos (IGME, 1982) los valores de transmisividad varían entre 120 y 1800 m²/día. En la mayor parte del acuífero la superficie piezométrica se encuentra a más de 5 m sobre el nivel del mar. Los valores más elevados se registran al oeste de Matagorda, con cotas superiores a 40 m, en las proximidades de El Ejido (30 m) y entre Las Norias y Mojonera, con un umbral de más de 20 m sobre el nivel del mar.

Si tenemos en cuenta la piezometría de las otras dos unidades, teóricamente puede existir una alimentación que podemos llamar por *desbordamiento en cascada*, a través de todo el borde con la unidad de Aguadulce, y por el extremo septentrional hacia la unidad de Balanegra.

Los sectores que registran descenso del nivel están en relación con extracciones cercanas; por el contrario, las subidas continuadas están en relación con el abandono de los bombeos. Además, en ciertos casos se pueden invocar subidas en relación con las aguas de abastecimiento urbano, las cuales proceden de bombeos en otros acuíferos, y se infiltran en gran medida.

Otro proceso que tiene su influencia en todo este acuífero es la contribución del agua que se infiltra de la aplicada en regadío, cuando su procedencia es de otro acuífero, lo cual sucede en amplias áreas.

En los trabajos del ITGE (Domínguez y González, 1995) se muestran datos piezométricos hasta 1995. Este organismo pone de manifiesto que esta unidad ha aumentado su recarga por retorno de regadíos y por recarga con aguas residuales urbanas; no obstante, en el gráfico representativo de la evolución piezométrica colocan dos piezómetros, uno de los cuales muestra una subida continuada hasta 1995, pasando de 16 a 25 m, mientras que el otro muestra un descenso continuado desde 21 a cerca de 10 m, en idéntico período.

Son muy numerosos los intentos que ha habido de ajustar un balance en esta unidad acuífera. La cifra media del balance sitúa los recursos medios de esta unidad en 20-25 hm³/año, procedentes de la infiltración directa de la lluvia caída sobre la unidad,

infiltración de la escorrentía generada por lluvias caídas en el entorno, retorno de regadíos realizados con aguas procedentes de fuera de la unidad, a lo que se puede añadir la alimentación por las fugas en las redes de riego y por las aguas residuales urbanas (previamente depuradas en algunos casos). Existe una serie de criterios que apuntan a que en esta unidad las entradas serían superiores a las salidas; además de lo ya expuesto, relativo a la tendencia mayoritaria creciente de la evolución de los niveles piezométricos, se tiene la aparición de unos humedales en los huecos de canteras que extraían arcillas para soporte de invernaderos, en las cercanías de Las Norias–La Mojonera (Castro et al., 1999).

Las salidas mayoritarias siguen siendo los bombeos netos –pasan de 18 a 9 hm³/año entre 1981 y 1993– (ITGE, 1998), a pesar de la calidad mediocre del recurso, seguido de las salidas laterales ocultas y/o visibles.

Unidad de Balanegra

Ocupa la mitad occidental del Campo y tiene parte bajo el acuífero de Balerma – Las Marinas, separado de él por las margas pliocenas que actúan de techo confinante. El material acuífero de esta unidad corresponde a las dolomías de Gádor, esencialmente, aunque las calcarenitas miocenas también pueden participar en el almacenamiento. El sustrato impermeable se considera integrado por las metapelitas basales del manto de Gádor.

Aunque el esquema geométrico expuesto es válido de manera general, la realidad es que la geometría detallada es mucho más compleja e incluso parcialmente desconocida. En efecto, desde fuera del sistema se prolonga una franja de filitas con cuarcitas que se introduce en los límites aquí estudiados y que viene a complicar considerablemente la sencilla disposición esquematizada más arriba.

Esta franja metapelítica separa dos tramos carbonáticos, a su vez afectados por fallas que llegan a individualizar pequeños conjuntos. El elemento más considerable es el denominado *Escama de Balsa Nueva*.

Esta unidad ocupa unos 195 km² de los que algo menos de la mitad se encuentran confinados bajo las margas pliocenas. Los límites septentrional y occidental, de naturaleza impermeable, están constituidos por las metapelitas basales del manto; el límite meridional debe ser el mar, aunque sólo a través de la escama de Balsa Nueva. El límite SE corresponde con el borde externo del horst de Guardias Viejas y cabe pensar que sea de intercambio hídrico nulo, al contactar los materiales carbonáticos del acuífero con las metapelitas de la base del horst. Por último, el borde NE está parcialmente jalonado por filitas y por una zona de falla; a lo largo de esta última se puede establecer conexión hidráulica con la unidad acuífera de Aguadulce. Las medidas piezométricas a ambos lados de la falla no parecen apoyar esta conexión, aunque desde el punto de vista hidrogeoquímico no se aprecian diferencias entre uno y otro labio (Vallejos, 1997; Vallejos et al. 1997).

En lo relativo a los parámetros hidráulicos del sistema (IGME, 1982) se han obtenido valores comprendidos entre 15.000 y 21.600 m²/día. El coeficiente de almacenamiento en las calcarenitas en condiciones de acuífero libre estaría comprendido entre 15 y 20 %.

La existencia de valores del nivel piezométrico por debajo del nivel del mar en este acuífero es un hecho ya constatado por el IGME, que detecta en el estiaje de 1978 valores locales por debajo del nivel del mar; en octubre de 1979 son tres los pequeños sectores con valores negativos, mientras que en 1981 prácticamente los valores bajo el nivel del mar ocupan la casi totalidad del acuífero, con cotas puntuales de -2 m. Thauvin (1986) muestra que todo el acuífero, en su sector no confinado, registra un descenso anual medio entre septiembre de 1973 y el mismo mes de 1981, del orden de 0,75 m aunque en un amplio área ha superado 1 m/año.

En el trabajo ya citado del ITGE se muestran dos gráficos de evolución piezométrica en esta unidad. En el primero de ellos se parte de la cota 7 en 1972 y se alcanza la -24 en 1995, aunque se registra una subida cercana a 3 m en el período 1990 - 91. En el segundo se parte de 4,5 m para alcanzar -14 m en 1995, con algo más de un metro de subida en 1990 - 91, período mucho más lluvioso que la media.

Los trabajos del IGME (1982) estiman una infiltración media de la lluvia comprendida entre 9 y 11 hm³/año. La unidad de Balerna – Las Marinas alimenta *por desbordamiento* a ésta en unos 4–5,5 hm³/año. El citado organismo estima en 0,45 hm³/año el valor medio del retorno de los regadíos realizados con el canal de San Fernando y con la galería de Fuente Nueva. Las entradas medias anuales quedan, pues, comprendidas entre 13,5 y 17 hm³/año. Los bombeos en esta unidad han ido creciendo de manera continuada desde 27 hasta 66 hm³/año entre 1980 y 1995 (ITGE, 1998).

Unidad de Aguadulce

Esta unidad hidrogeológica es la de mayor complejidad tectónica y la de geometría peor conocida. Los materiales del manto de Felix adquieren un amplio desarrollo en esta unidad, los cuales reposan sobre los materiales de Gádor; el tramo carbonático de Felix está separado de éste por un tramo basal de filitas, por lo que en esos casos existen dos niveles acuíferos individualizados. Además, existen calcarenitas miocenas en relación con los tramos carbonatados de ambos mantos, en conexión hidráulica; estas calcarenitas pueden estar a veces también sobre las filitas de Felix, allí donde el tramo carbonático no existe. Sobre ambos tramos carbonáticos, con o sin calcarenitas, se pueden situar las margas pliocenas, sobre las que reposan las calcarenitas pliocenas y otros sedimentos detríticos más modernos; en este caso se tendría un primer acuífero libre, un acuífero intermedio y un acuífero inferior; lateralmente, donde no está presente el manto de Felix, existiría sólo el superficial y el profundo, aunque ambos pueden estar en contacto hacia el borde septentrional donde las margas pliocenas se acuñan.

Los valores de transmisividad obtenidos en las dolomías de Gádor han sido de 14.000 y 17.000 m²/día (IGME, 1982). Los valores medios son del mismo orden de magnitud que los obtenidos para el acuífero de Balanegra. En las rocas volcánicas el valor de la transmisividad calculado es mucho más bajo (unos 340 m²/día). En un sondeo esencialmente excavado en terrenos

cuaternarios y arenas pliocenas, se obtuvo 215 m²/día. En una prueba se pudo calcular el coeficiente de almacenamiento de los materiales cuaternarios, resultando ser de 3,5 %.

La evolución *histórica* de los niveles piezométricos se puede seguir merced a la existencia de una red de control seleccionada por el IGME; se han llegado a controlar hasta cuarenta y cuatro puntos acuíferos. Existe una tendencia general al descenso continuado, más amortiguado en el área de Roquetas, por su mayor proximidad al mar. Las fluctuaciones máximas –inter-anales e hiperanales– se miden en el área de El Águila (entre -13 y +5 m), seguido del área del Viso, con medidas bajo el nivel del mar a partir del año 1977.

Los datos actualizados del citado organismo ponen de manifiesto la gran irregularidad existente en esta unidad; en efecto, mientras que algunos piezómetros prácticamente no fluctúan, otros muestran descensos continuados, y otros muestran recuperaciones, que llegan a ser muy llamativas en las proximidades del sector III a partir del año 1988, coincidente con dos acontecimientos: abandono de muchos sondeos por salinización, y período más húmedo de la media en 1988, 1989 y 1990. Esta recuperación media supera los 6 metros.

La gran complejidad geométrica de esta unidad no favorece la realización sencilla de un balance; por otro lado, la conexión hidráulica que existe con el mar parece que ha favorecido los procesos de intrusión marina. De acuerdo con los datos del informe citado, la infiltración de la lluvia caída en el área alcanza 11 hm³/año como valor medio; la alimentación procedente de Balerna – Las Marinas sería de 0,4 – 1,3 hm³/año, mientras que el retorno de regadíos sería de 1–2 hm³/año. Las salidas medias anuales, también según los datos del IGME (1982), se aproximan a los 45 hm³. Hay que tener en cuenta que desde entonces se han desmontado muchas captaciones en el sector III por haberse salinizado, se han perforado varios sondeos para abastecer a Almería, y se han perforado sondeos en el sector III para captar el acuífero *profundo* de Gádor, cuyas aguas tienen excelente calidad, por el momento. En 1980 se bombeaban 48 hm³/año mientras que en 1995 se bombearon 57 (ITGE, 1998), con notables reducciones en los sondeos menos profundos.

CARACTERÍSTICAS HIDROGEOQUÍMICAS

Consideraciones generales

Con motivo del estudio de «*Caracterización hidrogeoquímica del Campo de Dalías*» (1989) se estableció una densa red de observación en el Campo, consistente en 257 puntos de control semestral, 31 de control mensual y 10 de control diario, que fueron muestreados durante todo un año. De todos ellos, 108 correspondían a Balerma – Las Marinas, 51 a Balanegra y 98 a Aguadulce. Tras el año de control indicado, y a partir de los datos obtenidos, se decidió optimizar la red de observación. Para ello se siguió el método de *validación cruzada*, previo análisis del variograma teórico y mediante *krigeage* ordinario; el parámetro que se consideró más representativo fue el cloruro, por ser un ion conservativo. La reducción adoptada fue de aproximadamente el 50 %, pasando a ser de 46 puntos en Balerma – Las Marinas; se tuvo en cuenta además la densidad de puntos, su localización, facilidad de acceso, y facilidad de muestreo, difícilmente evaluable en el tratamiento geoestadístico.

Para llevar a cabo tratamientos más específicos hemos utilizado el muestreo de julio de 1996. En la Figura 2 se muestra, en un diagrama de Piper, la situación de los puntos acuíferos (117 en total, de los que 30 corresponden a Balerma – Las Marinas, 27 a Balanegra y 60 a Aguadulce). Como puede verse, en el triángulo de los aniones se deduce la existencia de una gradación desde aguas bicarbonatadas hasta aguas cloruradas, insinuándose una rama ascendente en el sentido de aumento del contenido en sulfatos. En el triángulo de los cationes todas las muestras caen dentro de un triángulo centrado en el extremo del nodo y cuya base se sitúa entre 60 % y 30 % de calcio. Parece pues, bastante claro, que existe una serie de procesos de mezclas y otros modificadores.

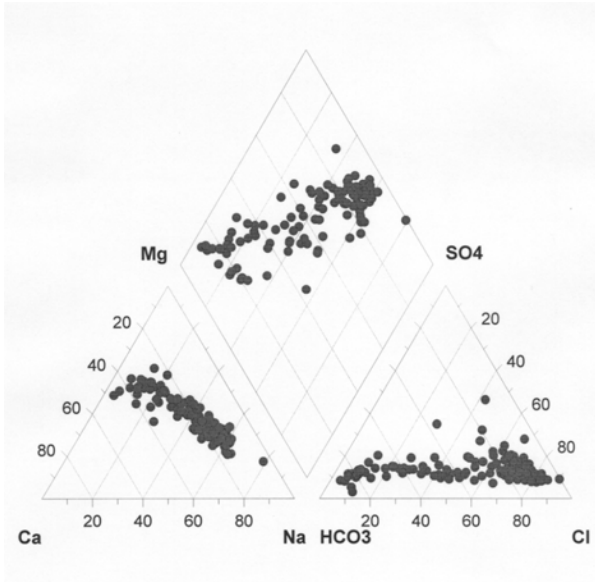


Figura 2.- Diagrama de Piper de las aguas del Campo de Dalías

Caracterización de procesos hidrogéocímicos

Una de las herramientas que permite identificar y discriminar grupos de aguas –de donde se pueden inferir procesos– es el Aná-

lisis de Componentes Principales (ACP), frecuentemente utilizada en acuíferos costeros (Melloul y Collin, 1992; Morell et al., 1996). Con el fin de evitar que las variables de valores mucho más elevados (conductividad, Cl, Na, etc.) enmascaren las influencias de aquéllas de valores más reducidos (K, Mg...), hemos tipificado las variables, obteniendo así otro conjunto de variables cuya media es cero y la desviación típica 1 (variables *centradas reducidas* de la terminología francesa).

El muestreo de junio de 1996 es representativo del primer año húmedo después de un período extremadamente seco de cinco

años. En la unidad de Balerma – Las Marinas, tras estudiar todos los resultados obtenidos, se detectan procesos de termalismo, contaminación de origen agrícola (alto contenido en NO_3) y eventual reducción de sulfatos caracterizada por su alta concentración en HCO_3 en algunos puntos.

En la unidad de Balanegra se detectan procesos de enriquecimiento salino, termalismo, y contenido muy elevado en HCO_3 en algunos puntos. En la unidad de Aguadulce se individualizan bien aguas frías y calientes con contenidos salinos muy variables pero menor contenido total. Hemos diferenciado el subgrupo de las aguas menos salinas y calientes, con 14 puntos, entre los cuales se encuentran los que captan el acuífero profundo y los situados en el extremo occidental del acuífero libre. De la representación de las aguas de los 30 puntos de Balerma – Las Marinas en diagrama de Piper, parece claro que un agua de características similares a las del mar ha podido intervenir en los procesos de mezcla, aunque con aportes locales superiores de sulfatos. De las aguas de los 27 puntos de la unidad de Balanegra, incluyendo además el agua de mar, en el triángulo de los aniones se detecta una clara alineación, mientras que en el rombo parece deducirse tanto procesos de intrusión como de extrusión marina.

Las aguas de los 60 puntos acuíferos de la unidad de Aguadulce más los del mar, muestran una distribución de los puntos dentro del diagrama que pone de manifiesto la existencia de procesos mucho más complejos que en las otras dos unidades. El mar parece claro que es uno de los extremos de la mezcla, pero es también visible la existencia de un enriquecimiento en sulfatos de origen diferente al mar. Es igualmente intuible la existencia de procesos de intrusión y extrusión, aunque posiblemente enmascarados por otros.

En cuanto al estudio de las relaciones iónicas partiendo de mezclas teóricas del agua del acuífero con las del mar, en la Unidad de Balerma – Las Marinas se deduce la gran contribución del Cl a la salinidad total de las aguas del acuífero, un posible endurecimiento del agua, que fijaría Na, la eventual existencia de reducción de sulfatos, y posibles procesos de aporte de CO_2 de origen diverso (profundo, ¿descomposición de materia orgánica?).

En la Unidad de Balanegra las muestras, en su mayoría, tienen menos de 600 ppm de TSD y 6 meq/l de Cl y concentraciones superiores a las teóricas de mezcla de aguas marinas en Cl y Mg. Las aguas cubren una gama salina más amplia, con menos Na que el teórico de la mezcla conservativa agua dulce-agua de mar. Tiene que haber un aporte complementario de SO_4 cuya procedencia no sería el mar; cabe pensar en yesos ligados a los miocenos y metapelitas. El exceso aparente de Mg hay que relacionarlo con la roca almacén, dolomítica.

LA PROBLEMÁTICA HIDROGEOLÓGICA

Perfiles de temperatura y de conductividad

Lo hasta ahora expuesto permite tener una idea de la evolución temporal y espacial de numerosos parámetros hidrogeológicos e hidrogeoquímicos y de la problemática relativa a la cantidad (explotación intensiva), y a la calidad de las aguas (salinización y contaminación principalmente). En lo que sigue vamos a tratar de profundizar en el funcionamiento tridimensional del sistema a partir de dos parámetros más representativos: temperatura y conductividad. En efecto, el primero de ellos aporta información sobre flujos verticales ascendentes y descendentes, y el segundo sobre la concentración del agua afectada, que a su vez da información de *paleoprocesos*, existencia de sales en el medio, y origen de las aguas. Con todo ello, se trata de situar espacialmente las áreas más problemáticas, tanto en régimen natural como influenciado.

Los registros de temperatura realizados en las perforaciones han permitido identificar el contacto agua dulce – agua salada, y los flujos fríos y calientes. Aprovechando los registros, más los datos puntuales de temperatura medidos en los pozos en muestreos simultáneos, y en su defecto en otros períodos, se elaboraron 9 cortes en donde se identificaron las anomalías.

El corte más largo, y posiblemente más representativo de toda la alimentación procedente de Gádor hacia el Campo de Dalías, es uno orientado sensiblemente W-E (F-F'); precisamente en esta orientación se registra un progresivo aumento de la temperatura de recarga que pasa de algo menos de 22 °C a 23 °C, 8 km más al Este, posiblemente en relación con una componente vertical de flujo ligado a fracturas de dirección N125E y N45E (Molina, 1998). Inmediatamente después de este sector se detecta el flujo preferencial bajo los materiales del manto de Felix, de aguas frías (menos de 18 °C).

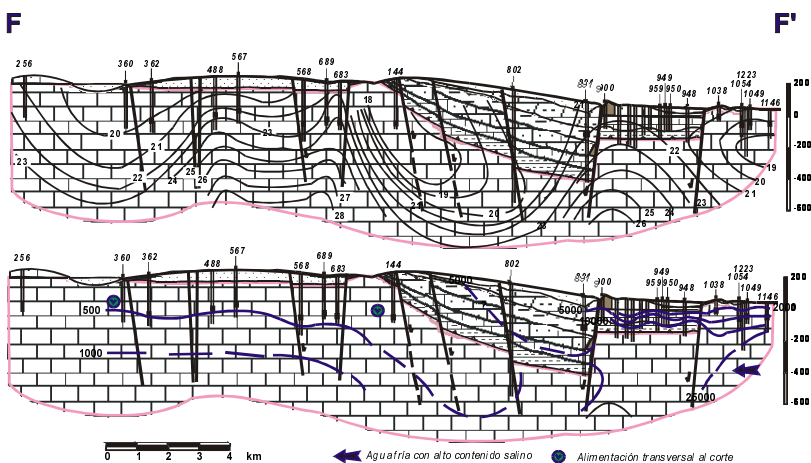


Figura 3.- Perfiles de temperatura y conductividad paralelos al borde de la Sierra de Gádor

Hacia el Este la temperatura del agua aumenta para decrecer en el litoral como consecuencia de la mezcla con agua de mar (menos de 19 °C). A través de las fracturas que compartimentan los materiales de Felix debe de existir un flujo vertical ascendente que explicaría los valores algo más elevados que se miden en las cercanías del Parador (Figura 3).

La importancia de las fracturas, como elementos controladores del flujo del agua subterránea, queda patente en los cortes cita-

dos. A partir de los citados cortes y teniendo en cuenta las fracturas anteriormente indicadas hemos elaborado dos mapas de curvas isotermas a 100 y 300 m bajo el nivel del mar, respectivamente. Estos cortes horizontales permiten identificar, al menos de forma orientativa, los posibles flujos preferenciales.

En el primero de ellos la curva de 22 °C delimita tres sectores de *aguas frías*, uno de ellos al norte de El Ejido, el segundo en las proximidades de la rambla de V́icar, y el tercero en Aguadulce. Este último sería el reflejo del proceso de intrusión marina que actualmente afecta a las que fueron las surgencias principales. La anomalía cercana a la rambla de V́icar constituye el agua de alimentación preferencial del acuífero profundo, confinado bajo el manto de Felix. Existe una cierta anomalía de mucha menor envergadura coincidente con la escama de Balsa Nueva.

En relación con el horst de Guardias Viejas y su prolongación hacia Aguadulce se detecta una anomalía geotérmica positiva que correspondería al hecho de que las aguas subterráneas en su flujo hacia el mar se ven forzadas a ascender al encontrar dicha barrera.

En el segundo de los mapas de isotermas los sectores fríos se mantienen, aunque más localizados, y alcanzan un desarrollo mucho mayor los sectores calientes; tengamos en cuenta que existen 200 m de diferencia de profundidad entre ambos mapas, lo cual justifica sobradamente este aumento de temperatura sin necesidad de invocar gradientes anómalos.

Con los datos de los perfiles termométricos realizados en los sondeos y los respectivos registros de conductividades, hemos realizado una serie de cortes de conductividades sobre la misma base que los cortes termométricos.

En ellos se han podido diferenciar los posibles flujos deducidos de las isotermas y de las isoconductividades: flujo de aguas frías, de aguas calientes de contenido salino bajo, o alto. También se ha deducido la movilización de salmueras ligadas a las evaporitas miocenas.

Las aguas frías de Gádor aumentarían su temperatura en el sentido del flujo, aunque no así su salinidad, por lo que los nuevos pozos que captan las calizas confinadas presentan aguas de muy buena calidad y anomalía geotérmica positiva.

El corte F – F' ya citado viene a confirmar lo expuesto en el corte de temperatura. Toda la mitad occidental indica la existencia de un flujo transversal procedente de la Sierra de Gádor de aguas frías y bajo contenido salino, con un sector preferente bajo el área confinada por el manto de Felix, también identificado por la anomalía geotérmica negativa.

Las aguas aumentan su conductividad con la proximidad al mar en donde se llega a detectar un proceso de intrusión marina, muy visible en los materiales de Felix, sobreexplotado durante mucho más tiempo.

Deducción del funcionamiento del sistema

A partir de los datos disponibles se recoge lo que podría ser el funcionamiento hidrogeológico natural (figura 4) del Campo de Dalías y su relación con la Sierra de Gádor. El área de alimentación esencial sería la Sierra de Gádor aunque la infiltración de las precipitaciones caídas sobre el propio Campo también contribuiría a alimentar el sistema.

Las únicas referencias de posibles surgencias corresponderían a los Baños de Guardias Viejas, manantial termal de caudal reducido, y el topónimo Aguadulce que debería ser el punto principal de drenaje de todo el Campo. Lógicamente, a todo lo largo del borde litoral, podrían existir surgencias difusas que descargarían directamente al mar o a la zona de humedales existente tras el cordón litoral de dunas. En el caso de la unidad de Balanegra la descarga estaría esencialmente localizada en la escama de Balsa Nueva, por lo que sus aguas pasarían a alimentar a la unidad de Balerma–Las Marinas, especialmente en aguas altas, y a la unidad de Aguadulce. Los niveles piezométricos en la unidad de Balerma–Las Marinas quedarían por encima de las otras dos unidades, por lo que debía de existir una franja en la que el flujo tendría una componente N en dicho período

En aguas bajas, los niveles piezométricos en la unidad de Balerma — Las Marinas quedarían por encima de las otras dos

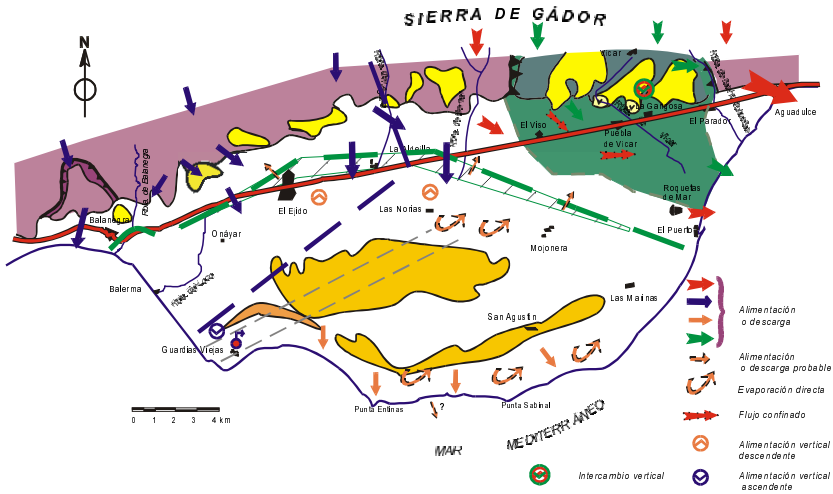


Figura 4.- Funcionamiento en régimen natural

unidades, por lo que debía de existir una franja en la que el flujo tendría una componente N en dicho período.

En aguas bajas, los niveles piezométricos en la unidad de Balermas – Las Marinas quedarían por encima de las otras dos unidades, por lo que debía de existir una franja en la que el flujo tendría una componente N en dicho período. Por otro lado, y dentro de esta misma unidad, debía de existir una evapotranspiración considerable en el fondo de la zona endorreica, así como en la franja litoral con posible depósito salino. La escama del manto de Felix individualizada en la unidad de Aguadulce tendría que alimentar a las surgencias de Aguadulce, aunque una parte descargase directamente al mar justo al norte de Roquetas de Mar. Lógicamente, bajo dicho manto el agua circularía hacia la surgencia de Aguadulce esencialmente, ya que sería el único punto de contacto con el mar de estos materiales.

En lo que a intercambios hídricos verticales se refiere, la unidad de Balermas – Las Marinas alimentaría a las otras dos en todo aquel sector donde su nivel piezométrico estaba por encima, todo ello a través de las margas arenosas semipermeables y en

período de aguas bajas. El manantial de Guardias Viejas sería un punto visible de un sistema de flujo intermedio y/o regional, alimentado por el agua infiltrada en el tramo de la Sierra de Gádor que alimenta a la unidad de Balanegra.

En la unidad de Aguadulce el intercambio hídrico en la zona de superposición de materiales acuíferos de distintos mantos y edades podría ser ascendente o descendente en función de los potenciales relativos variables en el tiempo y en el espacio. Dado que todo el área de alimentación de los materiales más profundos (manto de Gádor) tendría cota superior a la de los restantes, cabe pensar que el intercambio sería esencialmente ascendente y posiblemente termal.

En lo que sería el funcionamiento en régimen influenciado (Figura 5), la unidad de Balerma — Las Marinas presenta un exceso aparente de recarga con respecto al régimen natural, mientras que las otras dos tienen un marcado déficit bien identificado por la existencia de cotas bajo el nivel del mar en grandes sectores de las mismas. Además, la realización de numerosos sondeos de profundidades elevadas permite hacer una serie de consideraciones sobre flujos a profundidades más grandes.

Los conoides de ambas unidades condicionan el flujo hacia ellos. En el caso de la unidad de Balanegra el flujo tendería hacia ese sector deprimido. Se deduce que la alimentación procedente de la Sierra de Gádor es especialmente importante en la franja comprendida entre El Ejido y La Aldeilla. Además, se detecta la existencia de flujo vertical a lo largo de fracturas de dirección sensiblemente N45E. La descarga a través de la escama de Balsa Nueva se convierte en alimentación a partir del mar, al menos en los períodos de mayor extracción y de menor alimentación por las lluvias. La alimentación a partir de la unidad de Balerma–Las Marinas se mantendría, estando implicada toda una franja de trazado Onáyar–Las Norias.

La alimentación de esta unidad hacia la de Balerma–Las Marinas estaría totalmente descartada, al permanecer el nivel en la primera siempre por debajo del de la segunda. Por otro lado, parece existir flujo a lo largo del *horst* de Guardias Viejas e incluso más hacia el E tal y como prueban los datos de algunos sondeos profundos; lógicamente se trata de aguas termales.

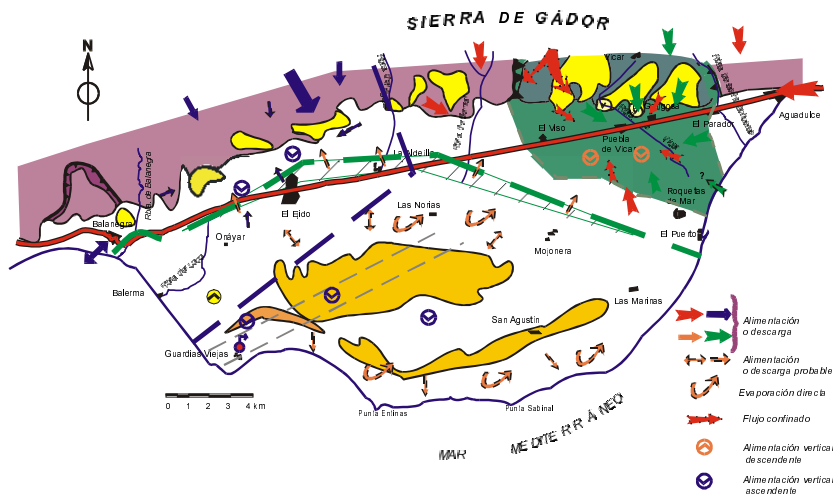


Figura 5.- Funcionamiento en régimen influenciado

Merece ser destacado el flujo existente desde el mioceno evaporítico hacia las calizas de Gádor que provocaron el abandono de varios pozos, ya que empezaron a bombear una auténtica salmuera.

El funcionamiento de la unidad de Balerna – Las Marinas permanece sensiblemente parecido al que tenía en régimen natural, con las salvedades expresadas en lo ya expuesto; en efecto, se descarta la existencia de alimentación lateral procedente de las otras dos unidades, aunque los intercambios verticales se han tenido que ver incrementados a través de los propios sondeos perforados. La explotación ha movilizado aguas de mayor contenido salino que saturaban los tramos menos permeables de la base de las calcarenitas.

El funcionamiento en la unidad de Agudulce es el que más variación ha sufrido. En efecto, las isotermas han permitido identificar el sector de alimentación preferencial de las calizas y dolomías de Gádor; por otro lado, la situación hidrodinámica muestra claramente la inversión del flujo que se ha producido en Agudulce y en la conexión de Felix con el mar. Deducimos que se

mantiene el intercambio hídrico, esencialmente ascendente, procedente del acuífero profundo; el flujo confluye hacia la zona de explotación central, tanto en los tramos saturados superiores (con claras evidencias de intrusión marina en muchos casos esencialmente procedentes del contacto con Roquetas de Mar), como en el acuífero profundo.

Aunque es difícil conocer con precisión su influencia, los niveles de rocas volcánicas escasamente permeables, deben jugar un papel de barrera en la circulación de aguas subterráneas que haya restringido el acceso de aguas saladas procedentes del mar.

Un aspecto en el que tampoco hemos hecho énfasis, pero que tiene que ser objeto de investigaciones más detenidas, es la importancia de los tramos de calcoesquistos y margas existentes en la serie de Gádor en el funcionamiento hidrogeológico general.

De hecho no se descarta que el límite arbitrario elegido para el contacto entre las unidades de Balanegra y Aguadulce corresponda con un tramo de la naturaleza litológica citada, que explicaría el salto piezométrico que caracteriza el contacto entre ambas unidades, que no tiene en absoluto su reflejo hidrogeoquímico. Otro aspecto de gran interés que queda en el aire sería el desarrollo lateral de los materiales carbonatados de Gádor bajo los recubrimientos y por qué el mar no penetra en ellos a pesar de estar localmente muy descomprimidos (más de 10 m bajo el nivel del mar).

EL DÉFICIT HÍDRICO Y LAS POSIBLES SOLUCIONES

Son numerosos los trabajos que han pretendido abordar las soluciones al problema de agua que tiene el Poniente Almeriense (IGME, 1982; Alonso, 1989; Pulido Bosch et al., 1989, e ITGE, 1996). Lógicamente la *disminución de las extracciones* reduciría el riesgo de intrusión marina y contribuiría a alcanzar un nuevo equilibrio; dado que ello conllevaría una reducción de la superficie cultivada, su aplicación es socialmente muy costosa. Otra opción

que se empezó a llevar a cabo después de los estudios hechos por el IARA es la *reducción de las pérdidas en la intrincada red de distribución del agua* para el regadío; en efecto, estos estudios pusieron de manifiesto que se desperdicia una cantidad superior al 20 %. Las inversiones realizadas para corregir tal desviación son muy elevadas y se prosigue en las labores, sin que se haya conseguido eliminar totalmente el problema.

Otra alternativa que también se viene aplicando es la *reutilización de todas las aguas residuales*, sea mediante usos directos, tras la depuración correspondiente, sea mediante *recarga artificial*. Esta misma recarga artificial sería susceptible de realizarse con los excedentes procedentes de otras áreas. Concretamente, el agua del embalse de Benínar podría haber sido utilizada en recargar el sistema. Esta misma medida, pues, contempla la *importación de recursos ajenos*, cosa que sucede desde el final del siglo pasado con el canal de San Fernando.

De hecho, uno de los objetivos del embalse de Benínar es suministrar parte de su caudal regulado para garantizar el regadío del Campo de Dalías, así como el abastecimiento a la ciudad de Almería.

Pero quizás el sueño almeriense sería el disponer de los excedentes del río Guadalfeo y del Guadiana Menor (embalses de Rules y Negratín, respectivamente). Lógicamente estos aspectos requieren decisiones políticas que son muy difíciles de tomar y que llevan aparejada la protesta de los usuarios en el área fuente. Sí quiero hacer énfasis en la utilización del agua procedente de la escorrentía de Gádor en inducir una recarga que beneficiaría a los recursos del Campo de Dalías, al tiempo que permitiría reducir la erosión en esta cuenca y los riesgos de avenidas catastróficas en las poblaciones, los cultivos y los servicios.

En la actualidad existen 107 diques en el borde meridional de la Sierra de Gádor, de mampostería hidráulica, gaviones y hormigón en masa.

La infraestructura existente garantiza la infiltración del 10 % de la escorrentía generada en un aguacero de período de retorno de 5 años. El aumento del número de diques puede traer consigo un incremento en el porcentaje infiltrado. Por otro lado y como hemos podido constatar en varias ocasiones, las antiguas grave-

ras existentes en la cabecera de esta rambla actúan como balsa de recarga de gran capacidad de infiltración. La puesta a punto de una red mediante un pequeño acondicionamiento permitiría aumentar sensiblemente la capacidad de infiltración.

Además, en la Sierra de Gádor trabajaron durante el siglo pasado más de 20.000 mineros, por lo que existe una intrincada red de huecos mineros en lugares y cotas muy diferentes; estos huecos serían susceptibles de ser utilizados en la recarga inducida mediante diversos procedimientos, siendo el más sencillo la construcción de un dique inmediatamente aguas abajo.

Por último, y dado que los materiales detríticos presentan en general una permeabilidad muy elevada, se podrían aprovechar los conos de deyección para ubicar en ellos una red de balsas y zanjas de infiltración que favorezcan el paso de este agua de escorrentía al interior de las formaciones acuíferas. En este sentido, las pruebas de capacidad de infiltración realizadas con doble anillo son francamente esperanzadoras. En este mismo sentido, los datos previos obtenidos por los estudios llevados a cabo por el ICONA apuntaban en idéntica dirección (Arenas et al., 1988).

En la actualidad, la Administración contempla la realización de recarga artificial en el Campo, la conexión de los embalses de Benínar y Cuevas, la construcción de varios embalses, la construcción de un canal de drenaje del área endorreica en caso de inundaciones, el trasvase de agua desde el Guadiana Menor, y la construcción de una planta desaladora de agua de mar. Parecería lógico que inversiones tan costosas fueran objeto de un detenido análisis y de un debate, al menos entre los usuarios y diversos expertos, para reducir el riesgo de actuaciones desafortunadas de las que haya que arrepentirse pronto.

CONSIDERACIONES FINALES

La hidrogeoquímica se muestra como una potente herramienta que permite caracterizar numerosos procesos en un área de tanta complejidad hidrogeológica como es el Campo de Dalías. Intrusión y extrusión marinas, mezcla de aguas, movilización de aguas congénitas y salmueras, intercambios iónicos, dolomitización, dedolo-

mitización, karstificación, y precipitación de carbonatos son otros tantos procesos que se han podido identificar.

Todo este bagaje hidrogeoquímico permite contribuir a matizar notablemente el funcionamiento hidrogeológico del Campo de Dalías. Los perfiles de temperatura y de conductividad, junto con el análisis de la variación espacial de ambos parámetros permiten ajustar los intercambios hídricos existentes en un *modelo* tridimensional. Quizás el aspecto más relevante del funcionamiento sea el relativo al hecho de que el Campo de Dalías recibe esencialmente su alimentación a partir de la Sierra de Gádor, por lo que su estudio debe realizarse de forma conjunta.

La explotación intensiva de las aguas del Campo de Dalías es una realidad desde hace ya más de 20 años, habiéndose limitado las extracciones legalmente desde 1984 (BOE, 1984), aunque la declaración definitiva como acuífero sobreexplotado no se produce hasta fechas muy recientes. Es sorprendente que un área costera haya soportado durante tantos años extracciones aparentemente más de dos veces superiores a las entradas sin originar mayores *desastres* hasta el momento actual.

Asimismo, hay que destacar que las alternativas al problema derivado de la escasez hídrica deben pasar por soluciones que contemplen la interrelación del agua con otros parámetros ambientales; concretamente, todas las labores tendentes a regenerar el medio tan degradado que existe en la Sierra de Gádor contribuirán a mejorar la potencialidad hídrica de los acuíferos del Campo de Dalías. La realización de recarga artificial en todo el borde meridional permitirá aumentar las disponibilidades de agua en el Campo.

Las numerosas actuaciones que las Administraciones planean llevar a cabo en el Campo de Dalías y su entorno merecen una decidida política de participación por parte de usuarios, técnicos y científicos, con el fin de debatir las alternativas y poner de manifiesto posibles errores de planteamiento. La complejidad hidrológica de los sistemas implicados requiere mucha meditación y discusión antes de tomar las decisiones. Después puede ser muy tarde, y las inversiones son suficientemente elevadas como para no escatimar medios en la profundización en el análisis de posibles alternativas.

REFERENCIAS

Aldaya, F., Baena, J. y Ewert, K. (1983). *Memoria y Hoja Geológica de Adra (1057)*. MAGNA, IGME. Madrid. 60 p.

Alonso, C. (1989). Soluciones para los acuíferos del Campo de Dalías. *Temas Geológico-Mineros (ITGE)*, 10:147-156.

Arenas, M., Gallego, M.C. y Carreras, J.A. (1988). Lucha contra la desertificación en la Sierra de Gádor vertiente al Campo de Dalías. *TIAC'88, III*: 289-294.

Baena, J. y Ewert, K. (1983). *Memoria y Hoja Geológica de Roquetas de Mar (1058)*. *Roquetas de Mar*. MAGNA, IGME. (Madrid). 62 p.

Castro, H. et al. (1999). Humedales almerienses: importancia, problemática y gestión. *Jornadas sobre el Agua*, pp: 31-46

B.O.E. (1984). Decreto 117/84 de 2 de Mayo por el que se regulan los alumbramientos y captaciones de recursos hidráulicos subterráneos en el Campo de Dalías (Almería). *B.O.E.* (10/09/84) n° 217; *B.O.J.A.* (17/05/84) n° 49: 755-756.

Domínguez, P. y González, A. (1995). Situación de los acuíferos del Campo de Dalías (Almería) en relación con su declaración de sobreexplotación. *Hidrogeología y Recursos Hidráulicos*, XXI: 443-467.

Domínguez, P., González, A. y Marín, M. (1996). Síntesis de los cambios en la distribución de flujos subterráneos en los acuíferos del Noreste del Campo de Dalías. *IV SIAGA*, I: 239-249.

Fourniguet, J. (1977). Sur le Quaternaire marin et la néotectonique du Campo de Dalías (Andalousie, Espagne). *Acta Geol. Hispánica*, XII, 4-6: 90-97.

Goy, J.L. y Zazo, C. (1983). Los piedemonte cuaternarios de la región de Almería (España). Análisis morfológico y relación con la Neotectónica. *Cuad. Lab. Xeol. Laxe*, 5: 397-419.

Goy, J.L. y Zazo, C. (1986). Western Almeria (Spain) coastline changes since the Last Interglacial. *J. Coastal Research*, 1: 89-93.

IGME (1978). Estudio hidrogeológico de la cuenca Sur (Almería). Memoria de síntesis. Colección Informe. Madrid.

IGME (1982). *Estudio hidrogeológico del Campo de Dalías (Almería)*. 13 tomos. (Difusión restringida).

ITGE (1998). Atlas Hidrogeológico de Andalucía. 216 p. + Mapa fuera de texto.

Martín Rosales, W. (1997). *Efectos de los diques de retención en el borde meridional de la Sierra de Gádor (Almería)*. Tesis Doct. Univ. Granada. 266 p. y anexos.

Melloul, A. y Collin, M. (1992). The "principal components" statistical method as a complementary approach to geochemical method in water quality factor identification; application to the Coastal Plain aquifer of Israel. *J. Hydrol.*, 140: 49-73.

Montenat, C. (1975). Le Néogène des Cordillères Bétiques. Essai de synthèse stratigraphique et paléogéographique. Rapport BEICIP-RUEIL: 1-187

Molina, L. (1997). *Hidrogeoquímica e intrusión marina en el Campo de Dalías*. Tesis Doctoral. Universidad de Granada. (en preparación).

Morell, I., Giménez, E. y Esteller, M.V. (1996). Application of principal components analysis to the study of salinization on the Castellon Plain (Spain). *Sci. Total Environ.*, 177: 161-171.

Navarrete, F. (1992). Contribución al conocimiento hidrogeoquímico del Campo de Dalías (Andalucía). *Tesis Doct. Univ. Granada*. 435 pp.

Pulido Bosch, A. et al. (1989). La sobreexplotación del acuífero de Aguadulce (Campo de Dalías). Esbozo de soluciones. *Temas Geológico-Mineros*, 10: 287-300.

Pulido Bosch, A., Martínez Vidal, J.L., Navarrete, F., Benavente, J., Molina, L., González Murcia, V., Macías, A. y Padilla, A. (1989 a). *Caracterización hidrogeoquímica del Campo de Dalías (Almería)*. IARA-Junta de Andalucía. Sevilla. 265 p.

Rodríguez Fernández, J. y Martín Penela, J. (1993). Neogene evolution of the Campo de Dalías and the surrounding offshore areas (Northeastern Alboran Sea). *Geodinamica Acta*, 6 (4): 255-270.

Sanz de Galdeano, C. (1985). Estructura del borde oriental de la Sierra de Gádor (Zona Alpujarride, Cordilleras Béticas). *Acta Geol. Hisp.*, 20, 2: 145-154.

Thauvin, J.P. (1986). *Étude hydrogéologique, modélisation et gestion des aquifères du Campo de Dalías (province*

d'Almeria, Espagne). Tesis. Doct. Univ. Nice, 3 t., 525 p.

Vallejos, A. (1997). *Caracterización hidrogeoquímica de la recarga de los acuíferos del Campo de Dalías a partir de la Sierra de Gádor*. Tesis Doctoral. Universidad de Granada (en preparación).

Vallejos, A. et al. (1997). Contribution of environmental isotopes to the knowledge of complex hydrologic systems. A case study: Sierra de Gador (SE Spain). *Earth Surface Processes and Landforms*, 22: 1157-1168

RECORRIDO HIDROGEOLÓGICO POR EL CAMPO DE DALÍAS

INTRODUCCIÓN

Durante el recorrido se tiene una panorámica de la Sierra de Gádor, principal alimentación de los acuíferos del Campo de Dalías (Vallejos, 1997).

La Sierra de Gádor ha estado sometida a una intensa deforestación, alcanzando la cobertura vegetal estadios de máxima degradación. Son varias las causas de esta pérdida de vegetación: explotaciones mineras ampliamente extendidas en el área, que utilizaron la madera para entibación y posteriormente como fuente energética en la metalurgia, la intensa tala de pinares y encinas para su uso como combustibles, y los antiguos aprovechamientos madereros utilizados en la construcción naval (Simón, 1982)

La posterior implantación de cultivos de secano, muchos de ellos sin prácticas de conservación, sobre suelos de vocación forestal, dio lugar al empobrecimiento de los mismos y al consiguiente estado de desprotección frente a la erosión.

No hay que olvidar tampoco los cada vez más frecuentes incendios que tienen lugar durante el periodo estival, y que asolan rápidamente una cantidad de hectáreas apreciable.

La orografía es bastante peculiar; está caracterizada por fuertes pendientes, una gran actividad de la red de drenaje y una irregular distribución e intensidad de las precipitaciones; todo esto condiciona la acusada torrencialidad de las ramblas y barrancos que atraviesan la vertiente meridional del macizo. A ello hay que añadir la existencia de un gran número de invernaderos en las zonas de piedemonte, que llegan en algunos casos a invadir los cauces, que pueden sufrir avenidas con un alto potencial de arrastre.

Hay, por tanto, que seguir una política de protección que contemple la repoblación, la restauración del matorral degradado, la construcción de pequeñas presas de corrección de torrentes y obras de infraestructura y defensa contra incendios. Conviene resaltar la gran efectividad que tiene la creación de *microinvernaderos* protegiendo cada planta repoblada, siendo la velocidad de crecimiento de la planta que contienen muy superior a la de la planta en régimen normal.

La comarca almeriense del Campo de Dalías presenta un alto valor económico debido principalmente al gran desarrollo de la agricultura bajo plástico, siendo el turismo la segunda fuente de ingresos del sector. Se calcula que las 20.000 ha cultivadas generan más de un millardo de dólares USA de actividad económica directa o indirecta. Mientras que en la vertiente Sur de la Sierra la precipitación media anual estimada alcanza 360 mm, y la infiltración un 30 % de la anterior, en el Campo de Dalías los valores de precipitación e infiltración son 264 mm y 19 %, respectivamente (Martín Rosales, 1997).

CONSIDERACIONES GEO E HIDROGEOLÓGICAS

La Sierra de Gádor, en este sector, se caracteriza por la superposición de dos mantos de corrimiento, Gádor y Felix, ambos constituidos por una formación de filitas y cuarcitas en la base, a la que se superpone un conjunto calizodolomítico, correspondiente al complejo Alpujárride. Estos materiales carbonatados poseen una transmisividad media de 12.000 – 14000 m² (ICONA, 1986). Las filitas y cuarcitas de ambos mantos alpujárrides tienen permeabilidad muy baja, aunque puede aumentar cuando adquieren un espesor no muy grande y contienen niveles cuarcíticos fracturados. El Campo de Dalías ocupa una superficie de unos 330 km², comprendida entre el borde de la Sierra de Gádor y el mar Mediterráneo. Los materiales más antiguos aflorantes corresponden a los mantos alpujárrides ya descritos en la Sierra. Los materiales inmediatamente más recientes corresponden a las calcarenitas de la formación de Vícar –de edad miocena–, que pasan lateralmente hacia el interior de la cuenca y bajo el recu-

Los materiales acuíferos –calizas y dolomías alpujárrides, calcarenitas miocenas y pliocenas y depósitos cuaternarios– pueden agruparse en tres unidades hidrogeológicas: Aguadulce, Balerna – Las Marinas y Balanegra (Pulido Bosch et al., 1987). La unidad de Aguadulce está constituida por materiales calizo-dolomíticos de Gádor y Felix y las calcarenitas miocenas y pliocenas; esta diversidad litológica unida a la complejidad estructural confieren a esta unidad una geometría extremadamente compleja. Existe una conexión hidráulica de esta unidad con el mar. Este hecho unido a la elevada concentración de bombeos, ha facilitado la penetración del agua marina, como se detecta claramente en el ascenso notable de la salinidad de las aguas, que superan localmente los 10.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Molina, 1998).

En el paraje conocido como «rambla de Bernab» se localizan los sondeos de abastecimiento a la ciudad de Almería. Estas captaciones explotan las aguas procedentes de la unidad acuífera calizo-dolomítica de Aguadulce, siendo la conductividad de estas aguas inferior a 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

LA INTERVENCIÓN PÚBLICA

La declaración en 1941 de parte del Campo de Dalías como Zona de Interés Nacional, tuvo en el Campo de Dalías un papel destacado. Los Planes Generales de Colonización y Transformación se suceden desde 1953 en adelante (1953, 1958, 1964, 1969, 1970, 1971, 1973, 1977 y 1982) con el objeto de habilitar nuevos regadíos que aprovechaban las aguas existentes en el subsuelo (figura 7B). En 1980 se aprobó el Proyecto de Restauración Hidrológico – Forestal de la vertiente sur de la Sierra de Gádor para la defensa del Campo de Dalías, que contemplaba la repoblación forestal y la construcción de diques con el objetivo de frenar la escorrentía y aumentar la infiltración de la lluvia útil. Las investigaciones hidrogeológicas realizadas en los años 70 ponen de manifiesto la bajada de niveles y pérdida de calidad de las mismas. Sin embargo estas investigaciones no tendrán un reflejo legal hasta 1984. En este año, se emite el Decreto 117/1984 de 2 mayo de la Consejería de Economía, Planificación, Industria y Energía de la Junta de Andalucía sobre regulación de alumbramientos y captaciones de recursos hidráulicos, y la Ley 15/1984 de 24 de mayo para el aprovechamiento de los recursos hidráulicos escasos a consecuencia de la prolongada sequía, donde se exige la previa autorización administrativa para la ejecución de obras e instalaciones de alumbramiento y elevación de aguas, modificación de los existentes o implantación de nuevas zonas de riego. A partir de este momento se sucederán una serie de prórrogas de esta normativa (Reales Decretos 8/1985, 2618/1986, 1679/1987, 1583/1988 y 1602/1989), destacando el R.D. 2618/1986 del 24 de diciembre por el que se declara provisionalmente sobreexplotado al acuífero. La declaración de acuífero sobreexplotado obliga a una serie de medidas restrictivas, entre ellas, a no aumentar a la superficie cultivada. Así, en el año 1984 la superficie cultivada era de 9.500 ha; a partir de este año la superficie ha ido creciendo a un ritmo de 400 – 500 ha/año, incluso algunos años el aumento ha sido mayor.

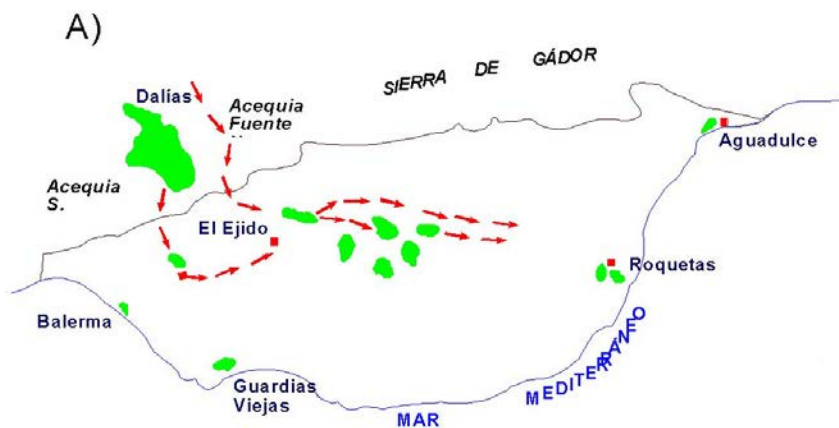


Fig. 2A Desarrollo del regadío en el Campo de Dalías anterior a 1943.

A juzgar por los datos anteriores, la superficie cultivada sigue creciendo y las medidas restrictivas no se cumplen, con el consiguiente aumento del consumo de agua.

En el Poniente la autolimitación en la superficie transformada en regadíos es inviable, a pesar de lo insostenible que resulta el modelo. El decreto 96/1990 de 13 de marzo de la Junta de Andalucía declara de interés general de la Comunidad Autónoma las Actuaciones de Reforma Agraria de la Comarca del Poniente Almeriense. Se constituye la Junta Central de Usuarios el 5 de abril de este mismo año. Asimismo se aprueba el Plan de Transformación de Actuaciones de Reforma Agraria en la Comarca del Poniente en dos fases, R.D 186/1992 y R.D. 71/1996 respectivamente. En este Plan se establecen las actuaciones que son necesarias para la consecución de los objetivos apuntados en el decreto 96/1990. Entre éstas se encuentran: el Plan Hidrológico Superficial, que contempla obras de regulación y aprovechamiento de los recursos superficiales favoreciendo la infiltración y previniendo los riesgos derivados de las avenidas mediante la construcción de 44 diques localizados en la vertiente sur de la Sierra de Gádor.

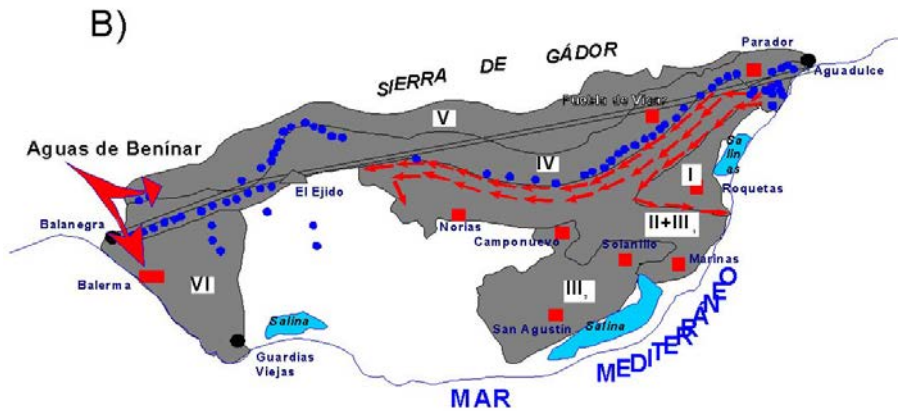


Fig. 2 B Sectores de transformación agraria realizados y proyectados por el INC e IRYDA hasta 1973 (modificado de Mignon, 1981)

En la segunda fase se reconocen las deficiencias en la parte oriental de la Cuenca Sur y la necesidad de recurrir a otros aportes que pueden proceder de la propia cuenca (Guadalfeo – Benínar), pero también parcialmente, desde la cuenca del Guadiana Menor, mediante conducción hasta el embalse del Almanzora. El embalse de Benínar, que debería de abastecer a Almería ciudad y al Campo de Dalías, debido a las pérdidas del embalse, cuya capacidad de regulación se ha visto reducida de 45 hm³ a 25 hm³, es insuficiente ante el crecimiento de las demandas de población y del regadío.

EVOLUCIÓN DE LOS BOMBEOS

Hasta el año 1941, en el que la comarca fue declarada de *Interés Nacional*, los bombeos eran de 5–6 hm³, extraídos mediante pozos someros de los acuíferos superficiales en las áreas occidental y oriental; además, se empleaban en regadío

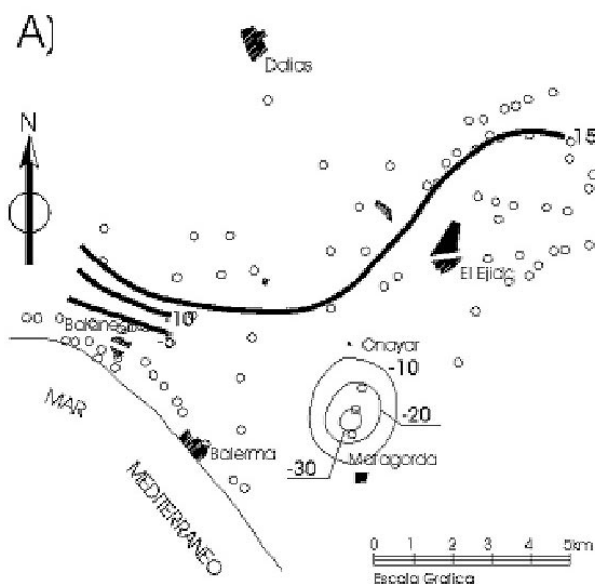


Figura 3A

las aportaciones exteriores de Fuente Nueva y del canal de San Fernando (trasvase de agua procedente del río Adra). A través de la iniciativa tanto privada como pública, el bombeo en el Campo aumentó considerablemente en los años 50, alcanzando ya unos 30–35 hm³ en 1963/1964 y 55–60 en 1973/1974, tendencia que continuaría de forma acelerada en los años siguientes; así en el año 1981/1982 es de 94 hm³. Durante el período 1984/1985–1993/1994 el volumen medio es de 127 hm³ y en el año 1994/1995 es de 137 hm³; en los últimos años la tendencia es a ir aumentando, al mantenerse la tendencia al aumento de la superficie cultivada. Tan sólo en los años más húmedos ha habido aporte al Campo (entre 4–10 %) de aguas superficiales procedentes del embalse de Benínar. La intensa explotación que ha sufrido se refleja de diferente forma en las unidades acuíferas: descensos piezométricos, deterioro de la calidad, intrusión, salinización, movilización de salmueras, entre otras.



Figura 3B

La explotación en los materiales dolomíticos, anterior al año 1960, en algunos sectores era mínima; luego pasa a ser mayoritaria en el periodo 1970/80. En la unidad de Balanegra en el año 1980, el agua se encontraba a 10 m bajo el mar; en 1986/87 bajó a -20 y en el año 1995 a -25 m. Como consecuencia de ello, en el sector costero de Balanegra, concretamente en la escama de Balsa Nueva, se produjo a partir de 1980 intrusión marina (IGME, 1982). En los registros de conductividad y temperatura realizados en los piezómetros del sector costero por Navarrete (1992), se midieron conductividades eléctricas de hasta $38.000 \mu\text{mhos/cm}$. En los años siguientes ha ido aumentando y así en el año 1996, en los piezómetros más interiores se midieron hasta $50.000 \mu\text{mhos/cm}$. Esta escama se pone en contacto con los materiales calizo-dolomíticos de Gádor, con lo que es posible que se esté produciendo intrusión en ésta. Entre Balanegra y Balerna los materiales carbonatados de Gádor parecen ponerse

en contacto con el mar, por lo que es posible se esté produciendo también intrusión, pero la geometría no se conoce bien ni hay piezómetros de control. Al norte de Guardias Viejas, en los materiales próximos al horst, en el año 1993 el nivel piezométrico se encontraba a -25 m s.n.m. (Figura 3A). Como consecuencia de la fuerte explotación se salinizaron dos sondeos, con un contenido en comprendido entre 80 y 90 g/L, posiblemente debido a aguas congénitas ligadas a los materiales evaporíticos del mioceno.

En la unidad de Aguadulce, y concretamente en esta localidad, en el año 1981/82, y como consecuencia de los descensos piezométricos en el área, aumentó la salinidad en algunos pozos e incluso se llegó al abandono de otros. En los años sucesivos la salinidad ha ido en aumento; así, en el año 1986 en los registros realizados por Navarrete en el sector costero (1992) se midieron conductividades eléctricas iguales a las del agua de mar. Los registros realizados en los piezómetros situados al norte de la localidad, en 1996 (Molina, 1998) pusieron de manifiesto que todo el área está prácticamente intruida; como consecuencia, los bombeos se han reducido al mínimo. En el sector de la Gangosa (Fig. 3B), donde se explotan los materiales de Felix, debido al intenso bombeo en la década de los 80 y parte de los 90, se produjo intrusión marina en todos los sondeos, lo que obligó en el año 1993 a su abandono debido a la mala calidad de sus aguas. En este sector es posible que se produzca la intrusión lateral a través de los materiales de Gádor o bien directamente a partir del mar con el que contacta en las proximidades de Roquetas de Mar. En el tramo superior del área costera de Aguadulce y Roquetas de Mar, comenzó la intrusión en las décadas de los 70/80; actualmente todas las captaciones están prácticamente abandonadas. A partir del año 1993 y debido principalmente a la salinización de las áreas descritas, las perforaciones en esta unidad se concentran sobre todo al pie de Sierra de Gádor (área del Águila), donde se miden actualmente niveles de -25 m sobre el nivel del mar., y en el Viso – La Gangosa, donde se captan los materiales de Gádor a profundidades comprendidas entre 400 y 700 m; en esta última actualmente los niveles piezométricos se encuen-

tran entre 6 y 8 m bajo el nivel del mar. Por todo ello, posiblemente se pueda estar produciendo intrusión lateralmente desde el área de Aguadulce o a través del pequeño horst de Roquetas de Mar. Algunos sondeos profundos de éste han encontrado también aguas congénitas salinas.

En la unidad de Balerma – Las Marinas, según el IGME, en el año 1982 los niveles piezométricos se encontraban a más de 5 m s.n.m. Los valores más elevados se sitúan a cotas superiores a 40 m (entre El Ejido–Las Norias– La Mojonera). Sin embargo, en Onáyar existió un conoide de 20 m por debajo del nivel del mar. En el transcurso de los años la explotación es cada vez menor debido a la mala calidad del agua (en esta unidad no existe intrusión marina debido a que se pone en contacto con el mar a través de las margas pliocenas). En el año 1990 desapareció el conoide de Onáyar al abandonarse los bombeos y al aumentar la recarga debido a los retornos de regadío y a las aguas residuales urbanas.

DESCRIPCIÓN DEL ITINERARIO

Parada 1.- Panorámica sobre el Campo de Dalías. Nos encontramos sobre los conglomerados de cantos de rocas volcánicas de edad miocena. Desde este parada tenemos una visión de las principales unidades hidrogeológicas identificadas en el Campo. La unidad de Aguadulce está compuesta por los materiales calizo-dolomíticos de Gádor y Felix, y por calcarenitas miocenas y pliocenas. Esta diversidad litológica, combinada con la complejidad estructural, da a esta unidad una geometría extremadamente compleja. Existe conexión hidráulica entre esta unidad y el mar, como se detecta claramente por un notable aumento en la salinidad del agua, que excede los 10.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en algunos puntos.

Parada 2.- Visita a la estación experimental de Las Palmerillas. Técnicas habituales de trabajo en invernaderos y sistemas actuales de fertirrigación.

Parada 3.- Sondeo del sector IV. En este sector existe una batería de sondeos que vertían sus aguas a un canal de distri-

bución que conduce las aguas hasta el sector III y hasta el área de Roquetas, donde se emplean para riego. En años de pluvio-metría elevada el canal del sector IV enlaza al norte de Balanegra con las conducciones de aguas superficiales procedentes del pantano de Benínar, siendo éstas las aguas empleadas en estos periodos lluviosos. El caudal máximo conducido era de 400 l/s. Debido al mal estado de conservación de las redes de distribución de agua para riego se producen unas importantes pérdidas, evaluadas por Instituto Andaluz de Reforma Agraria (IARA) en unos 18 hm³ anuales. En base a esta situación se hace necesaria la mejora de la red, que evite las pérdidas de agua y distribuya de forma más racional los limitados recursos disponibles. La mejor solución consiste en la instalación de una red de distribución cerrada mediante tuberías a presión.

Parada 4.- Acantilado sobre Almerimar. Este área ha sufrido también un notable aumento de la demanda de agua debido al aumento de la población estival, de ahí que haya que plantear el tema de la competencia por el agua. Núcleos urbanos como Aguadulce, Roquetas de Mar y Almerimar duplican la población en verano, y esto supone un gasto añadido al de la agricultura. Sin embargo, este período prácticamente coincide con el período de menor demanda agrícola anual, aunque la rivalidad de productos en el mercado con los procedentes del norte de Africa conlleva el tener que preparar nuevas cosechas, incluso en estos meses. La gran concentración de actividad humana diversifica las fuentes de contaminación.

Parada 5.- Sondeos del sector III (pozos *sustituídos*). Debido a la fuerte explotación del área para abastecimiento a la ciudad de Almería (décadas de los años 80 y 90), la batería de sondeos del sector III, que explotaban los materiales acuíferos dolomíticos de la unidad de Felix, se salinizó y como consecuencia de ello se realizó una nueva batería al pie de Sierra de Gádor, en el área de Bernal. Además los pozos del sector III –con profundidades en torno a los 160 m– comenzaron a ser sustituidos por otros más profundos (entre 400 y 500 m de profundidad) con una calidad en sus aguas parecida a la obtenida en el borde de la sierra y con temperaturas entre 26 y 28 °C.

CONSIDERACIONES FINALES

Han sido varios los informes realizados por diferentes entidades (IARA – Universidad de Granada, 1989; IGME, 1982, 1989; DGOH, 1987, 1994....) en los que se pone de manifiesto la grave situación en que se encuentran los materiales acuíferos del Campo de Dalías, consecuencia de los procesos de intrusión marina, descenso de niveles piezométricos y deterioro de la calidad. Se plantean asimismo una serie de recomendaciones con el objeto de paliar estos problemas: ahorro de agua, reducción de bombeos, seguimiento y control de las características físicoquímicas de las aguas, medidas de lucha contra la intrusión (Pulido Bosch et al., 1989). Las soluciones adoptadas en el estudio de utilización conjunta de aguas superficiales y subterráneas del sistema Adra – Andarax – Campo de Dalías (DGOH, 1987) están desfasadas, ya que las obras de la regulación del Andarax no se han hecho, sólo se ha construido la planta de ozonización de aguas de residuales de la ciudad para su utilización en los regadíos del delta del Andarax. Las obras para el trasvase de los ríos Cádiz y Trévez hacia el embalse de Benínar, que aportaría unos 33 hm³/año para regadíos del Campo, tampoco se han realizado.

La Junta de Gobierno de la Confederación Hidrográfica del Sur, tras la declaración definitiva de sobreexplotación del acuífero (21 de septiembre de 1995), elaboró el Plan de Ordenación del Campo de Dalías, en el que se contempla la reducción de las extracciones en 50 hm³, con el fin de volver a la situación de 1984. Las medidas más destacadas son la asignación de caudales del embalse de Benínar o de las fuentes de Marbella de 20 hm³, reutilización de aguas residuales (5 hm³), desalación de agua de mar (20 hm³) y prácticas de ahorro de agua para riego (5 hm³). Nosotros pensamos que una buena parte de las soluciones deben tener en cuenta la Sierra de Gádor, dado que ésta constituye la zona de recarga del acuífero. Estas medidas deben comenzar por la reforestación, como principio para regenerar el medio; realización de obras tendentes a la reducción de la ero-

sión; desarrollo de suelos; disminución de la escorrentía y por tanto, aumento de la infiltración. La realización de obras de pequeña envergadura, poco impactantes, tales como diques de infiltración, balsas de recarga en antiguas graveras, balsas y zanjas de recarga diseñadas en los conos de deyección..., permitirán facilitar la recarga inducida a partir de las aguas de escorrentía de la Sierra de Gádor, que alimentan hídricamente al Campo de Dalías. Esta recarga artificial contribuirá a mitigar el notable déficit hídrico que existe en el área como consecuencia de la sobreexplotación de los acuíferos. Además, permitirán reducir el riesgo de inundaciones catastróficas con motivo de la ocurrencia de lluvias de elevada intensidad que pueden tener un período de recurrencia de unos 50 años.

REFERENCIAS

- Baena, J. y Ewert, K. (1983) Memoria y Hoja geológica de Roquetas de Mar. MAGNA 1058. IGME. Madrid, 34 p
- BOE (1941). Decreto de 24/06/41 por el que se declara de alto interés nacional la colonización de la zona denominada Campo de Dalías, en la provincia de Almería. *BOE* (7/07/41), nº 4052.
- BOE (1953). Decreto de 25/09/53 por el que se aprueba el Plan General de Colonización del sector regable (Sector I) con las elevaciones de Aguadulce en la zona del Campo de Dalías (Almería). *BOE* (6/11/53), nº 310.
- BOE (1958). Decreto de 4/07/58 por el que se aprueba el Plan General de Colonización de la ampliación del sector regable (Sector II) con las elevaciones de Aguadulce en la zona del Campo de Dalías (Almería). *BOE* (16/07/58), nº 169.
- BOE (1964). Orden de 2/07/64 por la que se aprueba el Plan de Obras para la puesta en riego y colonización del Sector III, regable con las elevaciones de Aguadulce, en la zona del Campo de Dalías (Almería). *BOE* (1/08/64), nº 184.
- BOE (1969). Decreto 115/69 de 16 de Enero por el que se declara de alto interés nacional la colonización del sector IV de la zona del Campo de Dalías. *BOE* (4/02/69), nº 30.
- BOE (1970). Decreto 2601/1970 de 23 de Julio por el que se declara de alto interés nacional la colonización de los sectores V y VI de la zona del Campo de Dalías. *BOE* (4/09/70), nº 221.
- BOE (1971). Decreto 3045/71 de 25 de Noviembre por el que se aprueba el Plan General de Colonización del Sector IV de la zona regable con aguas subterráneas del Campo de Dalías (Almería). *BOE* (20/12/71), nº 303.
- BOE (1973). Decreto 681/1973 de 15 de Marzo por el que se aprueba el Plan General de Transformación del Sector VI de la zona regable con aguas subterráneas del Campo de Dalías (Almería). *BOE* (10/04/73), nº 86.
- BOE (1984). Decreto 117/84 de 2 de mayo por el que se regulan los alumbramientos y captaciones de recursos hidráu-

- licos subterráneos en el Campo de Dalías (Almería). *BOE* (10/09/84), nº 217.
- BOE (1984). Ley 15/1984 de 24 de Mayo sobre medidas excepcionales para aprovechamiento de los recursos hidráulicos. *BOE* (26/05/84), nº 126.
- BOE (1985). Real Decreto-Ley 8/85 de 27 de Diciembre por el que se prorroga la vigencia de la Ley 6/1983 de 29 de Junio y del Real Decreto-Ley 15/1984 de 26 de Diciembre, sobre medidas excepcionales para el aprovechamiento de los recursos hidráulicos. *BOE* (28/12/85), nº 311.
- BOE (1986). Real Decreto 2618/86 de 24 de Diciembre por el que se aprueban medidas referentes a acuíferos subterráneos sujetos a régimen especial a la entrada en vigor de la Ley de Aguas y declaración provisional de acuíferos subterráneos sobreexplotados o en riesgo de estarlo. *BOE* (30/12/86), nº 312.
- BOE (1987). Real Decreto 1679/87 de 30 de Diciembre por el que se prorroga la vigencia del Real Decreto 2618/1986 de 24 de Diciembre sobre gestión de acuíferos subterráneos especiales. *BOE* (31/12/87), nº 313.
- BOJA (1990). Real Decreto 96/1990 de 13 de marzo de la Junta de Andalucía por el que se declara de interés general de la Comunidad Autónoma las actuaciones de reforma agraria en la comarca del Poniente almeriense.
- BOJA (1992). Real Decreto 186/1992 de 20 de octubre por el que se aprueba la primera fase del Plan de Transformación de actuaciones de reforma agraria en la comarca del Poniente.
- BOJA (1996). Real Decreto 71/1996 de 20 de febrero por el que se aprueba la segunda fase del Plan de Transformación de actuaciones de reforma agraria en la comarca del Poniente.
- DGOH (1987). Estudio de utilización conjunta de aguas superficiales y subterráneas del sistema Adra-Andarax-Campo de Dalías. Dirección General de Obras Hidráulicas de la Consejería de Obras Públicas y Transportes.

- DGOH (1994). Estudio de las demandas de agua de las áreas de desarrollo turístico y agricultura intensiva de la provincia de Almería y líneas estratégicas de actuación. Dirección General de Obras Hidráulicas de la Consejería de Obras Públicas y Transportes.
- ICONA (1986). Estudio sobre un mejor aprovechamiento hidrogeológico de las obras de lucha contra la erosión en la vertiente Sur de la Sierra de Gádor (Almería). Proyecto LUCDEME. (Inédito), 259 p.
- IGME (1982). Estudio Hidrogeológico del Campo de Dalías (Almería). Ministerio de Industria y Energía. 13 tomos. Madrid.
- IGME (1989). Síntesis hidrogeológica del Campo de Dalías (Almería). Propuesta de primeras actuaciones de investigación y gestión. Ministerio de Industria y Energía. 169 p. Madrid.
- ITGE (1995). Informe sobre la situación de los acuíferos del Campo de Dalías (Almería) en relación con su declaración de sobreexplotación. Ministerio de Industria y Energía. 26 p. Madrid.
- Martín Rosales, W. (1997). Efectos de los diques de retención en el borde meridional de la Sierra de Gádor (Almería) Tesis Doctoral. Univ. Granada. 266 p.
- Molina, L. (1998) Hidroquímica e intrusión marina en el Campo de Dalías (Almería). Tesis Doctoral. Universidad Granada. 308 p
- Navarrete, F. (1992). Contribución al conocimiento hidrogeoquímico del Campo de Dalías. Tesis Doctoral, Universidad de Granada. 435 p.
- Pulido Bosch, A. et al. (1987). Estudio hidrogeológico del Sector Central del Campo de Dalías (Almería). IARA-Univ. Granada. (Inédito), 227 p.
- Pulido Bosch et al. (1989). Caracterización Hidrogeoquímica del Campo de Dalías (Almería). IARA - Universidad de Granada. 256 p. Granada.
- Simón, E. (1982). La repoblación forestal en la lucha contra la erosión. Instituto de Estudios Almerienses. Excma. Diput. Prov. Almería, pp: 117-132.

Vallejos, A. (1997). Caracterización hidrogeoquímica de la recarga de los Acuíferos del Campo de Dalías a partir de la Sierra de Gádor. Tesis Doctoral Univ. Granada 256 p.